

TFC EPSEB

Títol : La Durabilitat de la Fusta.

Alumne : David Rodríguez Pedrós.

Curs 2005/06

Juny 2006

I . LA DEGRADACIÓ DE LA FUSTA

01. EL TRONC DE L'ARBRE

La procedència condiciona la morfologia del tronc i, per tant, la de la fusta que se'n derivarà. La procedència de la fusta és la base per entendre la fusta com a material.

- 01.01 Introducció
- 01.02 Parts del tronc.
- 01.03 Tipus de fusta al tronc.
- 01.04 Albeca i duramen
- 01.05 Cel·lules de constitució

02. LA FUSTA, EL MATERIAL.

- 02.01. Introducció
- 02.02. Principals components químics de la fusta.
 - La cel·lulosa.
 - Hemicel·luloses.
 - Lignina.

02.03. CONTINGUT D'HUMITAT A LA FUSTA

- Com es presenta.
 - Aigua lliure
 - Aigua de saturació
 - Aigua de constitució
- Com es determina.
 - Doble pesada
 - Mètode elèctric
- En quines quantitats es troba. Equilibri Higroscòpic

03. PROCESSOS DEGRADADORS

- Pressió Mecànica
- Base
- Fotodegradació
- Transformació Tèrmica
- Hidròlisi.

II .DETERIORAMENT PER AGENTS DEGRADADORS VINCULATS A LA CONSTRUCCIÓ

01. AGENTS DEGRADADORS

01.01. Introducció

01.02. Agents atmosfèrics o meteorològics: El sol i la pluja.

01.03. El Foc

01.04. Compostos químics

01.05. Organismes xilòfags

a) Bactèries i Protozous

b) Fongs xilòfags

- Molses
- Cromògens
- Lignívors
-

c) Insectes xilòfags

- Cicle larvari
- Socials

d) Xilòfags marins

III. PROTECCIÓ I REGLAMENTACIÓ.

03. PROTECCIÓ.

03.01. CONCEPTES

03.02 PROTECCIÓ DE LA FUSTA CONTRAS EL FOC

03.03 PROTECCIÓ DE LA FUSTA CONTRA AGENTS XILOFAGS

03.04 PROTECCIÓ SUPERFICIAL DE LA FUSTA A L'EXTERIOR

03.05 LA FUSTA DECORATIVA

03.06 BIOTRACTAMENTS

I . LA DEGRADACIÓ DE LA FUSTA

01. EL TRONC DE L'ARBRE

01.01. Introducció

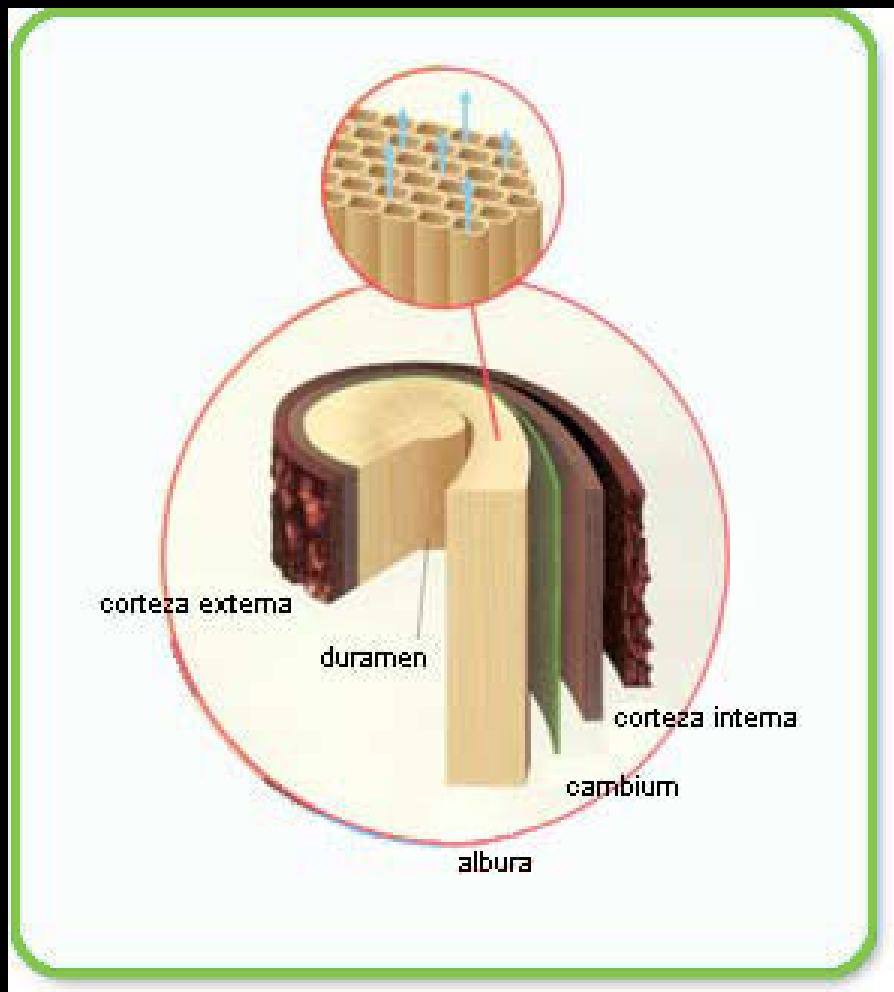
Tot i el que pugui semblar, el tronc de l'arbre no creix cap amunt, excepte a la seva part superior. Es va fent ample. Hi ha una capa fina, entre l'escorça i la fusta destinada al creixement. S'anomena Càmbium. Produïx escorça per un costat i per l'altre fusta per on hi circularà sàvia.

Les parts que van quedant a l'interior van passant per un procés de lignificació.

01.02. Parts del tronc

Tal i com mostra el gràfic les parts del tronc es poden enumerar de la següent manera:

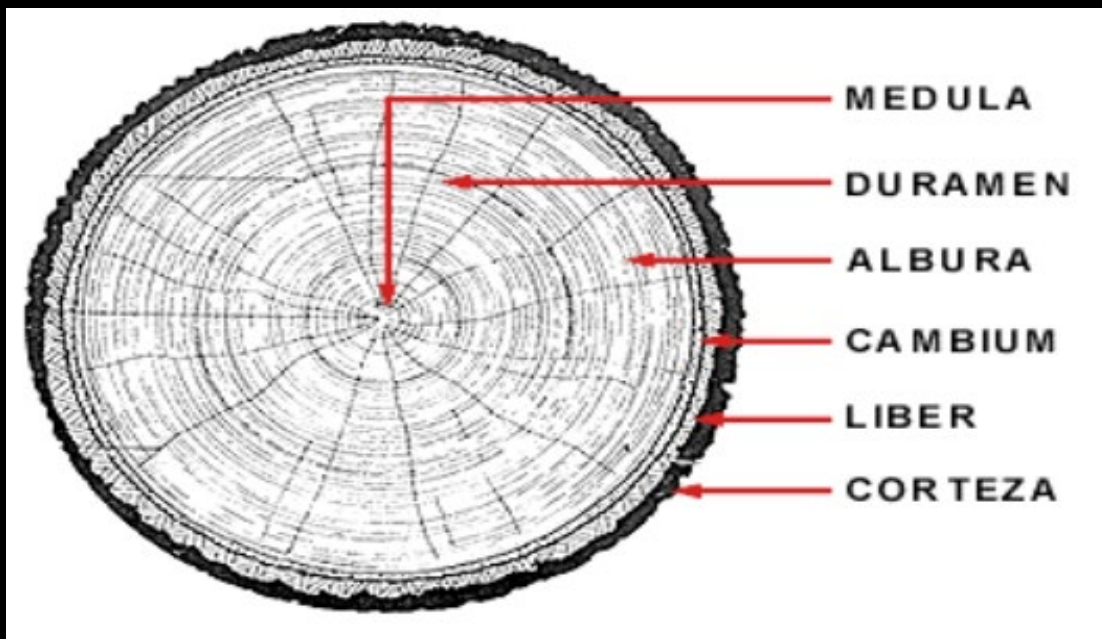
Medul·la, Duramen, Albuca, Càmbium i Escorça.



Descripció:

- Medul·la: Part central del tronc. Està constituïda per un teixit fluix i porós. De la medul·la els radis medul·lars surten cap a la perifèria.
- Duramen: Fusta de la part interna. Més resistent.
- Albeca: Fusta de la secció externa del tronc. És d'un color més clar. És la zona més viva, més saturada de sàvia i substàncies orgàniques. Amb el temps s'acaba convertint en durament.
- Càmbium: Constitueix, com ja s'ha dit, la base del creixement en amplada de l'arbre. De forma concreta està format per cèl·lules de parets primes que es transformen, mitjançant divisions successives, en noves cèl·lules; per un costat, passen a formar part del xilema, albeca, i per l'altre del líber o floema, escorça interna.
- L'escorça interna (Liber) és de molt poca resistència.
- L'escorça externa és un producte de rebuig per la construcció.

Secció esquemàtica:



01.03. Tipus de fusta al tronc. Formació de cèl·lules.

La formació de la fusta és un procés complex en el que les cèl·lules del xilema i el càmbium participen activament en la síntesi dels metabolits que formen part d'ella. Més encara, són aquestes cèl·lules les que responen quan el tronc perd la verticalitat per l'efecte d'algún tipus d'agressió, com el vent o la neu.

El procés en sí és una condició cel·lular única, on tenen lloc diverses etapes sincronitzades que inclouen: divisió cel·lular, expansió i allargament de la cèl·lula, exudació de metabolits i formació de paret secundària i, finalment, la mort cel·lular.



Fent una ullada a l'interior dels components moleculars es pot apreciar que la paret cel·lular està composta de múltiples capes que es fabriquen coordinadament durant la diferenciació en cada etapa. La primera que es forma és una làmina mitja, després, la paret cel·lular primària, que està composta de moltes capes de microfibrilles disposades sense ordre. Quan la cèl·lula assoleix la seva mida definitiva, es forma la paret secundària, dins de la paret primària.

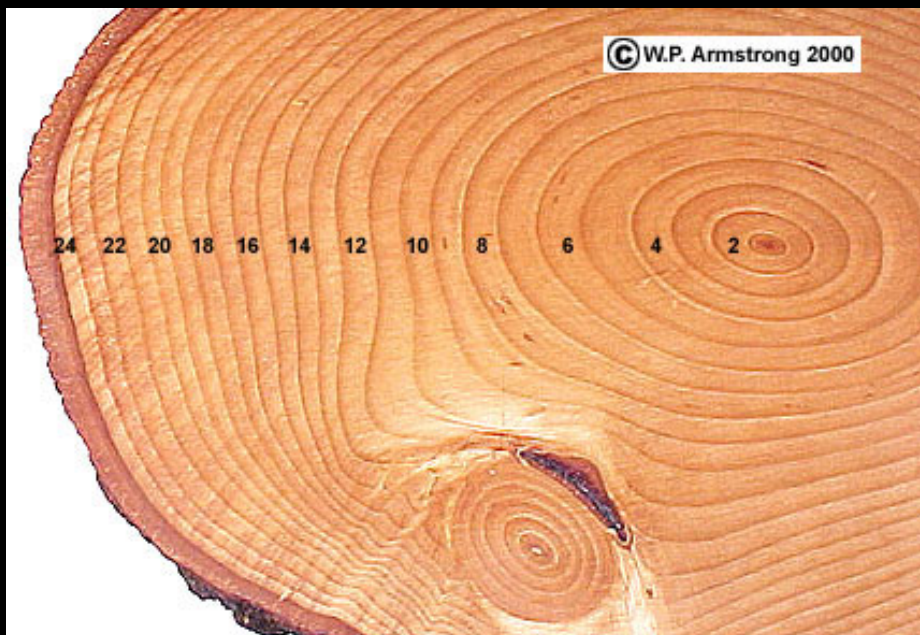
Aquesta nova paret és la més important en termes de força mecànica. La paret secundària està subdividida en tres capes diferents: S1, S2 i S3 i cada una d'aquestes capes, compostes de microfibrilles de cel·lulosa, alineades de forma paral·lela, que canvien de capa a capa.

Les hemicel·luloses i la lignina també estan presents en cadascuna d'aquestes capes. Aquestes tres capes S es poden modificar durant la maduració cel·lular, canviant la quantitat de lignina i cel·lulosa en la paret secundària, el que atorga unes característiques particulars al tipus de fusta de que es tracta.

La majoria de les respostes de compressió de la fusta ocorren en el teixit del xilema. Per a aquest efecte, s'han construït genoteques d'expressió dels gens

Fent una ullada a un tall transversal del tronc d'un arbre se'ns presenten, com a mínim, 6 tipus diferents de fusta:

- 1) La fusta jove, que es forma durant els primers estadis del desenvolupament.
- 2) La fusta adulta, formada durant el creixement després d'assolir la maduresa sexual.
- 3) La fusta Primerenca, que es forma durant la primavera.
- 4) La fusta tardana, que es forma durant l'estiu, amb un procés més lent amb una major acumulació de lignina.
- 5) La fusta de reacció i 6) la fusta de compressió, ambdues responen a una pèrdua de verticalitat.



Els anells de creixement delaten les fluctuacions ambientals que es manifesten durant cada temporada.

El canvi en la formació de fusta més lignificada, fusta tardana, està marcada per un gran increment en la gravetat específica, associada amb un espessor més gran de les parets cel·lulars. La pèrdua de rectitud del tronc implica també canvis on el teixit extern es més curt i l'intern més allargat.

Des d'una perspectiva molecular, aquest procés involucra un gran nombre de gens estructurals del xilema involucrats en la biosíntesi de polisacàrids, lignina i proteïnes de la paret cel·lular i la forma de les cèl·lules.

01.04. Albeca i Duramen

La majoria de les diferències entre l'albeca i el duramen son causades per la infiltració al duramen d'olis, gomes, resines, tanins, compostos aromàtics i colorants que es converteixen en un teixit dur i sovint de color fosc.

La zona central cessa les seves funcions de transport de nutrients i es taponen les connexions entre cèl·lules; esdevé element estructural a mesura que l'arbre creix. L'albeca, la part jove i externa, continua proporcionant aigua i nutrients a l'arbre.

El taponament de les connexions entre cèl·lules impedeix en gran mesura l'absorció d'aigua per capil·laritat al duramen.

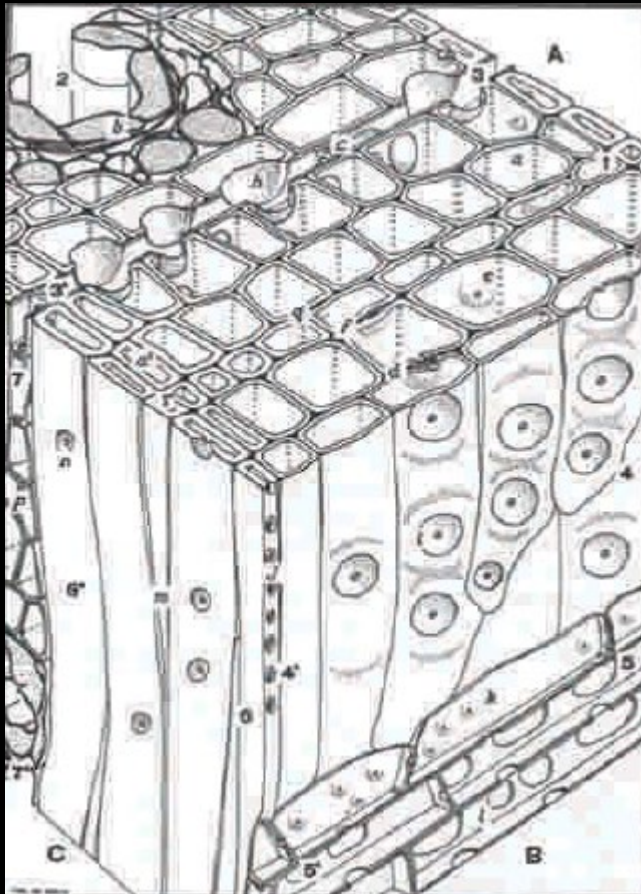


01.05. Cèl·lules de constitució. Coníferes i latifoliades:

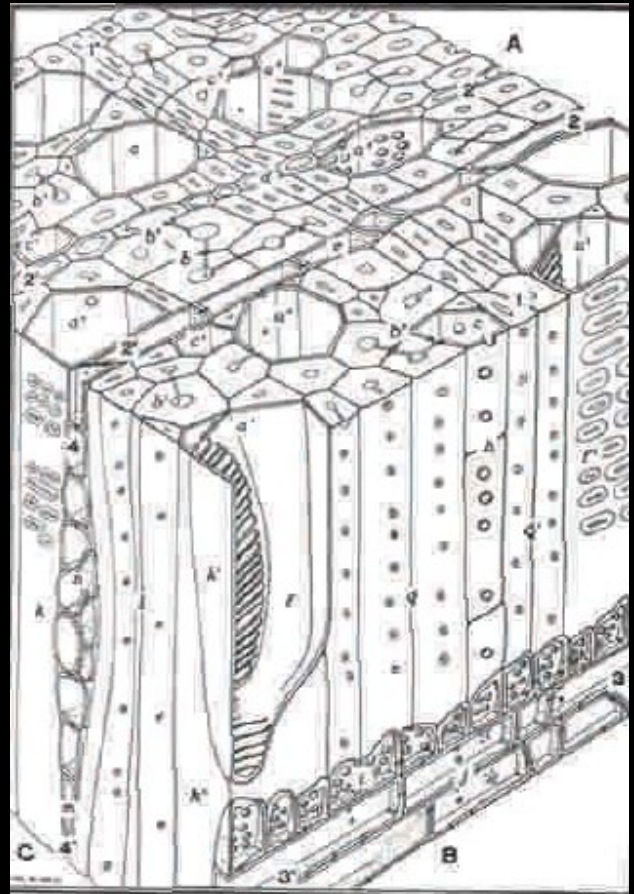
Les coníferes estan formades entre un 80% i un 90% per traqueïdes disposades en el sentit de l'eix de l'arbre. Són allargades i fusiformes, permeten el pas dels líquids i transporten substàncies alimentàries. Sostenen l'estructura llenyosa. Són cèl·lules d'entre 2 i 5 mm i, proporcionalment, poden ser fins a 75 vegades més llargues que el seu diàmetre.

També hi ha cèl·lules parenquimàtiques. Són més primes i curtes que les traqueïdes. Formen canals orientats transversals a l'eix del tronc. Conduïxen i emmagatzemen substàncies nutritives des de l'escorça fins la medul·la. S'anomenen, també, radis medul·lars.

De vegades teixit parenquimatós especialitzat rodeja canals resinífers.



Estructura anatòmica d'una **conífera**.



Estructura anatòmica d'una **latifoliada**

Les latifoliàdes estan constituïdes per fibres, vasos, parènquima i ocasionalment canals gomífers.

Les fibres són cèl·lules allargades agrupades en feixos amb pontejaments que faciliten el pas dels nutrients. Hi ha un 50% o més de fibra en la fusta de les latifoliàdes que en les coníferes. Com més alt és aquest tant per cent més densa és la fusta.

Els vasos són cèl·lules tubulars unides i generalment comunicades pels extrems. Poden arribar a formar el 50% de la fusta. Hi circula l'aigua i les sals minerals.

Les cèl·lules de parènquima es presenten en sentit transversal i longitudinal. Els nutrients hi queden emmagatzemats.

Algunes cèl·lules especialitzades de parènquima formen canals gomífers longitudinalment o dins radis medul·lars.

Les parets d'aquestes cèl·lules són la matèria bàsica de la fusta i l'objectiu dels agents degradadors més destacables. Així com el punt d'acció dels tractaments més innovadors.

02. LA FUSTA, EL MATERIAL.

02.01. INTRODUCCIÓ

La fusta es pot definir com el conjunt de teixits orgànics que formen la massa dels troncs dels arbres desproveïts d'escorça i fulles. Aquest origen orgànic explica la peculiaritat de les seves capacitats físiques i mecàniques i el condicionament en què es troba des del punt de vista de la degradació.

De totes maneres la fusta es produeix amb finalitats estructurals, essent, per tant, un material estructural efectiu i eficient també a la construcció.

Al marge de la seva estructura, per explicar els processos de degradació, cal descriure la fusta des d'un punt de vista químic.

La Composició química de la fusta seria aproximadament aquesta:

- Carboni : 50%
- Oxigen: 43%
- Hidrogen: 6%
- Nitrogen: 1%
- Cendres: 0,5%

El més habitual, però, és parlar dels **components químics**. Les parets de les cèl·lules de la fusta estan principalment compostades per polímers amb hidroxils (OH-) i altres grups amb contingut d'oxigen. Serà aquesta peculiaritat la que aprofiten els tractaments que impliquen un canvi, modificació en la fusta per controlar la seva permeabilitat i dilatació.

Components Principals:

- Cel·lulosa: 50%. Base de les característiques físico-mecàniques.
- Lignina: 16-33% segons el tipus. Aporta duresa i protecció.
- Hemicel·luloses 25%. Uneix les fibres.

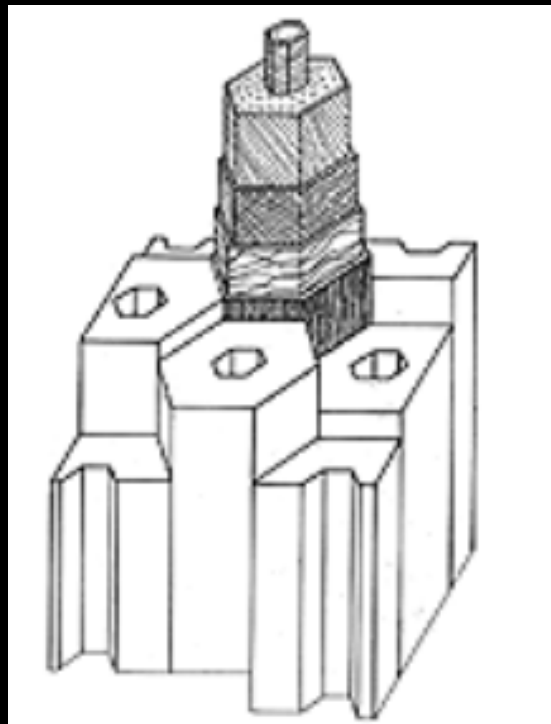
La composició química de les coníferes i les latifoliades és diferent. La cel·lulosa, en canvi, té una composició uniforme a totes les fustes.

També trobem altres components, orgànics i inorgànics, presents a la fusta.

Els components orgànics són responsables de les característiques de la fusta tal com el color, l'olor, el gust, la densitat, la higroscopicitat i la inflamabilitat. Estan formats per tanins compostos polifanòlics, colorants, olis essencials, greixos, resines, ceras i d'altres. Els components orgànics poden arribar a representar des de el 5% fins al 30% en pes de la fusta.

Els components inorgànics constitueixen generalment des del 0,2% a l'1% en pes de la fusta. El calci, el potassi, i el magnesi són els components elementals més abundants. També es poden trobar quantitats traça (menys de 100 p.p.m.) de fòsfor, sodi, ferro, silici, manganès, coure, zinc i d'altres.

Les parets de les cèl·lules estan formades per una sèrie de capes compostes per microfibrilles de cel·lulosa enrotllades helicoidalment, al voltant d'un eix, amb una inclinació diferent a cada capa. Totes elles embegudes en lignina.



A continuació s'exposen les peculiaritats d'aquests components químics així com la presència d'aigua a la fusta.

La humitat és un element més de la fusta. És indispensable per definir-la a nivell de degradació, durabilitat i protecció, entre molts altres.

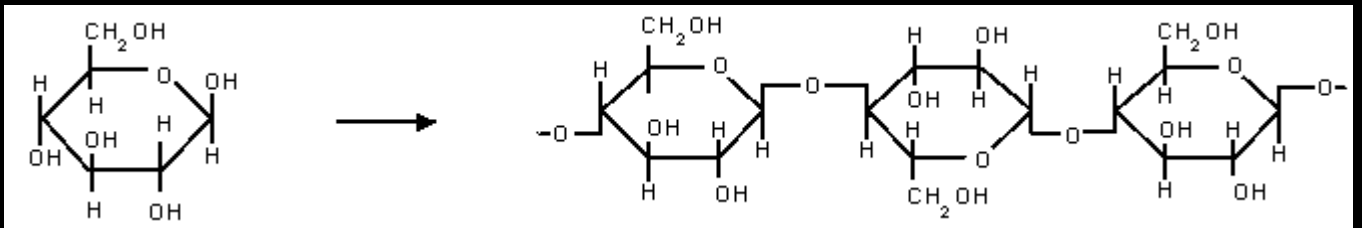
02.02. PRINCIPALS COMPONENTS QUÍMICS DE LA FUSTA

La cel·lulosa

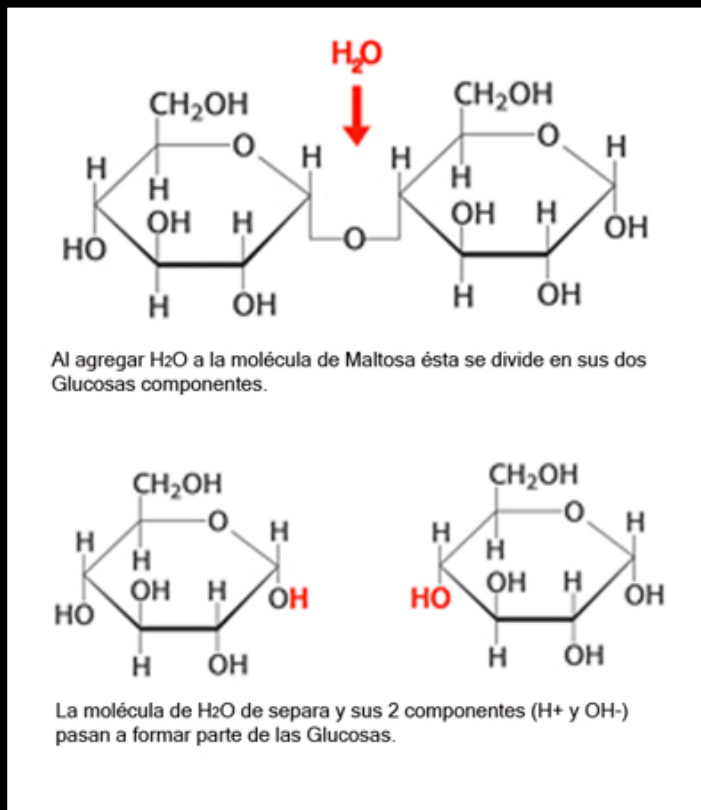
La cel·lulosa és el polisacàrid vegetal que determina l'estructura de la paret cel·lular de la fusta. És la biomolècula més abundant de la biomassa terrestre, la massa biològica de la terra.

Els polisacàrids son compostos formats per la unió de monosacàrids (glúcids) mitjançant enllaços glucosídics. La seva fórmula general és: $[C_x (H_2O)_y]$.

L'estructura de la cel·lulosa es forma per la unió de molècules de glucosa (β -glucosa) a través d'uns enllaços (β -1,4-glucosidic) que la fan insoluble en aigua.



Tot i que està formada per glucoses, només per **hidròlisi**, dona glucosa.



La hidròlisi és una reacció en la que es trenca un enllaç covalent mitjançant l'addició de l'equivalent a una molècula d'aigua; s'afegeix un àtom d'hidrogen a una subunitat i un grup hidroxil ($-OH$) a l'altra.

La hidrolisi la poden produir compostos químics àcids o l'acció de microorganismes, aquests últims amb l'ajut d'un enzim anomenat cel·lulasa, quedant les glucoses com a font d'energia.

Hemicel·luloses

Són un grup molt ampli de polisacàrids formats per la unió, en diferents proporcions, d'unitats de monosacàrids.

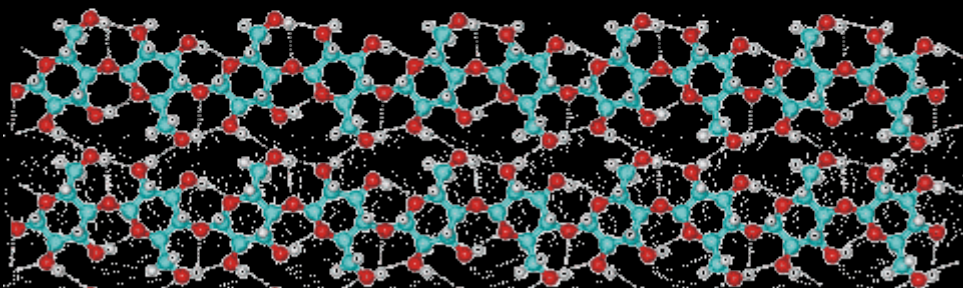
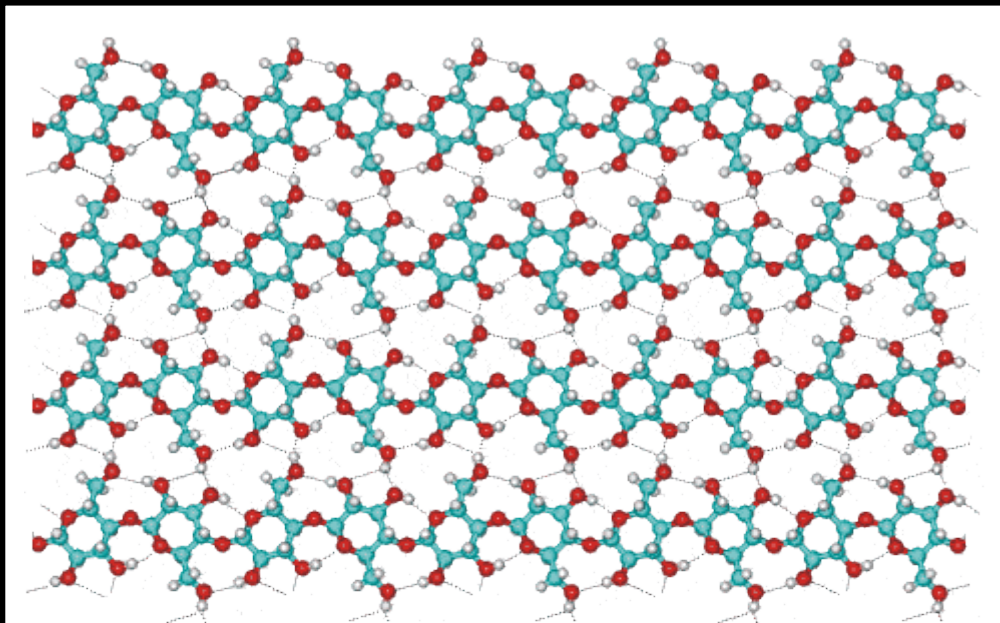
Els monosacàrids més importants són la glucosa, galactosa, xirosa, arabinosa, manosa i el àcids urònics.

Les hemicel·luloses no tenen una relació biosintètica ni estructural amb la cel·lulosa, però les anomenaren així per què les van considerar íntimament relacionades en el sí dels vegetals.

A les parets cel·lulars de les plantes "superiors" les petites fibres de cel·lulosa actuen com barres d'acer embegudes en una matriu constituïda sobretot per hemicel·luloses i també per pectines.

Les hemicel·luloses, tal i com ja hem dit, són polisacàrids formats per la unió de diferents sucres, però no formen cadenes tan llargues com la cel·lulosa.

Si són molt riques en àcids urònics, se les anomena hemicel·luloses àcides; si no ho són, se les anomena hemicel·luloses neutres.



Lignina

La lignina és un grup de compostos químics usats a les parets cel·lulars de les plantes per a crear fusta. La paraula lignina prové del terme llatí *lignum*, que vol dir fusta; així les plantes que contenen gran quantitat de lignina se les anomena llenyoses.

La lignina està formada per la extracció irreversible de l'aigua dels sucres, creant compostos aromàtics (no carbohidrats).

Després dels polisacàrids (cel·lulosa), la lignina és el polímer orgànic més abundant del món vegetal. És important destacar que és la única fibra no polisacàrid que es coneix.

Aquest component de la fusta realitza funcions que són essencials per a la vida de les plantes. Per exemple, posseeix un paper important en el transport intern d'aigua, nutrients i metabolits. Proporciona rigidesa a la paret cel·lular i actua com a pont d'unió entre les cèl·lules de la fusta, creant un material que és notablement resistent a l'atac dels microorganismes, impedit la penetració dels enzims destructors a la paret cel·lular.

La molècula de lignina és una macromolècula, amb un elevat pes molecular, que resulta de la unió de diversos àcids i alcohols fenilpropílics.

L'acoblament aleatori d'aquests radicals origina una estructura tridimensional, polímer amorf, característic de la lignina.

La lignina és el polímer natural més complex en relació a la seva estructura i heterogenicitat. És per això que no és possible descriure una estructura definida de la lignina; tot i això, s'han proposat nombrosos models.

La paret secundària de les cèl·lules, que constitueix la major part de la fusta, conté prop d'un 75% de lignina.

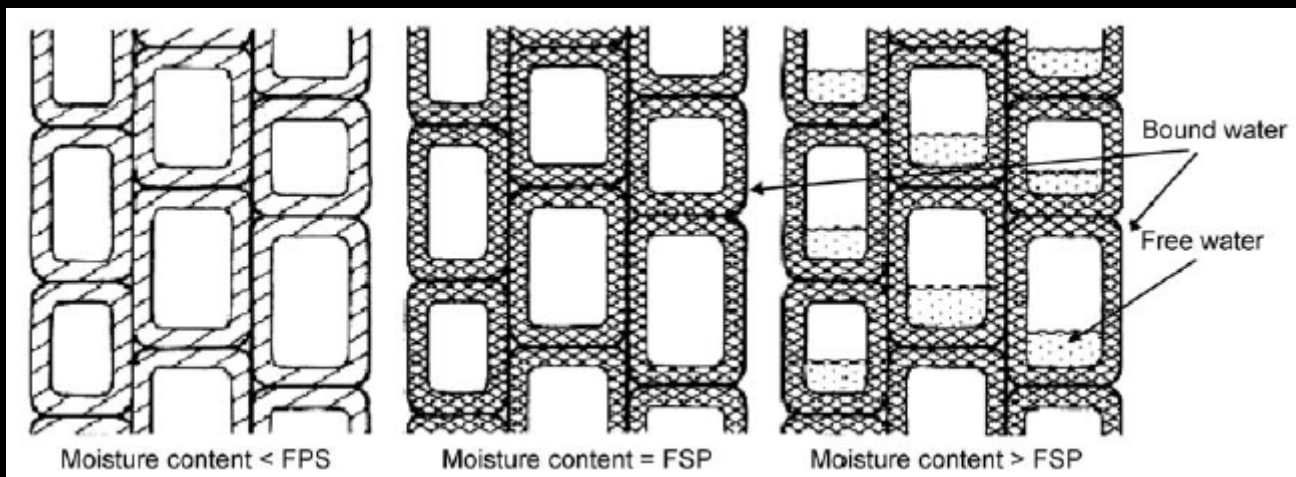
02.03. CONTINGUT D'HUMITAT A LA FUSTA

Al marge de que l'augment del contingut d'humitat fa que disminueixi la resistència mecànica de la fusta, és determinant des del punt de vista del deteriorament.

La humitat també produeix variacions de volum i dimensionals en el sentit radial i tangencial.

- **COM ES PRESENTA**

Podem trobar l'aigua, la humitat, de diferents maneres dins la fusta: **Aigua Lliure**, **aigua de saturació** i **aigua de constitució**.



Aigua Lliure:

La trobem ocupant les cavitats cel·lulars (lumen). Les variacions d'humitat no impliquen variacions dimensionals mentre no es baixi del punt de saturació de les fibres. És l'aigua que hi ha per sobre del punt de saturació de les fibres que s'estima entre un 21 i un 32%. Baixant d'aquest punt, no només hi ha variacions dimensionals, també es produeixen modificacions en les propietats físiques/mecàniques, elèctriques, d'assecat i tractabilitat.

Aigua de Saturació o Higroscòpica:

Es troba entre les parets cel·lulars, o sigui ocupa l'espai entre cèl·lules. Les variacions del seu contingut són més lentes. És l'aigua que es troba per sota del punt de saturació de les fibres sense arribar a ser aigua de constitució.

Aigua de Constitució:

Forma part de la matèria cel·lular de la fusta. Si s'elimina es destrueix la fusta.

- **COM ES DETERMINA EL CONTINGUT D'HUMITAT**

Hi ha diversos mètodes per obtenir el contingut d'humitat.

Els més usuals són els utilitzats per la indústria son el mètode del pes sec al forn o de doble pesada i els mètodes elèctrics. Hi ha altres mètodes menys usuals però més especialitzats per la investigació com l'assecat al buit mitjançant substàncies higroscòpiques, la destil·lació de la fusta, la expulsió directa de l'aigua per pressió, la centrifugació i l'ús d'alcohols.

En el **mètode de doble pesada** es considera que la fusta és seca, anhidra, quan arriba a un pes constant dins un forn a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$. El contingut d'humitat no contempla l'aigua de constitució sense la qual la fusta ja no és fusta.

Es pesa una peça de fusta humida. S'asseca i es torna a pesar. La diferència de pes és la humitat que tenia la peça abans d'assecar-se. Aquest pes varia segons la quantitat de fusta. Per tant aquesta humitat s'expressa respecte el pes sec en forma de %:

$$CH = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 \%$$

CH: Humitat Fusta % Pes sec

Ph: Pes humit. Pes inicial.

Ps: Pes sec. Pes final.

El mètode elèctric permet realitzar amidaments del contingut d'humitat in situ i amb xilohigròmetres de dimensions reduïdes.

L'amidament del contingut d'humitat mitjançant mètodes elèctrics, té la seva base en les diferències de propietats elèctriques entre la fusta seca i la fusta humida. Es poden valorar la resistència òhmica, la constant dielèctrica i la pèrdua de potència. Entre el 4% i el 25% de CH la resistència òhmica i la constant dielèctrica depenen d'una forma ben definida del contingut d'humitat.



- **EN QUINES QUANTITATS ES TROBA**

En general es pot considerar:

Fusta verda: Des del 30% fins el 70 -150%, segons la espècie.

Fusta humida: Entre el 20 i el 30%.

Fusta seca a l'aire: del 13 al 18% (límit per aquest tipus d'assecat).

Fusta assecada en cambra: Per sota del 12%.

Equilibri Higroscòpic

S'anomena equilibri higroscòpic al % d'humitat al que arriba la fusta quedant en equilibri amb l'ambient en que es troba. Està en funció de la Temperatura i Humitat Relativa de l'ambient. L'Equilibri Higroscòpic s'estima entre 12 i 18%.

TABLA I
HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA MADERA EN FUNCIÓN DE LA
TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (en %)

Humedad relativa en %	TEMPERATURA EN °C				
	10	15	20	25	30
30	6,3	6,2	6,1	6,0	5,9
32	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2
34	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5
36	7,2	7,1	7,0	6,9	6,8
38	7,5	7,4	7,3	7,2	7,1
40	7,9	7,8	7,7	7,5	7,5
42	8,2	8,1	8,0	7,8	7,8
44	8,5	8,4	8,3	8,1	8,1
46	8,8	8,7	8,6	8,4	8,4
48	9,1	9,0	8,9	8,7	8,7
50	9,4	9,3	9,2	9,0	9,0
52	9,7	9,6	9,5	9,3	9,3
54	10,0	9,9	9,8	9,6	9,6
56	10,4	10,3	10,1	9,9	9,9
58	10,7	10,6	10,4	10,2	10,2
60	11,1	11,0	10,8	10,6	10,5
62	11,5	11,4	11,2	11,0	10,9
64	11,9	11,8	11,6	11,4	11,3
66	12,4	12,3	12,1	11,9	11,7
68	12,8	12,7	12,5	12,3	12,1
70	13,3	13,2	13,0	12,8	12,6
72	13,8	13,8	13,6	13,4	13,2
74	14,4	14,4	14,2	14,0	13,8
76	15,0	15,0	14,8	14,6	14,4
78	15,6	15,6	15,4	15,2	15,0
80	16,2	16,1	16,0	15,8	15,6
82	17,2	17,2	16,9	16,7	16,5
84	18,2	18,1	17,8	17,6	17,4
86	19,2	19,0	18,7	18,5	18,3
88	20,2	19,9	19,6	19,4	19,2
90	21,2	20,8	20,6	20,3	20,1

03. PROCESSOS DEGRADADORS

Per degradar la fusta s'ha de trencar l'estructura que la forma. Aquesta estructura es pot trencar mitjançant: Pressió mecànica, Base, Fotodegradació, Piròlisi i Hidròlisi.

- **Pressió Mecànica:**

Consisteix en trencar les unions entre molècules per la força. Mitjançant moviments de dilatació i contracció, mecanització, l'acció dels insectes...

- **Base:**

Les bases dissolen les lignines i les hemicel·luloses.

- **Fotodegradació:**

La fotodegradació actua, principalment, a través dels raigs ultraviolats i dels raigs infrarojos. Els ultraviolats no penetren profundament a la fusta, la seva acció es centra a la superfície de la fusta provocant la degradació de la lignina, que es perdi cohesió entre les fibres, i que prengui un color grisós.

Els raigs infrarojos provoquen un augment de temperatura de la zona on incideixen, provocant la aparició d'escletxes a la superfície i la pujada de resines.

La fotodegradació constitueix, principalment en una degradació superficial.

El canvi de color de la fusta es, bàsicament una reacció de superfície. La penetració de la llum en les capes de fusta és inferior a 75 micres, quan es tracta de llum UV i de 200 micres en el cas de la llum visible. El canvi de color, no obstant, pot afectar de forma de profunda, per les reaccions derivades de la degradació, traduint-se en una pèrdua de brillantor i augment de rugositat de la superfície.

- Transformació Tèrmica Degradadora:

En presència d'oxigen es produeix la combustió, en absència la piròlisi.

Els processos químics de la combustió s'inicien generalment per factors com la calor i les espurnes. La combustió de la fusta es produeix en combinar-se, mitjançant l'acció del calor, els seus principals components, el carboni i l'hidrogen, amb l'oxigen per a produir, respectivament, anhídrid carbònic i aigua.

La fusta està composta, sobretot per cel·lulosa i lignina, ambós constituïts bàsicament per Carboni, Hidrògen i Oxígen. Quan s'escalfa augmenta la seva temperatura i els moviments de les molècules es fan més intensos. Aquestes molècules, doncs, son capaces de trencar-se amb més facilitat i els àtoms es poden combinar amb l'oxígen; es produeix la combustió. Les molècules de cel·lulosa es fragmenten en productes més petits, d'una energia química més baixa. La diferència d'energia es presenta com a radiació electromagnètica, calor i llum.

- Hidròlisi:

Els compostos químics de caràcter àcid descomponen la cel·lulosa primerament mitjançant hidròlisi.

Algunes bacteries, protozous i fongs són capaços, amb una molècula d'aigua més un enzim, de trencar l'enllaç i obtenir glucoses de la cel·lulosa i la lignina.

Les bacteries associades als protozous, com la *Trichonympha*, dins l'estómac dels tèrmits obrers, destaquen especialment per ser els responsables últims d'un procés degradador tant vital per l'ecosistema com problemàtic per la construcció amb fusta.

II . DETERIORAMENT PER AGENTS DEGRADADORS VINCULATS A LA CONSTRUCCIÓ

01. AGENTS DEGRADADORS

El deteriorament de la fusta està causat per la combinació de processos biològics, químics i físics, amb l'aigua jugant un rol molt important en cada cas.

La fusta pot ser atacada per alguns compostos químics i l'existència de carboni a la cel·lulosa fa que sigui un material combustible.

Tanmateix la fusta, com a material d'origen orgànic, és especialment estable, no obstant, per la seva pròpia naturalesa, constitueix la base d'alimentació d'organismes vius fongs, insectes, mol·luscs, crustacis, aus... .

Un agent degradador és tota causa que, de manera directa o indirecta, intervé en el deteriorament o alteració de la fusta. Els agents es poden agrupar de la següent manera:

- El Sol i la pluja.
- Foc.
- Compostos químics.
- Xilòfags.
 - Protozous i bacteries.
 - Fongs xilòfags.
 - Insectes xilòfags: de cicle larvari i socials.
 - Xilòfags marins.

01.02. El Sol i la pluja

Els principals agents atmosfèrics són el sol i la pluja, que actuen sobre la superfície de la fusta a l'exterior i/o sobre la protecció superficial que aquesta pugui tenir. Cal destacar que el sol i la pluja actuen en temps diferents.

La radiació solar actua, principalment, a través dels raigs ultraviolats i dels raigs infrarojos. Com ja hem dit, els ultraviolats no penetren profundament a la fusta, la seva acció es centra a la superfície de la fusta provocant la degradació de la lignina, que es perdi cohesió entre les fibres, i que prengui un color grisós.

Els raigs infrarojos provoquen un augment de temperatura de la zona on incideixen, provocant la aparició d'esclatxes a la superfície i la pujada de resines.

La fotodegradació constitueix, principalment en una degradació superficial.

La acció de la pluja sobre la fusta nua produeix un efecte semblant però invers al dels raigs infrarojos.

El Sol, envia a la Terra, una radiació energètica, d'espectre continu. Per conveni, es distingeixen en aquest espectre diferents tipus de radiació, diferenciant-se bàsicament en la seva longitud d'onda i per la energia dels seus fotons.

Espectre solar

Longitud d'onda (λ) en nm

10^{-3}	100	400		780	10^6
Raigs còsmics	Raigs X	Radiació Ultravioleta (UV)	Llum visible	Radiació Infrarroja (IR)	Radiació d'alta freqüència (Tv, radio)

Fig. 1 espectre solar

La radiació solar comprén:

53% IR (Infrarroig) - 780 / 1.480

43% Llum visible - 400 / 780

4-6% UV (Ultraviolada) - 290 / 400

La radiació extraterrestre que arriba a l'espai, es debilita al seu pas a través de l'atmosfera, gràcies a l'absorció per el vapor d'aigua, la capa d'ozó i l'oxigen. Degut a la acció d'aquests fenòmens, només la meitat de la radiació, arriba a la superfície de la Terra.

2. La radiació ultraviolada

La part ultravioleta de la radiació solar, és el principal causant de la degradació soferta per les superfícies de fusta i de los recobriments que s'hi apliquen sobre la mateixa:

Designació	Longitud d' ona (nanómetros)	Característiques
UV-A	400 - 315 nm.	Pot causar alguna degradació en polímetres. Inofensiva per els humans.
UV-B	315 - 280 nm.	Responsable de la majoria de danys en polímers. Causa cremades en els humans. Es absorbida per el vidre d'una finestra.
UV-C	□280 nm.	No arriba a la Terra, només es troben a l'espai exterior.

Fig. 2 Capacitat fotoquímica relativa

La fotoquímica de la lignina, no és del tot coneguda, encara que s'accepta el fet de que els radicals fenoxi, són els intermitjos principals que deriven en estructures guinones en orto, responsables del color groguenc de la lignina així com de la fusta.

01.03. El Foc

El foc és el signe visible d'una reacció química. La substància que combustiona es combina amb l'oxigen de l'aire, només els gasos poden cremar amb flama. Així, perque hi hagi flama ha d'estar en contacte amb un gas.

El foc degrada la fusta mitjançant el procés, ja comentat, de **combustió i piròlisi**.

La fusta, com que està formada per carboni, és un material combustible y susceptible d'ésser degradada per el foc. La degradació es produeix mitjançant reaccions químiques (combustió) que disminueixen palatinament la seva secció resistent i poden provocar la seva total destrucció, en funció a la duració de la seva exposició al foc.

Una substància tan sols comença a cremar quan s'escalfa a una determinada temperatura, la Temperatura d'ignició. Durant la combustió es produeix calor, que manté una temperatura per sobre de la d'ignició, de manera que la reacció pugui continuar gasificant-se el carboni de la fusta mitjançant un procés d'oxidació (Carboni + Oxígen = Diòxid de carboni).

La combustió s'expandeix desde la font d'ignició fins les capes adjacents. Cada capa en combustió serveix com a font d'ignició per la següent capa, així successivament.

A partir dels compostos orgànics de carboni i hidrògen, hidrocarburs, s'obté diòxid de carboni i aigua. Si no hi ha prou oxígen apareix monòxid de carboni, un gas tòxic. Les substàncies minerals romanen en forma de cendra.

La Piròlisi consisteix en el canvi químic dels components de la fusta mitjançant calor, no havent-hi oxigen. Es considera que la Piròlisi dels materials llenyosos s'inicia a temperatures de l'ordre de 250 – 300 ° i transcorre amb la producció, en proporcions variables, de gasos, líquids i un residu de carbó que és el carbó vegetal.

A la Piròlisi de la fusta es distingeixen tres fases clarament diferenciades.

- La primera fase de $30 < T < 170^{\circ}\text{C}$ correspon fonamentalment a la deshidratació de la fusta i destil·lació d'alguns olis essencials; tot això unit a una petita degradació de la fusta.
- La segona fase $170 < T < 270^{\circ}$ transcorre amb abundant despreniment de gasos, CO^2 i CO principalment, i destil·lació de líquids aquosos.
- La tercera fase, $270 < T < 600^{\circ}\text{C}$, és la Piròlisi en sí, el despreniment de materials volàtils és màxim. El residu sòlid resultant és el carbó vegetal.

A l'interval de 250 a 350°C es dóna la fase quantitativament més important de la Piròlisi de la fusta, completant-se en aquest interval la descomposició tèrmica de la hemicel·lulosa i en la seva major part de la cel·lulosa. Les reaccions principals consisteixen en ruptures d'enllaços glicosídics amb la consegüent despolimerització parcial del component de cel·lulosa de la fusta.

Durant la carbonització té lloc la reorganització dels àtoms de carboni en estructures microcristal·lines tipus grafit. A mesura que augmenta la temperatura, els compostos primaris es polimeritzen i independentment de que el material original tingui cadenes alifàtiques o aromàtiques, s'origina un sistema planar de molècules tipus benzè condensades, formant-se així un sòlid com a resultat de les unions C-C entre plans veïns. Des de 400 fins a 700°C aquests sistemes condensats

creixen gradualment, però molts des àtoms perifèrics estan units per enllaços químics a àtoms d'hidrogen o grups hidrocarbonats són eliminats, deixant petits cristal·lits amb estructura similar al grafit, el que coincideix amb una dràstica reducció de la resistivitat elèctrica o un ordenament més gran observat per Difracció de Raig X.

Si la carbonització s'efectua per sobre dels 1000 °C, la reactivitat disminueix, ja que es destrueixen els centres actius en la superfície, el nombre d'àtoms en les arestes es reduït per reordenament, les dislocacions desapareixen i els heteroàtoms abandonen l'estructura en gran mesura per desvolatilització de compostos de Nitrogen i Oxigen, sobre tot per sota del 50% de pèrdua per combustió.

El residu sòlid (carbó) de la carbonització constitueix el producte de major interès comercial de la Piròlisi de la fusta, encara que resulta també de gran valor l'aprofitament dels gasos com a energètics.

Tot i que la fusta sigui un material inflamable a temperatures relativament baixes, en relació amb les que es produeixen en un incendi, s'ha de tenir en compte que:

- la seva baixa conductivitat tèrmica fa que la temperatura disminueixi cap a l'interior.
- la carbonització superficial que es produeix impedeix per una banda, la sortida de gasos i per altra banda, la penetració de la calor.
- i com que la seva dilatació tèrmica és tan reduïda, no actua sobre les estructures i no les deforma.

L'acció del foc sobre la fusta s'avalua amb dos conceptes bàsics que fan referència als materials individuals (reacció al foc) i als elements estructurals (resistència al foc).

- La Reacció al foc és l'aliment que un material pot aportar al foc i al desenvolupament de l'incendi. És un índex de la capacitat del material per a afavorir el desenvolupament de l'incendi. En definitiva, avalua com es comporta un material davant el foc per a determinar si el material és combustible o incombustible.
- La Resistència al foc d'un element constructiu és el temps durant el qual és capaç de complir la funció per a la qual ha estat situat al l'edifici. En funció de les propietats que satisfaci l'element es classificarà com estable al foc (EF), tallafocs (PF) o resistent al foc (RF).

01.04.02. Compostos químics

La fusta és un material molt resistent a un gran nombre de compostos químics. A la indústria de fabricació d'elements químics és un dels materials preferit per a nombroses aplicacions que van des de dipòsits o contenidors de productes fins a edificis de fusta a on s'hi emmagatzemen els productes químics. Un exemple clàssic són els dipòsits de sal que s'utilitzen per a eliminar la neu i el gel de les carreteres. La fusta de duramen és, en general, més resistent que la de albca, degut a que és més difícil que penetrin en ella. Els compostos químics poden modificar la resistència de la fusta de dues formes diferents:

- Augmentant les seves dimensions, inflant-se (l'augment del seu contingut d'humitat origina la disminució de les seves propietats resistents), l'acció de la qual és reversible. En aquest grup inclouríem l'aigua, els alcohols i d'altres líquids orgànics (per exemple, les cetones), que no reaccionen químicament amb la fusta.
- Produint canvis permanents i irreversibles en l'estructura de la fusta degut a la modificació d'algun dels seus components.

Els àlcalis disminueixen les propietats de la fusta en provocar la dissolució de la lignina i la hemicel·lulosa. Les solucions alcalines són més destructives que les àcides, i les frondoses són, generalment, més susceptibles d'ésser atacades. El seu atac és diferent segons actuï sobre tota la massa (peces totalment submergides en les solucions), només a la superfície (recipients o tubs fabricats amb fusta) o sobre les fibres. Les coníferes són més resistents que les frondoses i són gairebé tan resistents a la corrosió com els acers especials. La resistència a la corrosió es pot mesurar calculant la pèrdua de pes per unitat de volum o utilitzant el valor del pH com a un índex de la corrosió.

Els àcids produeixen la hidròlisi de la cel·lulosa de la fusta, causant una pèrdua permanent de la seva resistència mecànica. El valor del pH, igual que els àlcalis, també es pot utilitzar per avaluar l'acció corrosiva dels àcids. Les sals de ferro, que es produeixen puntualment en les peces unides amb plaques metàl·liques, amb pernys i altres elements, són molt àcides i originen un hidròlisi de la fusta en presència d'aigua lliure. Aquesta acció s'accelera amb la humitat, i la presència d'oxigen pot jugar un paper important. Aquest defecte no es produeix en fustes correctament assecades.

L'acció de les sals alcalines o àcides es pot predir en funció del pH. En la immensa majoria dels casos les sals neutres no es produeixen cap degradació sobre la fusta. Les sals àcides es poden

considerar perjudicials per a la fusta, i la seva acció es pot considerar similar a la dels àlcalis dèbils.

Les condicions més adequades per a l'ús de la fusta en contacte amb compostos químics són les següents:

- el pH de les solucions es trobi entre 2 i 11.
- la temperatura sigui inferior a 50° C.
- no existeixi contacte amb agents químics oxidants.

01.04.03 Organismes xilòfags

Com ja s'ha comentat la procedència orgànica de la fusta en fa una forma d'aliment, d'energia, pels éssers vius. Des de les primeres bactèries, protozous i fongs, capaces de produir cel·lulases i trencar els enllaços, fins els insectes i mol·luscos, s'ha anat creant una estreta trama per la transformació de la fusta. Dins del procés general de biodegradació els diferents estadis del procés evolutiu participen, cooperen. La biodegradació és la transformació catalitzada biològicament d'un compost cap a formes més simples.

Aquest seria el cas, per exemple, dels tèrmitis 'inferiors'. Els tèrmitis superiors, però, amb absència d'aquests simbions, prefereixen acudir a un altre degradador microbial ancestral, els fongs, que els proporcionen directament l'energia de la fusta ja transformada. Cultiven fongs per alimentar-se. Cal dir que els tèrmitis inferiors aprecien, també, la qualitat degradadora del fongs i se'n aprofiten quan en tenen oportunitat.

Aquestes cadenes d'interaccions conformen la gran inèrcia de la descomposició de la fusta. A continuació, però, es descriuen individualment aquests organismes per tal de tenir-los presents.

a). Bactèries i Protozous

En general el procés de degradació de les bactèries és força lent des del punt de vista de la construcció. De totes maneres la seva participació és gairebé omnipresent en la biodegradació de la fusta.

La capacitat biotransformadora de les bactèries, ha portat al seu ús, bioremei, per la transformació o destrucció de contaminants o compostos.

Aquesta acció està essent estimulada o provocada tècnicament aprofitant, de vegades, un bioremei intrínsec, mitjançant la injecció de nutrients i acceptors d'electrons fins arribar a crear veritables barreres biològiques, que transformen, "biodegraden", els contaminants.

Un dels exemples més emblemàtics, alhora que singular, és la simbiosi entre els tèrmits inferios i els seus flagelats simbions.

Protozous i bacteries simbions dels tèrmits.

Donat que els tèrmits inferios, com a insectes, tenen prou entitat i complexitat a l'hora de valorar la seva acció degradadora sobre la fusta, s'inclou en aquest apartat de bacteries i protozous la part, no menys important d'aquest procés dins els seus estómacs.



L'associació simbiòtica dels tèrmits amb els microorganismes del seu estómac porta essent estudiada per la biologia durant gairebé un segle.



Mentre que els primers treballs s'han centrat en els

protozous intestinals dels tèrmits menors (p.ex: Trychonimfa fig.

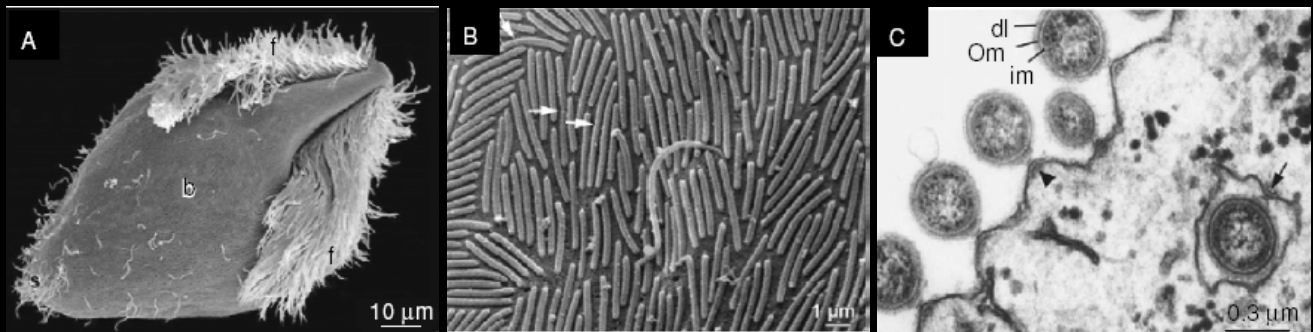
02.01) i les seves funcions en la digestió, les investigacions més recents s'han dirigit principalment cap els organismes procariots de l'estómac, les seves activitats metabòliques, i la funció de les poblacions bacterials.

L' aplicació de tècniques amb microsensors ha permès, a més, conèixer les sorprenents condicions fisicoquímiques del seu hàbitat, l'estómac, i els diferents microhàbitats que hi existeixen.

De totes maneres el més important dels hàbitats per aquestes bacteries són els protozous. Encara que ja fa temps que es coneix la íntima associació que lliga els protozous flagelats amb les

bactèries, els nous avenços en les eines per l'estudi de la biologia molecular es poden ara dirigir a desentortolligar les interrelacions que les uneixen.

Aquesta íntima col·laboració de les bactèries es realitza des de l'exterior dels flagelats (episimbiosi) o des de l'interior (endosimbions). Des de l'exterior se n'assumeix, de vegades, una funció de transport Fig 02.02, mentre que de l'interior n'hi ha múltiples.



A: b) Epibions f) Flagels
Stauramoeba.

B: Cèl·lules VI dividint-se.
Vestibaculum illigatum.

C: Unions i estructura de VI.
Presència a l'interior.

L'interior de l'estómac del tèrmit és un ambient pràcticament anòxic, sense oxigen. Tot hi que hi ha uns fluxos d'oxigen cap a l'interior, tan sols penetren entre 50 i 200μm a l'estómac. La producció massiva de H₂ per part dels protozoous deixa unes porcions centrals en anòxic. Aquestes porcions, que permeten l'existència dels microorganismes, es regulen mitjançant les poblacions de consumidors d'H₂ i els productors.

Aquest H₂ es produeix, és clar, a partir de la fusta.

Apèndix

Els requisits de supervivència de les bactèries els fan un lloc en els ambients més desfavorables. Seria el cas, per exemple, dels pals enterrats del jaciment del llac de Banyoles. Els fongs de podriments, tot i la seva resistència, no poden desenvolupar els seus processos bàsics amb un contingut relatiu d'oxigen a l'aire inferior al 2%. Tan sols es detecta un lent atac per part de bactèries. Als jaciments arqueològics de Banyoles s'han trobat restes d'elements estructurals de fusta i estris. És un poblat i uns elements de fa 7.000 anys.

Transcripció del llibre El poblat lacustre neolític de la Draga. Excavacions de 1990 a 1998 sobre les troballes del jaciment parcialment subaquàtic de Banyoles:

ELS ELEMENTS ARQUITECTÒNICS

ELS FORATS DE PAL

A la zona terrestre alta –sector A, excavacions de 1991 a 1995-, s’han considerat com a estructures tots els possibles forats de pal (349 en total), que apareixien a la base del nivell arqueològic, independentment de si després, en excavar-los, s’hi conservaren o no restes de pal de fusta. Cal recordar que, en aquest sector alt, la fusta només es podia conservar 60-70cm per sota del nivell arqueològic, que és on arribava el nivell freàtic perenne des de l’abandonament del poblat neolític. En conseqüència, ens hem trobat amb forats de pal, ben determinats en superfície, però que no contenien restes de fusta conservada. L’explicació pot ser doble: o bé es tracta de pals que varen ser extrets i reutilitzats durant la vida del poblat, o bé eren pals poc clavats que no superaven la fondària mínima necessària dels 60-70cm (Fig. 81).

*Aquesta problemàtica no existeix, en canvi, en els sectors B i C de la Draga, on el nivell freàtic on les mateixes aigües de l’Estany han permès la conservació dels pilars de fusta per damunt del nivell arqueològic de circulació. En conseqüència, **no trobem els forats de pal, sinó directament els pilars de fusta**, encara clavats i conservats de 30 a 40 cm per damunt del sòl arqueològic.*

El poblat lacustre neolític de la Draga.

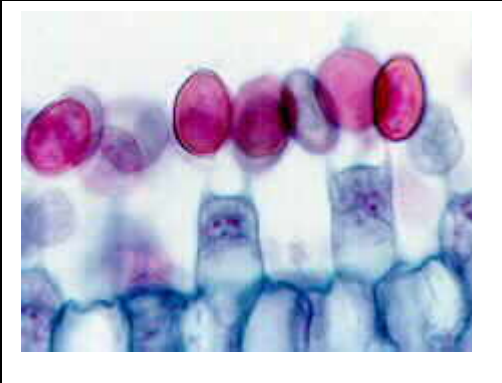
Excavacions de 1190 a 1998.

MONOGRAFIES DEL CASC 2.

Museu d’Arqueologia de Catalunya Centre d’Arqueologia Subaquàtica de Catalunya.

Coordiadors: Àngel Bosch i Llobet, Júlia Chinchilla i Sánchez i Josep Tarrús i Galter

b). Fongs xilòfags



A la destrucció de la fusta, generalment, hi participen més d'un organisme, establint-se una successió que, per exemple, poden iniciar les bactèries seguides per fongs de podriment tova i que culminaria amb l'acció dels fongs de pudrició blanca i bruna que provocarien la destrucció total de la fusta

Els fongs sapròfits es nodreixen de substàncies que sorgeixen de la descomposició de la matèria orgànica morta.

Estan dotats d'efectius complexos enzimàtics, capaços de degradar fonts de carboni complexes com la cel·lulosa, la lignina o el midó, en molècules senzilles i nutritives com sucres i aminoàcids. Aquestes enzims presenten diferent grau d'efectivitat en la degradació dels substrats, condicionant la major o menor especialització dels fongs sapròfits.

Es coneixen com **fongs lignícoles**, aquells capaços de degradar la fusta. Com ja s'ha comentat, el substrat, la fusta, està compost principalment per cèl·lules allargades en forma de tubs amb funció conductora i de sustentació.

Les parets de la cèl·lula de la fusta estan principalment composades per polímers amb hidroxils (OH-) i altres grups amb contingut d'oxigen. Són cadenes de cel·lulosa lligades entre si per una molècula complexa que es diu lignina.

La fusta ofereix només vestigis de substàncies nutritives solubles i la digestió de les seves parets cel·lulars exigeix capacitats enzimàtics especials. La falta d'oxigen i un contingut elevat de CO₂ que es produeix com a conseqüència obligada del creixement, així com a la manca d'aigua en el medi, donen a lloc una forta selecció entre els fongs implicats.

La descomposició o pudrició de la fusta es tradueix en una sèrie de canvis en les seves propietats físicomecàniques com a pèrdues de resistència, de pes, de volum o canvis de color. Les diferents espècies de fustes presenten diferent susceptibilitat a les micosis en funció de la seva densitat, permeabilitat, textura, contingut en fenols, resines, tanins, etc.

Alguns fongs lignícoles produeixen carbohidrats solubles com subproductes de la descomposició de la lignina, que semblen afavorir la colonització posterior de altres saprófits.

El cicle biològic dels fongs que es relacionen directament amb la fusta, queda definit per les espores, les hifes el miceli, i els cossos de fructificació.

Les espores dels fongs les trobem a tot arreu i en gran quantitat, són arrossegades pel vent, l'aigua o els animals. El cicle s'inicia quan troben unes condicions favorables per a la seva germinació (fustes amb un contingut d'humitat superior al 22%). De les espores emergeixen les hifes.



Les hifes són cèl·lules molt fines que només són visibles amb el microscopi i s'introdueixen a la fusta. S'interfereixen de les substàncies de reserva de l'interior de les cèl·lules i/o segreguen enzims que produeixen la descomposició de la paret cel·lular i que permet que en puguin ser assimilades; són les que realitzen la funció degradadora de la fusta. Les hifes van augmentant la seva mida i el seu nombre; acaben formant el

que s'anomena miceli.

Els cossos de fructificació són visibles i tornen a emetre espores a l'exterior tancant, d'aquesta manera, el cicle.

La acció dels fongs s'origina principalment a la fusta en contacte amb el terreny, com pals, travesses de ferrocarril, etc., o quan s'humitegen degut als dissenys constructius, com per exemple caps de bigues encaixades en murs, condensacions considerables o filtracions. Les hemicel·luloses, les porcions no cristal·lines de cel·lulosa, les superfícies dels cristal·lits de cel·lulosa i un baix nivell de lignina són els responsables de que el podrimt tingui èxit a la fusta.



De totes maneres, els factors que tenen una major influència en el desenvolupament dels fongs són: la humitat, la temperatura i la presència d'aire (oxigen). La humitat és d'una importància vital per a la fisiologia dels fongs i és indispensable per a la germinació de les espores, la digestió de

la fusta pels enzims, el transport de les substàncies d'alimentació i la realització de totes les funcions vitals. El seu percentatge òptim es situa entre el 35% i el 50% d'humitat, el límit inferior està entre el 20%-22% i el superior al voltant del 175%.

Com s'ha dit els fongs **lignícoles** poden classificar-se en **tres grups** d'acord a la naturalesa del seu desenvolupament en la fusta i al tipus de deteriorament que ocasionen.

a) Les **molses** s'alimenten de les matèries emmagatzemades a l'interior de les cèl·lules de la fusta (lumen). Amb freqüència exerceixen poca o nul·la influència sobre les propietats, la cel·lulosa o la lignina, no produint per tant, pèrdues significatives a la resistència de la fusta. Són detectables quan es formen espores a la superfície de la fusta, de color fosc, o quan el cos de fructificació forma unes proliferacions primes i transparents o amb tonalitats que van del blanc al negre.

b) Els **fongs cromògens**, de la mateixa manera que les molses només s'alimenten del contingut cel·lular. Tampoc produeixen degradacions a la paret i gairebé no afecten a les propietats físico-mecàniques de la fusta. Es caracteritzen per què produeixen decoloracions a la fusta, el més conegut el que produeix una decoloració blavosa.

c) Els **fongs lignívors o de pudrició** degraden preferentment un o més components de la fusta causant tres tipus de pudrició, conegudes com pudrició tova, pudrició bruna i pudrició blanca.

Pudrició tova:

La pudrició tova és de menor importància degut a què es desenvolupa generalment a nivell superficial.

A aquest grup pertanyen certs membres dels Ascomicetes y Deuteromicetes, els quals són particularment actius sota condicions en les que la pudrició bruna i blanca no ho són (fusta preservada, elevats continguts d'humitat).

L'atac en les coníferes resulta en la formació de cavitats en la paret secundària, la qual s'observa al microscopi òptic com perforacions en un tall transversal a les fibres: en la secció longitudinal aquestes cavitats s'observen orientades paral·leles a les microfibrilles de la cel·lulosa; en les latifoliàdes s'observa com erosió de la paret cel·lular.

Pudrició Bruna

És produïda per fongs **basidiomicetos**. En el que la biomassa o producció natural es refereix, diversos autors senyalen que la proporció de sapròfits, respecte del total de **macromycetes** és generalment baixa. Aquests fongs poden atacar fusta sense tractar i fusta preservada, però té preferències per fustes que no han estat tractades.

Els fongs que causen **pudrició bruna** exhibeixen preferència per cel·luloses i hemicel·luloses, descomposen selectivament cel·lulosa i hemicel·lulosa de la fusta. La fusta podrida per fongs de pudrició bruna perd ràpidament les seves propietats de solidesa i experimenten trencaments dràstics. En estats avançats la fusta es reduïda a un residu de trossos amorfes, marrons cúbics, compostos majoritàriament de lignina lleugerament modificada.

Un dels fets característics de l'atac de pudrició bruna és que la cel·lulosa és ràpidament despolimeritzada, encara als inicis de la pudrició, afectant molt la resistència. Durant la pudrició els carbohidrats són extensivament despolimeritzats i extrets. A més, la lignina també pot ser modificada, encara que els residus de la lignina romanen. La degradació de la fusta apareix marró degut a la gran presència de lignina.



tronc amb pudrició bruna

Pudrició blanca:

Aquests fongs causen “blanquejament de la fusta”.

Els fongs que produeixen aquest tipus de pudrició també pertanyen als **basidiomicetos**. Són particularment actius en els ecosistemes forestals produint una extensiva pudrició en els arbres caiguts dins del bosc. Les espècies **latifoliàdes** són més susceptibles que les coníferes o les fustes no tractades són més fàcilment atacades que les fustes presservades.

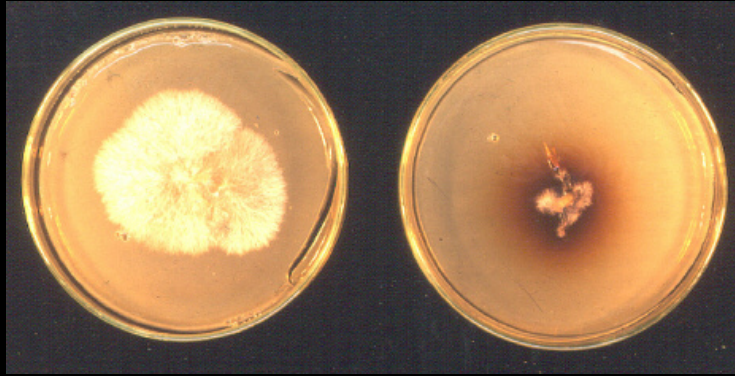
Els fongs de pudrició **blanca tenen** un sistema d'enzims cel·lulasa i lignasa que li permeten degradar tots els components de la paret cel·lular, incloent-hi la lignina. Algunes espècies estan especialitzades en la degradació primària de la lignina amb una ampli atac a la cel·lulosa. A més, poden originar posteriorment la oxidació dels sucres formats. Altres espècies poden degradar simultàniament tots els components de la paret cel·lular, per exemple: lignina, cel·lulosa i hemicel·lulosa. La formació de canals d'erosió dins de la paret cel·lular és el fet morfològic característiques d'aquest tipus d'atac.

La majoria d'ells, aparentment, desintegren la lignina i polisacàrids gairebé al mateix temps, i la fusta en estat intermig o avançat de pudrició conté proporcions quasi iguals d'aquests components que en la fusta sana. La fusta podrida per fongs de pudrició blanca tendeixen a perdre gradualment les seves propietats de solidesa i reté la seva estructura fibrosa encara en estats avançats. La fusta podrida es torna esponjosa, filamentosa, o laminada i usualment està tacada i descolorida en relació a la fusta sana.



tronc amb pudrició blanca

Els fongs de pudrició blanca produeixen **fenol-oxidases** extracel·lulars i generalment donen positiu als assaigs **d'oxidases** sobre mitjans amb àcid **tànic o gàlic**. Els fongs de pudrició bruna no produeixen fenol-oxidases extracel·lulars i generalment donen negatiu als mateixos assaigs.



Caixes de petri mostrant assaig d'oxidasa

Dreta: oxidació positiva

Esquerra: oxidació negativa

c). Insectes xilòfags

L'acció dels insectes xilòfags es pot produir en una gran varietat de situacions i de continguts d'humitat a la fusta. Segons el seu cicle de vida i la forma del seu atac, podem distingir els insectes de cicle larvari, els insectes socials.

Els insectes de forma individual, no causen problemes. El problema apareix quan es té en compte la seva capacitat de reproducció i de reinfestació de la fusta atacada. Entre els de cicle larvari tindríem, per exemple, els corcs, i entre els segons, els tèrmits. El cicle biològic de cada un d'ells es diferent.

QUADRE RESUM D'INSECTES XILÒFAGS

Nom científic	Nom vulgar	Espècie de fusta	Contingut d'humitat	Forma i mida de l'atac - galeries	Serradura
Reticulitermes lucifugus	Tèrmits(subterrànies)	Latifoliada i conifera	Humida >18%	Laminar 1-2mm	-
Criptotermis brevis	Tèrmits(de fusta seca)	Latifoliada i conifera	Seca <18%	Laminar 1-2mm	-
Cerambicids	Corc grossa	Conifera	8-40%	Elíptiques 3, 6 i 9 mm	Gruixuda
Lictids	Arna	Latifoliada	Seca <18%	Circular 1 –1,5 mm	Molt fi
Anóbids	Corc	Latifoliada i conifera	Qualsevol contingut	Circular 1 – 3 mm	Granular
Curculionids		Latifoliada i conifera	Humida >18%	Circular 1 –2 mm	granular

Els insectes de cicle larvari

El cicle de vida dels insectes xilòfags larvaris es caracteritza per un canvi de forma que s'anomena metamorfosi. Passen per quatre estats successius de desenvolupament: ou, larva, pupa i insecte adult.

El temps necessari per l'acompliment de tots els estats es coneix com "durada de la generació". Es diferent per a cada espècie. Els estats d'ou, pupa i insecte adult són, generalment, de durada curta i poden variar des de diversos dies fins a setmanes. El temps més llarg del cicle de vida correspon a l'estat larvari. Es durant aquesta etapa quan es dur a terme la degradació de la fusta per satisfer la seves necessitats d'alimentació.

S'identifiquen per la mida i la forma de les galeries que construeixen, pels forats de sortida i el tipus de serradures. També el tipus de fusta i el seu contingut d'humitat ajuden a determinar-ne l'espècie.

Els principals insectes de cicle larvari que actuen a Espanya són els següents:

- Cerambícids: *Hylotrupes bajulus* L. = corc grossa.
- Anòbids: *Anobium punctatum* De Geer = corc fina.
- Anòbids: *Sextovium rufovillosum* de Geer = "rellotge de la mort"
- Líctids (*Lyctus brunneus* Steph i *Lyctus linearis* Goeze) = Arnes
- Curculiónids



Cerambícids

Són coneguts com a escarabats d'antenes llargues i el més perjudicial es l'*Hylotrupes bajulus* o corc de mida gran.

La forma adulta d'uns 18 mm, és d'un color café-gris a negre. Es caracteritza per tenir unes grans antenes. S'alimentes de les substàncies de reserva de la fusta. Ataquen l'albura de les coníferes i prefereixen fusta parcialment podrida.

La durada del seu cicle biològic és molt variable segons la espècie (3 -11 anys).

Anòbids

El més habituals que es troben en les cases són el corc comú o dels mobles (*Anobium punctatum*) i l'escarbat del rellotge de la mort (*Xestobium rufovillosum*).

Els adults d'**Anobium Punctatum** tenen una llargària de 3-5mm i són de color bru fosc. El seu aspecte és el d'un escarabat petit i volador.



Aquests insectes s'engloben en l'ordre Coleòpters, caracteritzat per tenir les ales anteriors endurides, reben el nom d'èlitres, sota les quals protegeixen les ales posteriors membranoses, que els serveixen



per volar. Altres característiques són les de tenir un tòrax dividit en prototòrax (gran i mòbil), mesotòrax (on surten els èlitres) i metatòrax (on apunten les ales membranoses), així com un abdomen segmentat.

Els adults emergeixen de la fusta des de començaments de la primavera fins a finals de la tardor. Durant l'estiu si les temperatures són molt elevades poden aturar-se les emergències que es reprendran quan les condicions siguin més favorables.

Poden viure de 3 a 4 setmanes, s'aparellen en l'exterior de la fusta i són bons voladors, de manera que poden infestar fusta que estigui molt lluny del lloc d'emergència.

Les femelles fecundades ponen els ous (uns 80) en esquerdes o en els forats deixats per les generacions anteriors, mai sobre les superfícies llises de la fusta.

Passades 4 o 5 setmanes els ous eclosionen i en surten les diminutes larves que, rossegant, s'introdueixen dintre de la fusta formant galeries que es van engrandint amb la mida que ho fa la larva.

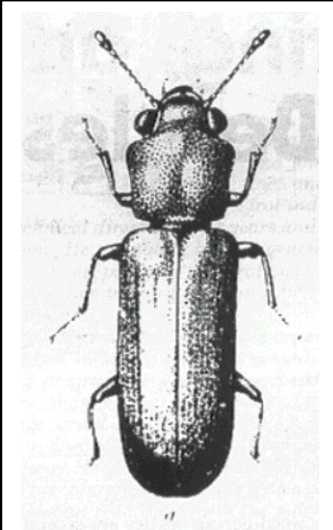
Dintre de la fusta els insectes hi passen d'entre 2 i 3 anys. El desenvolupament es veu afavorit per humitats de l'aire elevades i temperatures moderades (20-204°).

En finalitzar el desenvolupament com a cuc, la larva (que pot arribar a medir 6mm de longitud) fet una pupa (capoll) de la qual surt l'adult, que emergís fora de la fusta deixant com a únic rastre de la seva estada en la fusta un foradet, i de vegades, una montanyeta de serradures.

X. rufovillosum, l'**escarabat del rellotge de la mort** té, amb petites variacions, un cicle molt similar. Així els adults poden aparellar-se i realitzar la posta d'ous dintre de les galeries. La femella pon els

ous (uns 50) en esquerdes o en els forats deixats per les generacions anteriors i el cicle pot tardar de 5 a 10 anys en completar-se.

Líctids



A la Península Ibèrica es troben dos espècies que causen danys. D'una banda una autòctona anomenada *Lyctus linearis*, i d'una altra, tropical : *Lyctus brunneus*.

Els adults de *Lyctus* tenen forma allargada, quedant clarament separats el cap, tòrax i abdomen, amb una longitud entre 3 i 5 mm. Son de color vermell obscur.



Les femelles posen ous en grups de fins a 50. Les larves surten passades dos o tres setmanes i perforen les galeries en el sentit de la fibra de la fusta, a on s'acumulen unes serradures d'una textura semblant a una pols molt fina.

En acabar el seu desenvolupament, les larves passen al estadi de pupa a les capes més superficials de la fusta i passades 3 setmanes afloren els adults, que es caracteritzen per ser molt bons voladors, fent uns forats de 1-2 mm de diàmetre.

Tot aquest procés es pot realitzar en un any, encara que aquest temps pot ser inferior en cas de que les condicions siguin favorables, fet que accelera la degradació de la fusta degut a que la renovació de generacions és molt ràpida.

Aquests insectes tenen preferència per la fusta amb una humitat inferior al 18%, és a dir parcialment seca. Els líctids són insectes de mida petita (aproximadament 4mm de longitud). Les larves solen tenir 7mm de longitud.

Les condicions òptimes de l'albeca de la fusta per a que s'efectuï l'atac són:

1. Ataquen el parènquima (substàncies de reserva de la fusta). En fustes amb vasos de gran diàmetre, >0,7mm.
2. Ataquen la fusta si el seu contingut de midó és superior al 1,5%.

Les fustes més atacades per els líctids són les d'eucaliptus, nogal i fustes tropicals de frondoses.

El cicle biològic dels dos líctids és generalment d'un any, si les condicions són summament favorables (aparició d'altres temperatures) es pot reduir a cinc mesos el cicle.

Les galeries de secció circular d'un diàmetre de 1 a 1,5mm són obertes per les larves, porten la direcció dels vasos estan plenes d'unes serradures finíssimes com la farina.

Ataquen la fusta i el tauler contraxapat, utilitzant en la fabricació de productes elaborats: és a dir haurem de tractar la matèria prima amb la que es faran els mobles.

Les dues espècies que ataquen a Espana són: *Lyctus Bruneus* y *L. Linearis*.

Curculiònids

És una família abundant. El cap es prolonga en una llarg morro o trompa que presenta unes antenes al mig, són insectes cilíndrics i petits de 3 a 5 mm de longitud.

El cicle biològic és d'un any. Els adults apareixen a la primavera, procedents de larves que han passat l'hivern en la fusta atacada.

La femella ovíposita en l'escorça o superfície de la fusta i les larves taladren l'escorça i ataquen l'albeca, produint galeries superficials, donant a la fusta un aspecte llaurat. Les galeries són circulars, similars a les dels líctids. Els danys afecten a la fusta d'albeca, però si aquesta presenta atacs previs de fongs pot fins i tot afectar al duramen.

Insectes Socials

Els insectes xilòfags socials es caracteritzen per constituir agrupacions d'individus en la que els diferents tipus o espècies, incapaces de viure solitàriament, desenvolupen diferents càrrecs o funcions en el desenvolupament de la colònia.

ISOPTERS : Els tèrmits

Des de finals del paleozoic, fa uns 250 milions d'anys, els tèrmits viuen dins la fusta i s'alimenten d'ella. Es suposa que aquest grup d'insectes, que avui dia comprèn unes 6.000 espècies, es va originar a partir de les paneroles menjadores de fusta. Es pensa que la família ancestral dels tèrmits es la dels *mastotèrmits*, que comprendria espècies semblants a les paneroles i que va tenir representants per tot el planeta. Avui dia tan sols es coneix una espècie, el *Mastotermes Darwiniensis*, a la ciutat de Darwin, al nord d'Austràlia.

Són vitals pel cicle del biodeteriorament de la fusta. És un procés on les bactèries assisteixen els protozous que, conjuntament amb d'altres bactèries assisteixen un insecte en la obtenció d'energia de la fusta.



N'hi ha que són **subterrànies** i poden viure en elements de fusta (rinotèrmits), a aquest grup pertanyen les *Reticulitermes Lucifugus*, l'espècie més destacable a Europa.

Algunes es nodreixen de fusta seca, on hi fan els nius (calotèrmits). Es poden trobar a l'estat espanyol a les Illes Canàries, davant d'Àfrica.

Altres són **recol·lectores** del continent africà (hodotèrmits).

La resta de tèrmits, que en són la majoria, s'anomenen *superiors* per haver desenvolupat altres estratègies per la obtenció de substàncies nutritives aparentment prescindint dels seus simbions interns. Algunes es nodreixen de fulles, fruita fresca, fruita seca i bactèries del terreny. D'altres, tot i no tenir els simbions bacterians, també es nodreixen de productes a base de lignina i cel·lulosa, cultivant fongs.

Els individus són:



Alades: Un individu típic de la casta dels reproductors es caracteritza per tenir el cap esfèric, ulls compostos laterals acompanyats de un ull simple; antenes moniliformes i armadura bucal de tipus mastegador, amb mandíbules forçament esclerosades. Tòrax amb els



seus tres segments gairebé iguals, amb potes típicament caminadores, de mida igual; ales generalment el doble de llargada del cos, translúcides i en alguns casos amb les venes longitudinals anteriors enfosquides; les quatre ales de forma i mida molt semblants; les d'un mateix costat no presenten cap estructura d'acoblament que ajudi a batre de forma sincronitzada. Totes tenen a la seva base una zona concreta per on es desprenen després del vol, previ a la trobada sexual. L'abdomen és de deu segments, amb dues anelles curtes a l'extrem posterior del desè.

El tèrmits alats són els reis i reines potencials. Es poden confondre el tèrmits alats amb les "formigues alades". L'abdomen del tèrmit està àmpliament unit al tòrax, mentre que el tòrax i l'abdomen de la formiga estan units per una estreta cintura. Les antenes dels tèrmits són molt rectes, mentre que les de la formiga són curvades. A diferència de les castes que deixen darrera, les termites alades estan molt pigmentades. Les ales darreres i les davanteres del tèrmit alat són aproximadament igual de llargues, i normalment s'allarguen entre un 25 fins a un 33% de la seva llargada més enllà de l'abdomen quan es dobleguen. Les ales darreres de la formiga són molt més curtes que les davanteres, i les ales doblades rarament s'allarguen més enllà del final de l'abdomen.



Després del vol de les alades, les seves ales es trenquen per la seva base. Les parelles de mascles i femelles comencen una petita excavació per fer un nou niu.

Neotènics: Són normalment dos tipus de reproductors suplementaris o de substitució. Aquests o bé poden estar lleugerament pigmentats i amb dos parells d'ales curtes (brachypterous) o bé molt pigmentats i sense parells d'ales.

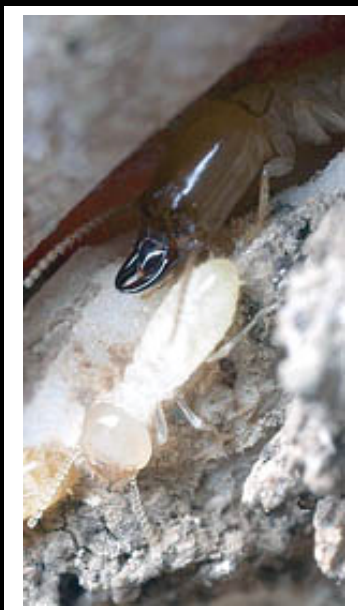


Soldats: La casta dels soldats, formada per individus que assoleixen els primers estadis de desenvolupament juvenil, però que a diferència dels obrers, el cap i les mandíbules d'hipertrofien i a més



presenten una coloració fosca cridanera, conseqüència del dipòsit d'esclerotina. Cecs i pràcticament sense diferenciació sexual.

Aquesta casta es característica de la seva Ordre, la seva presència és proporcionalment reduïda. Se li atribueixen les funcions defensives donat la agressivitat que algunes espècies són capaces de demostrar, tot i que en altres, la seva incapacitat de moviment sumat a la seva permanent dependència per alimentar-se, poden transformar-los en una pesada càrrega per a la resta d'integrants de la societat.



Obrers: Buscar aliment, compartir aliment, construir, tenir cura de la parella reial i les ninfes, netejar el niu. Els obrers descomponen la cel·lulosa de la fusta mitjançant uns *flagelats multiciliats* del tub digestiu, que transformen la cel·lulosa, i alimenten la resta de la colònia (es denomina trofalaxia quan els individus canvien aliments entre sí). També es poden alimentar de paper i teixits, i en el seu camí per a arribar a les fonts alimentaries poden provocar danys a altres materials que obstrueixin el seu camí.

La casta dels obrers la constitueixen individus que conserven durant tota la seva vida l'aspecte corresponent a les primeres etapes del desenvolupament juvenil. De color blanc groguencs, amb només les mandíbules pigmentades com a conseqüència del dipòsit d'esclerotina, que els hi atorga la duresa necessària per a triturar la fusta. Cecs. Sense vestigis d'ales (àpters) i sense diferenciació sexual.

Excepte els individus sexuals, els tèrmits (obreres i soldats) són cecs. La seva orientació mitjançant l'olfacte està molt desenvolupada. Els individus deixen gotes de feromones sobre el terreny, mostrant-se així el camí cap a les fonts d'alimentació a les altres obreres. El seu cos no està pigmentat, fugen doncs, de la llum. La insolació directa mata a les obreres i els soldats.

Al principi el desenvolupament de la colònia és molt lent. Amb l'increment dels individus la velocitat augmenta. El seu desenvolupament es realitza per successives mudes.

De vegades construeixen canals o tubs, fabricats amb saliva, excrements i partícules de sorra o de fusta que els hi permet salvar qualsevol tipus d'obstacles; aquests tubs poden estar adossats a murs de mamposteria o estar penjats del sostre.

Els tèrmits són, en teoria, immortals. No hi ha una obligació biològica per a la seva mort; el niu tan sols pot ser destruït per una catàstrofe o acabar-se desintegrant per manca d'aliments. L'eterna joventut de la colònia de tèrmits deu a la possibilitat de regenerar totes les seves parts.

Comunicació social



Els insectes socials necessiten d'un sistema de comunicació molt perfeccionat que els permeti reconèixer els uns dels altres, harmonitzar les funcions, regular el desenvolupament dels individus i les castes, en resum, sostenir la organització a la que han accedit mitjançant la evolució que els ha portat a ser absolutament dependents els uns dels altres. Queda clarament de manifest quan observem, per exemple, la particular alimentació trofalàctica (transmissió de l'aliment boca a boca) o

l'especialització en tenir cura de les cries. Aquest sistema de comunicació es basa principalment, en compostos químics secretats per glàndules ubicades en el esquelet extern que recobreix i sosté els individus. L'esquelet extern es pot està constituït per una membrana o cutícula que presenta nombrosos canals petits capil·lars.

Així mateix, la cutícula mostra diferents zones caracteritzades per els seus constituents químics: una interna o endocutícula, rica en quitina; un mitja o exocutícula, amb el seu constituent primordial la esclerotina i una fina externa o epicutícula.

Les glàndules tegumentàries, aquestes es poden agrupar en dos tipus: unicel·lulars i pluricel·lulars. Les primeres estan àmpliament repartides per tot el tegument i entre d'altres funcions, estan les relacionades amb el reconeixement dels individus que pertanyen a una mateixa societat,

en tant que en les segones destaca per exemple, la glàndula frontal característica dels tèrmits subterrànies i amb el seu màxim desenvolupament en els soldats, d'ella s'obtenen un producte d'advertència per a la defensa del niu davant l'atac d'invasors.

Alimentació

El tèrmit des d'un punt de vista alimentari, son absolutament dependents de la cel·lulosa, polisacàrid constituent principal de la fusta, i que presenta químicament una estructura veïna al midó. Tot i la proximitat química de ambdues molècules, la seva digestió no s'efectua en presència del mateix tipus d'enzims alliberadors de la energia que acumulen i indispensable per a la vida de qualsevol animal.

Tan sols es coneixen alguns enzims que ataquen la cel·lulosa i molt pocs aquells que demoleixen la molècula de lignina, segon constituent en importància de la fusta. Els primers, anomenats genèricament cel·lulosa, han estat trobats entre d'altres, en certes bacteries, en el tub digestiu d'alguns mol·luscs i en nombrosos insectes. En els tèrmits en particular, la digestió de la cel·lulosa és diferent, segons les espècies considerades. Es poden distingir almenys tres categories: unes amb zooflagelats simbios, les altres amb bacteries simbios i finalment les cultivadores de fongs.

Els simbios en general s'ubiquen a la part anterior de la tercera porció de l'intestí, en l'anomenada "estómac proctodeal o rectal", allà els microorganismes es barregen amb les fibres triturades de la fusta en un medi líquid, obtenint per una part el seu propi aliment i produint també l'aliment dels tèrmits, el que s'ha denominat "proctodeal".

Després es necessari distingir dos tipus d'aliments que consumeixen el tèrmit:

- L'estomodeal, que es secretat per les glàndules salivals i que sovint el barregen amb el contingut de l'estómac.
- El proctodeal, compost per el contingut de la panxa rectal. El que a més s'ha de diferenciar absolutament dels excrements, tot i que tots dos s'eliminen per l'anus.

Tant l'aliment estomodeal fabricat per un individu com el proctodeal que pugui aconseguir, són traspassats boca a boca (trofalaxia) des d'un individu a un altre de la societat. Aquesta forma d'elaboració els aliments i el seu posterior repartiment formen part de les característiques més peculiars amb que és possible distingir a les societats de tèrmits.

Tot i que tenen un règim alimentari basat quasi exclusivament en la cel·lulosa, els tèrmits practiquen: la necrofagia, el canibalisme i la oofagia.

En una colònia natural o de laboratori, tot individu mort es devorat per els seu congèneres, en el cas de trobar cadàvers en el seu interior significa que la societat està malalta i amb poques possibilitats de recuperar la seva condició saludable. En el cas de presentar-se individus malalts de qualsevol casta, així com individus ferits o amb pèrdua de sang, són atacats, i no poden escapar del canibalisme.

Aquesta pràctica es realitza inclòs amb individus neotènics (sexuats de substitució) suplementaris, en aquelles societats on només s'accepta una parella de reproductors. Per altra banda, la oofagia és una pràctica comú entre els Isòpters i constant entre les femelles fundadores, les quals s'alimenten d'ous fins a l'aparició dels primers obers que s'encarregaran de la seva manutenció.

Constitució i desenvolupament social

La existència de castes funcional i morfològicament diferenciables i la presència permanent de femelles i mascles són clares diferències entre les societats constituïdes per tèrmits i aquelles formades per formigues, vespes o abelles, que si bé presenten divisió del treball no tenen variacions morfològiques tant importants entre els membres que les constitueixen, a més en totes només es troben permanentment femelles, apareixent els mascles tan sols en èpoques de reproducció.

La determinació cromosòmica del sexe no es coneix del cert, per què no hi ha cromosomes morfològicament diferenciables relacionats amb aquesta funció. A més ambdós sexes en la major part dels casos estudiats, presenten un nombre semblant. Tan sols indueix a la determinació XY per als mascles i XX per a les femelles, a partir de reproduccions partenogenètiques en les que en conseqüència només s'obtenen femelles.

La reproducció de les societats s'assegura per un comportament típic i més o menys generalitzat, independentment de l'espècie i del grau d'evolució que aquesta posseeixi. La societat escull una casta, la dels sexuats, que com adults, després d'adquirir ales, poden perpetuar l'espècie. Ells abandonen el niu natal, volen, formen parelles i es dispersen. Cada parella posseeix el potencial suficient per a fundar una nova societat.

És durant el vol o al final del mateix, que es formen les parelles i la unió monògama dels sexes (l'eixam dels tèrmits no és com els de les abelles, una separació de la societat però sí un vol nupcial). Després del vol i ja a terra, es produeix el tall (autonomia) de les ales, la formació dels tàndems (contacte antenal dels mascles amb l'extrem abdominal posterior de les femelles) i passeig nupcial. Al final del galanteig ambdós es dediquen a construir una cavitat o copulari a on es tancaran i amputaran parcial i mútuament les antenes, per a finalment copular i començar la primera posta.

En *Reticulitermes hesperus* s'ha observat que l'acoblament té lloc de 13 a 36 hores després de cavar el copulari l'esperma apareix en les espermateques femenines de 13 a 108 hores després de l'aparellament. La femella conserva almenys durant 6 mesos l'esperma rebut en el seu primer coit; en tant que una segona còpula s'efectua aproximadament 250 dies després de la primera.

D'altra banda, l'espècie *Reticulitermes santonensis* mantinguda a temperatura constant de 26°, es va establir que en el naixement d'una societat la posta de la femella fundadora comença entre els 7 i 28 dies posteriors a la caiguda de les ales. I la posta es verifica de forma esglaonada durant 25 i fins un màxim de 145 dies, després es produeix generalment un període de repós d'entre 131 i 269 dies, abans de continuar.

En condicions naturals *R. Santonensis*, interromp la posta durant l'hivern degut a la baixada de temperatures per sota els 16° C, i la continua a la primavera següent. En aquest moment pot ocórrer un nou coit que permeti omplir les espermateques per a continuar la posta durant tota l'estació càlida.

Després dels primers naixements, els obrers tenen cura de la parella reial, que son alimentats amb aliment estomodeal, que semblar estar compost tan sols de saliva.

Tot l'anterior és aplicable, amb algunes petites diferències, al conjunt dels Isòpters, ja que el cicle reproductiu d'aquests es compon de les mateixes peces, donant testimoni així del caràcter unitari i monofilètic del Ordre.

Des de la posta de l'ou fins l'eclosió o naixement del individu transcorre un número variable de dies, corresponents al desenvolupament embrionari característic de cada espècie, per exemple per *Reticulitermes lucifugus* aquest període és igual a 25-30 dies. Al final del període neix una nimfa I, que es queda inactiva i només es nodreix d'aliments estomodeals i proctodeals, després de 7-14 dies muda, originant una nimfa II que camina i es nodreix com l'anterior, la qual al final 15-20 dies muda. Aquesta tercera nimfa treballa, es nodreix de fusta, té cura de les nimfes menors i dels adults

i contribueix a engrandir el niu i després de 28-35 dies muda (en cap de les tres etapes, és possible distingir els individus que seran futurs alats de tots els altres que seran futurs obrers o soldats).

L'individu que emergeix després de la tercera muda, si presenta matisos alats pertany a la casta dels alats, tot i que per a arribar a tenir ales haurà de patir encara unes altres 5 mudes. Si pel contrari no presenta cap modificació en relació a futures ales, però sí en relació amb un engrossiment del cap i prolongació de les mandíbules, aquest individu serà un futur soldat, estat al que accedirà amb només una muda addicional. Finalment, si el individu no presenta cap altra modificació que un augment de mida, passarà a integrar la casta d'obers i mudarà durant tota la seva existència conservant el seu aspecte juvenil.

Juntament amb la fundació d'una societat a partir d'una parella establerta amb posterioritat als enzims dels sexuals, nombroses espècies de tèrmits, com per exemple aquelles del gènere *Reticulitermes*, aconsegueixen crear noves societats utilitzant per això individus que en el curs del desenvolupament assoleixen la maduresa sexual però sense perdre la seva aparença juvenil, aquests individus són anomenats "neotècnics" i la societat creada a partir d'aquests es reconeix com originada d'esqueixos.

Els esqueixos es consideren expansions espacials d'una població i que no són refrenats per la inhibició exercida per els sexuals funcionals respecte de la instal·lació sexuals alternatius. Aquestes expansions poden o no mantenir-se unides entre sí i/o amb el niu primitiu. Si es mantenen unides poden constituir un continu a través d'extenses àrees, però al mateix temps, cada nou establiment de neotècnics determina així mateix un nou termiter.

Les dos modalitats reproductives, per enzims o per esqueixos no són excloent, podent una població créixer utilitzant ambdues.

Construcció de nius

Entre tots els Isòpters, les espècies de la Família *ReççKalotermitidae* són les menys aptes per a construir. Algunes viuen a la fusta, hi caven una trama de galeries irregulars, que en algun punt es fan més amples, sense que s'aconsegueixi entre trotes, distingir cap recinte especialitzat per a la parella reial o com a lloc de cria. Els excrements s'aglutinen i s'acumulen en galeries que abandonen a mesura que avancen les seves foradacions.

Exteriorment res fa notar la presència d'aquests minadors. Cap galeria es comunica amb l'exterior. Excepte per els *Cryptotermes* s'ha descrit el que poden obrir orificis pels quals expulsen

els seus excrements sòlids (minúsculs grans allargats). De totes maneres aquests orificis després són segellats amb partícules de fusta aglutinada amb saliva.

Les construccions que efectuen en la fusta els termits de la Família Termopsidae (Porotermes quadricollis), recorden en tot a les dels Kalotermitidae.

Per la seva part els Reticulitermes (Família Rhinotermitidae) no són tampoc grans constructors. Els seus nius pròpiament dits, a on es troben els reproductors (imaginalls o neotènics) i els recent nascuts, els fan al terra. D'aquí que els anomenem tèrmits subterranis.

El punt de partida d'un niu s'ubica pròxim a algun tros de fusta morta soterrada: a partir d'aquí la societat es desenvolupa cavant galeries, les parets de les quals s'aglutinen amb saliva, les que arriben a formar un sistema reticular molt variable en mida i configuració, pel que sembla sense seguir cap model predeterminat.

Les seves exigències són mínimes, només amb que trobin fusta i un cert grau d'humitat. Tot i aquesta gran versatilitat, s'ha observat que les seves àrees d'expansió preferents més enllà de la seva distribució d'origen, són les ciutats, el que els hi ha valgut ésser considerades plagues urbanes.

Els sistemes reticulars de túnels s'extenen a través d'enormes àrees d'acord amb la seva gran activitat exploratòria, incloent-hi tant els substrat com les fonts d'aliment que troben al seu pas.

La permanent recerca les porta en algunes oportunitats al medi extern que és on hi construeixen vertaderes galeries-túnels mitjançant aglutinats de partícules de terra o de fusta que adhireixen sobre un substrat. És possible que a més trobar estranyes construccions, com per exemple galeries-túnels que pengen des de un cel en forma vertical i que recorden a les estalactites de les grutes.

A Espanya només actuen tres espècies:

- Reticulitermes lucifugus Rossi a la península i les Balears (tèrmits subterranis).
- Criptotermes brevis Walker a les Illes Canàries (tèrmits de fusta seca).
- Kalotermes flavicollis Fabr. (la seva incidència es molt petita).

El Reticulitermes lucifugus Rossi forma els seus nius al terra fora dels edificis atacats, a través del qual entren subterràniament a les cases on es poden formar nius secundaris podent interrompre la seva comunicació amb el niu principal, sense perjudici per al desenvolupament de la colònia. Per al seu desenvolupament necessiten que la fusta estigui humida (superior al 22%) i un elevat percentatge d'humitat relativa de l'aire (del 95 al 100%).

Obren galeries paral·leles a la direcció de les fibres, deixant entre les galeries tires de fusta sense degradar, amb el qual adquirint l'aspecte de "fulles de llibre". L'espessor de la capa superficial que deixen intacta és molt reduïda, de 1 a 2mm. No ataca la fusta o els elements de fusta mòbils com per a exemple fulles de finestres i portes i, rarament, ataquen els mobles. En alguns casos, construeixen tubs o canals de petit diàmetre (1-2mm) i de paret gruixuda. Aquests tubs o canals serveixen com a vies de pas d'una peça de fusta a l'altra. La velocitat del seu treball depèn molt de la humitat i mida de les colònies.

El Criptotermes brevis Walker forma els seus nius a la fusta seca. Normalment, la colònia no és nombrosa, rarament arriben a uns milers d'individus. La parella reial es atreta per la llum, que és el principal motiu d'introducció a les cases.

La parella penetra a l'estructura de la fusta escollida per al seu futur niu, perforant directament la fusta o entrant per les fissures que presenti. Les seves necessitats d'humitat corresponen a un contingut d'humitat de la fusta del 15%, que és el límit màxim per al seu atac.

Les perforacions d'entrada estan sempre tapades per una secreció que forma un pel·lícula fina, quedant d'aquesta manera un forat gairebé invisible. És molt difícil localitzar els nius. La fusta atacada presenta al seu interior cavitats o cameres unides entre sí per túnels de secció circular amb un diàmetre que permet el pas del cos de les termites.

L'aspecte de la destrucció de la fusta és molt semblat al mal que causat per el Reticulitermes lucifugus, però actuen més ràpid.

Control

Aquells nius construïts a l'interior de la fusta, han de tenir comunicació amb l'exterior, almenys algunes de les seves galeries i després utilitzar productes tòxics gasificables. En el cas dels subterranis la situació és molt complexa i es requereix diferenciar el tipus de control que s'ha d'efectuar:

1. Control paliatiu, que elimini exteriorment i per un període curt el problema, el que es pot aconseguir amb qualsevol producte químic dels que trobem als supermercats, considerada la vulnerabilitat dels insectes com a conseqüència dels seus fràgils teguments. En aquest cas el niu resulta intacte.
2. Control curatiu, mitjançant la inundació del subsòl i per tant el niu amb els productes tòxics o que aquests productes siguin transportats fins a l'interior pels propis individus.
3. Control preventiu, ja de considerar entre d'altres, estudi del terreny abans de construir, utilització de barreres físiques o químiques que impedeixin l'accés a la construcció, tècniques de construcció que consideren el possible atac de tèrmits, utilització de fustes especialment tractades.

En relació al control curatiu s'ha d'assenyalar la ràpida evolució dels productes utilitzats degut, en gran mesura, a la prohibició del adrin com a matèria activa, per tractar-se d'una substància amb una alta persistència.

En un article publicat per el Centre Technique du Bois et de l'Ameublement de França (pruvost, 1994), s'indica com principi actiu en el combat dels tèrmits subterranis a tres químics: **l'hexaflumuron**, la **sulfuramida** i **l'hydramethylnon**, els quals són utilitzats principalment en esquers tòxics. L'insecticida s'incorpora a substrats atractius per als tèrmits (fustes, cartrons ondulats, fulles de paper, etc.) i s'accionen lentament. Els tèrmits entren en contacte amb el esquers, el transmeten a la resta de membres de la societat per l'intercanvi d'aliment. És important que la dosi d'insecticida no causi repulsió en els individus. Les substàncies utilitzades són insecticides d'ingestió o reguladors del creixement, així com inhibidors o anàlegs a les hormones juvenils.

La manera d'utilització dels esquers és el següent: el esquer es col·loca propers als llocs de pas dels tèrmits; es controla el consum del esquer i es reemplacen els esquers degradadors fins a la completa desaparició de l'activitat de la colònia. La duració del tractament depèn de l'activitat estacional i de la quantitat de esquer consumit pels tèrmits.

La tècnica de esquers necessita un diagnòstic precís i inspeccions regulars durant la fase d'intoxicació de la colònia. Aquesta tècnica permet disminuir considerablement les dosis d'insecticida utilitzades, podent-se combinar amb altres mètodes, en el marc d'una lluita integral i menys agressiva amb el medi ambient.

02.04. Xilòfags marins

Els xilòfags marins estan integrats per dos grans grups, els mol·luscs i els crustacis. Dins dels **mol·luscos xilòfags** només presenta certa importància a Espanya la família dels Teredinids i

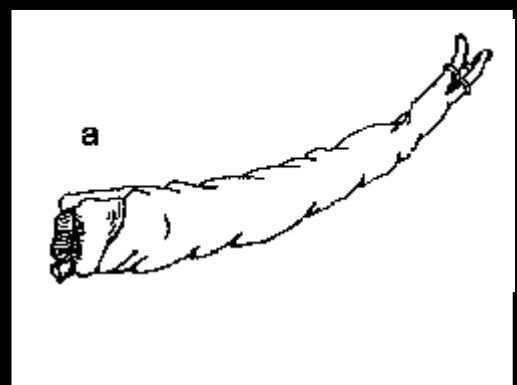
principalment el gènere *Teredo*. Són hermafrodites i la seva reproducció es pot realitzar de dues maneres. A la primera, que és la del *Teredo navalis*, la fertilització de les larves i el seu desenvolupament es produeix a l'interior del mol·lusc adult. Posteriorment expulsen les larves a l'exterior juntament amb l'aigua procedent de les brànquies. A la segona manera de fertilització, l'individu adult expulsa conjuntament els ous i els espermies; la fecundació es produeix dins de l'aigua del mar. Mitjançant una substància viscosa, denominada "biso" segregada per una glàndula del seu peu, es fixen a la fusta i posteriorment obren orificis de secció circular de 0,5 a 1mm de diàmetre. El *Teredo* comença desenvolupar-se, augmenta de tamany, viu a l'interior de la fusta durant tota la seva vida y mai l'abandona.

Referent als crustacis xilòfags el seu cicle de vida comença quan el mascle fecunda a la femella a l'interior de la fusta. La femella posa els ous que tenen el mateix aspecte que el dels individus adults, però amb una mida més petita. Es diferencien dels mol·luscs en què no es troben aprisionats a l'interior de la fusta, sinó que es poden moure lliurement al seu interior. La degradació que produeixen és visible exteriorment i és molt diferent a la causada per els mol·luscs.

Actuen en massa (una fusta amb una gran infecció pot tenir de 300 a 400 individus), obren galeries amb longituds inferiors a 1cm i amb diàmetres de 2mm, deixant la fusta pràcticament cribada. L'atac sobre la fusta es concentra generalment sobre la zona del nivell mitjà de les mares i el de baixa mar, per això els pals de les construccions marines tendeixen a agafar la forma característica del "rellotge de sorra". La velocitat de l'atac és inferior a la produïda per els *Teredos*.



Mol·luscs gènere *Martesia*



Teredo Navilis



Chelura

III . PROTECCIÓ

03.01. CONCEPTES

La fusta ha estat utilitzada per l'home des de fa molt temps. De la mateixa manera ha estat tractada mitjançant mecanismes empírics o rudimentaris utilitzant carbonats i sulfats de sodi. Algunes tècniques més bàsiques serien la immersió salada, la carbonització, la aplicació d'olis naturals, cautxú, resines, gomes, làtex i quitrans.

Davant d'un mercat condicionat per l'esgotament dels boscos naturals, productors de fustes nobles i durables, la preservació és una resposta tècnica.

El tractament de les fustes permet aconseguir durabilitats iguals o majors que les tradicionals en un gran nombre d'espècies.

Els continguts cel·lulars de la fusta reaccionen amb algunes substàncies químiques. Poden aparèixer precipitacions insolubles de forma molt ràpida que disminueixen o impedeixen la penetració del tractament.

Hi ha fustes que ja per la seva naturalesa tenen una porositat baixa, alt pes específic. Amés els seus conductes poden estar taponats per resines. En aquests casos es fa difícil la preservació.

03.01.01. LA DURABILITAT NATURAL.



La durabilitat natural s'acostuma a referir a la capacitat que posseeixen les diverses espècies de fusta per resistir l'atac de pudrició i insectes o la capacitat de la fusta de resistir l'atac dels diferents agents biològics de destrucció sense cap tractament de preservació, conservant les seves propietats i característiques en condicions òptimes. De totes maneres, es

pot ampliar aquest concepte de durabilitat incloent tant la resistència del material llenyós a l'atac d'organismes vius com la resistència al deteriorament per desgast mecànic i producte de diverses condicions ambientals.

La durabilitat de la fusta o resistència natural que oposa a la pudrició és un propietat extremadament variable. És així com certs tipus de fusta són notables per la seva resistència a l'atac de fongs, mentre que d'altres són coneguts per la seva facilitat de deteriorar-se. Tot i això, pot haver-hi una notable diversitat de resistència a la pudrició en peces preses de diferents arbres de la mateixa espècie i fins i tot d'un mateix arbre.

Els factors implicats en els diferències de durabilitat són nombrosos i diversos ; alguns d'ells estan en relació amb les condicions pròpies de la fusta, d'altres, amb les circumstàncies del seu ús.

En general, les diferències de durabilitat que existeixen entre les diferents espècies es deuen a les diferències en la naturalesa i quantitat dels extraïbles presents a la fusta més que a la seva densitat.

El concepte de durabilitat s'aplica sobre el **duramen** de la fusta no a la albeca que per raons fisiològiques no en té. La durabilitat natural de la fusta s'acostuma a classificar en grups segons la seva resistència al biodeteriorament. Aquestes classificacions consideren les condicions d'ús de la fusta i la pèrdua de pes durant proves al laboratori sota l'acció de fongs lignívors.

Classes de durabilitat del duramen (UNE EN 350-2):

- 1.- Molt durable**
- 2.- Durable**
- 3.- Mitjanament durable**
- 4.- Poc durable**
- 5.- No durable**

Tèrmits (Duramen)

- D - Durable**
- M - Mitjanament durable**
- S – Sensible**

Insectes Larvaris (Albura)

D – Durable

M – Mitjanament durable

SH – Duramen també Sensible

La major durabilitat natural del durament sobre la albica s'atribueix fonamentalment a certs canvis químics que es produeixen durant la transformació de la albica en durament. La naturalesa exacte d'aquestes alteracions no està ben dilucidada, però implica evidentment el dipòsit de certs productes a les cèl·lules del durament anomenats genèricament extraïbles, que es formen quan les cèl·lules del parenquima, cèl·lules d'emmagatzematge i distribució, perden el protoplasma i moren.

Per exemple, el durament d'algunes espècies conté olis essencials ; el de la sequoia conté productes químics hidrosolubles d'elevada toxicitat ; els dels pins resinosos es caracteritza per què conté quantitats variables de trementina i olis de pi, el del castanyer està impregnat de tanins.

Així doncs, quan la fusta s'utilitza en condicions favorables a la pudrició, és evident que les diferències de contingut d'aquestes substàncies explica, en gran part, la diferència de durabilitat que s'observa al durament d'una espècie; no així la albica que a totes les espècies n'és susceptible. Altres factors addicionals que contribueixen a un major durabilitat del durament poden ser un contingut més baix d'humitat, penetrabilitat més pobre i bloqueig de les cavitats cel·lulars per gomes, resines i certes protuberàncies. A tot això, s'hi uneix la inexistència de parenquima, el durament i, generalment, una major presència de lignina.

Podria semblar que la densitat de la fusta, o el seu pes específic, podria servir com criteri de durabilitat, ja que aquest depèn fonamentalment de la quantitat de fusta existent a cada peça. Ara bé, a moltes espècies la densitat no presenta una correlació amb la resistència a la pudrició, ja que propietat està influïda principalment per la toxicitat dels extraïbles existents a la fusta.

Quanta més sàvia tingui la fusta més nutrients tindrà i serà més propensa a l'atac dels fongs i insectes xilòfags on trobaran un medi ideal per alimentar-se i reproduir-se.

Quanta més humitat tingui i menys airejada estigui serà més propensa a l'atac dels fongs que, en qüestió de setmanes i, de vegades dies, infecten la fusta; aquesta fusta va perdent resistència mecànica.

Segons les dades facilitades per diversos estudis, la fusta que conté menys dels 18% d'humitat no és atacada pels xilòfags (amb l'excepció del corc gran).

Dins del teixit llenyós poden diferenciar-se dues zones: el duramen, en l'interior del tronc, i l'albeca, en l'exterior. La formació del duramen es caracteritza per modificacions anatòmiques i químiques. Les modificacions anatòmiques, tant en les frondoses com en les coníferes, es tradueixen en una obturació total o parcial dels teixits encarregats de transportar la sàvia. Les modificacions químiques tenen lloc en impregnar-se les cèl·lules amb altres productes naturals produïts per l'arbre (resines, olis, tanins, gomes, substàncies solubles, hidrats de carboni polisacàrids, alcaloides, etc.) que en oxidar-se solen donar-l'hi un característic color fosc, que es pot apreciar amb més claredat en algunes coníferes.

La duraminització protegeix la fusta contra els atacs dels fongs i insectes xilòfags, per la obturació i impregnació dels teixits de la fusta amb substàncies que tenen un cert valor antisèptic. La fusta de duramen no és tan sols més fosca (en la majoria de les espècies) sinó que també es més densa i resistent als atacs d'origen biològic; mentre que la fusta d'albeca sol ser més clara, generalment blanc groguenc, més porosa i tova, i menys valuosa per algunes aplicacions.

D'altra banda però, des de el punt de vista dels tractaments, l'albeca sol ser més fàcil de tractar i de treballar en la major part dels processos d'elaboració i desintegració mecànica.

Existeix molta informació sobre aquest tema, que s'està recopilant en documents normatius europeus, les dues normes principals dels quals són la UNE EN 350-1 "Durabilitat de la fusta i dels materials derivats de la fusta. Durabilitat natural de la fusta massissa", i la UNE EN 350-2 "Durabilitat de la fusta i dels materials derivats de la fusta. Durabilitat natural de la fusta massissa. Part 2: Guia de la durabilitat natural i de la impregnabilitat d'espècies de fusta seleccionades per la seva importància en Europa".

03.01.02 LES CLASSES DE RISC.

Les classes de risc intenten valorar el risc d'atac de l'element de fusta per els agents xilòfags en funció del lloc on s'instal·laran. Depenent principalment del grau d'humitat que pot assolir la fusta durant la seva vida de servei (inferior al 18%, ocasionalment superior al 20%, freqüentment superior al 20%). Les classificacions no són sempre perfectes i degut a la quantitat d'utilitzacions que pot tenir la fusta, existiran situacions que es superposin varies classes de risc.

El Comitè Europeu de Normalització (CEN) a través de la Norma Europea EN-35 parts 1, 2 i 3 ha localitzat 5 classes de riscos que es distingeixen sobre la base de la humitat a la que està sotmesa la fusta en diferents condicions d'utilització

Taula resum de les classes de risc

CLASSE DE RISC	SITUACIÓ	EXPOSICIÓ A LA INTEMPÈRIE	CONTINGUT DE LA HUMITAT DE LA FUSTA
1	Cobert i sense contacte amb el terra	Permanentment sec	Màxima 18-20%
2	Cobert i sense contacte amb el terra, amb risc d'humitats	Humectacions ocasionals	En alguna ocasió >20%
3	A l'exterior no cobert i sense contacte amb el terra	Humectacions freqüents	Freqüentment >20%
4	En contacte amb el terra o amb aigua dolça	Humectacions permanents	Permanentment >20%
5	En contacte amb aigua salada	Humectacions permanents	Permanentment <20%

Com s'ha pogut constatar a paràgrafs anteriors, els agents que provoquen la degradació de la fusta són de procedència múltiple. De totes maneres, tant per als fongs com per als insectes, el factor que limita el desenvolupament d'aquests és tot sovint la humitat.

Existeix, doncs, una correlació molt important entre l'ambient en el que es troba la fusta a obra i els atacs dels agents biològics destructors. És fàcil intuir que la fusta resguardada a un ambient tancat i sec serà més duradora que la mateixa en contacte amb terra humida.

Tant major sigui el risc, tan major és la necessitat d'augmentar la resistència natural de la fusta amb tractaments d'impregnació.

03.01.03 IMPREGNABILITAT.

La impregnabilitat d'una espècie avalua la capacitat que presenta per a que un líquid (per exemple un protector) pugui entrar en el seu interior. En tots els sistemes de tractament, amb la excepció del de difusió que utilitza com a vehicle l'aigua que conté la fusta, la quantitat de producte que entra en la peça està molt relacionada amb la seva estructura anatòmica (la dimensió, la forma i el nombre de cèl·lules per unitat de volum; i l'habilitat de les mateixes per a transportar líquids).

En general la fusta d'albeca s'impregna amb més facilitat independentment del comportament que tingui la seva fusta de duramen; tot i que existeixen casos puntuals en els que és molt difícil impregnar la fusta d'albeca.

En el llibre publicat per AITIM "Protecció preventiva de la fusta" (enllaç) s'han incorporat taules de durabilitat natural i valors d'impregnabilitat per a les 250 espècies més utilitzades.

Les Classes d'impregnabilitat són:

- 1- Impregnable
- 2- Mitjanament impregnable
- 3- Poc impregnable
- 4- No impregnable

El mètode de tractament és el procediment per el qual s'aplica un protector a la fusta. El seu objectiu es aconseguir introduir la quantitat definida de producte en un volum de fusta determinat que aquest assoleixi la penetració especificada.

Es poden distingir dues formes o procediments per a tractar la fusta. La primera es podria denominar passiva, ja que es basa en la capacitat natural de la fusta per a rebre o absorbir el protector, la quantitat de producte absorbida és irregular i no controlable; inclouria l'aplicació amb pinzell, la polvorització i la immersió breu. La segona es podria denominar activa, ja que es basa en mètodes artificials (tècniques de buit-pressió), la quantitat de producte absorbit per la fusta es pot controlar amb major precisió i inclouria tots els mètodes que utilitzen l'autoclau.

Relació de mètodes de tractament – penetració:

- **Aplicació amb pinzell:** s'aconsegueix una protecció superficial contra l'acció d'agents biòtics i contra la fotodegradació.
- **Polvorització:** s'aconsegueix una protecció superficial contra l'acció d'agents biòtics i contra la fotodegradació. La polvorització és més eficaç que l'aplicació amb pinzell.
- **Immersió breu** (període de temps entre uns 10 segons i 10 minuts): S'aconsegueix una protecció superficial contra l'acció d'agents biòtics.

- **Immersió prolongada** (període de temps superior a 10 minuts). S'aconsegueix una protecció mitja contra l'acció d'agents biòtics.

- **Tractaments amb buit-pressió** (realitzats amb autoclau: un cilindre metàl·lic tancat en el que s'introdueix la fusta i el protector de la fusta. Mitjançant l'aplicació de buit, trèiem l'aire de la fusta, i mitjançant l'aplicació de pressió, aconseguim forçar l'entrada del producte en l'interior de la fusta). S'aconsegueix una protecció profunda contra l'acció d'agents biòtics. En funció dels buits i pressions que es realitzen i dels seus temps d'aplicació es classifiquen en:
 - Sistema de cèl·lula plena: el seu objectiu es aconseguir la màxima retenció del protector en la fusta tractada.
 - Sistema de cèl·lula buida: el seu objectiu es aconseguir que el producte penetri profundament en la fusta.
 - Doble buit: el seu objectiu es protegir perimetralment la paret cel·lular.

- **Fusta termo tractada:** la fusta es sotmet a unes determinades temperatures (al voltant dels 200°C) durant un cert període de temps.

03.01.05 TIPUS DE PROTECCIÓ.

El tipus de protecció a escollir dependrà de la classe de risc en el que es trobi l'element de fusta i de la seva durabilitat natural. La elecció del tipus de protecció pot tenir dos punts de vista. El primer es basa en les especificacions de les noves normatives europees i el segon en base a la experiència. Ambdós punts de vista arriben a les mateixes conclusions.

Segons les normes europees (Norma de referència: UNE EN 351-1)

Taula. Classes de risc. Penetració (P) i Retenció (R) del producte protector en la fusta. Exposició i Contingut d'humitat de la fusta.

CLASSE DE RISC	FUSTA FACILMENT IMPREGNABLE		FUSTA NO FÀCILMENT IMPREGNABLE		EXPOSICIÓ A LA INTEMPÈRIE	CONTINGUT D'HUMITAT DE LA FUSTA
	P	R	P	R		
1	P1	R1	P1	R1	nula	màxima 20%
2	P1	R2	P1	R2	molt dèbil	en alguna ocasió >20%
3	P4	R3	P1	R3	de dèbil	freqüentment >20%
	P8	R3	P5	R3	a fort (1)	
4	P8	R4	P5	R4	forta	permanentment >20%
5	P9	R5	En principi No recomanable En alguns casos P7-R5		forta	permanentment >20%

Punt de vista simplificat

Només s'especifica la penetració, però l'empresa que realitza el tractament ha de certificar la retenció (com a mínim, la dels resultats d'assaig per a cadascuna de les classes de risc).

Tipus	Penetració	Mètode de tractament
Superficial	La penetració mitja assolida per el protector és de 3mm, essent com a mínim d'1mm en qualsevol part de la superfície tractada. Es correspon amb P1, P2 i P3	- Aplicació amb pinzell - Polvorització - Immersió breu
	Mitja	La penetració mitja assolida per el protector és superior a 3mm en qualsevol zona tractada, sense arribar al 75% del volum impregnable Es correspon amb P4, P5, P6 i P7
Profunda	És aquella en què la penetració mitja assolida per el protector és igual o superior al 75% del volum impregnable Es correspon amb P8 i P9	- Autoclau buit-buit - Autoclau buit-presió

Taula resum

CLASSE DE RISC	EXPOSICIÓ HUMIDIFICACIO	TIPUS DE PROTECCIÓ	PRODUCTE	MÈTODE DE TRACTAMENT
1 Sense contacte amb el terra. Sota coberta	CAP	No necessària	-	-
		Recomanable	Orgànics	Aplicació amb pinzell
		Superficial	Hidrodispersables Productes Mixtes	Polvorització Immersion
2 Sense contacte amb el terra. Sota coberta	OCASIONAL	Superficial	Hidrosolubles	
		Recomanable Mitja	Orgànics Hidrodispersables Productes Mixtes	Pinzell/Polvor/Immer Pinzell/Polvor/Immer -
3 Sense contacte amb el terra. A l'exterior	FREQUENT	Mitja	Hidrosolubles Productes Doble Buit	Immersion./Autoc Autoclau
		Recomanable Profunda	Productes Mixtes Hidrosolubles Productes Doble Buit	- Autoclau Autoclau
4 En contacte amb el terra O amb aigua dolça	PERMANENT	Profunda	Creosota Productes Mixtes Hidrosolubles	Autoclau
5 En aigua salada	PERMANENT	Profunda	Hidrosolubles	Autoclau

03.01.06 DURADA DEL TRACTAMENT

La “vida útil o la durabilitat” de la fusta tractada és una informació útil que no és fàcil de obtenir. A continuació s'exposen algunes dades orientatives procedents d'experiències reals i basades en que el tractament s'ha realitzat correctament.

- En principi per a totes les aplicacions d'interior, la fusta tractada romandrà protegida per sempre.
- En el cas de la fusta exterior que s'ha protegit mitjançant tècniques de buit-pressió amb productes hidrosolubles, seguint les indicacions del fabricant, es pot assolir una vida útil, depenent de l'espècie de fusta, de 50 anys (altres fabricants i tècnics la rebaixen a 20 anys). Aquesta estimació també es pot ampliar a la fusta utilitzada a l'exterior en contacte amb el terra.
- En el cas de la fusta utilitzada en fusteria exterior sense contacte amb el terra que s'hagi protegit mitjançant tècniques de buit-buit, tant amb productes orgànics com hidrosolubles (especials per a aquest tipus de tractaments), seguint les instruccions del fabricant, es pot assolir una vida útil, depenent de l'espècie de fusta, de 60 anys (altres fabricants i tècnics la rebaixen a 25 anys).

03.01.07 CERTIFICAT DE LA QUALITAT DE LA FUSTA TRACTADA

Una vegada realitzat el tractament, l'empresa que l'ha realitzat haurà d'emetre un certificat especificant la següent informació:

- Identificació de l'aplicador (nom, adreça, número d'identificació fiscal, etc.)
- Identificació de la fusta tractada (espècie, qualitat, dimensions, codis, etc.)
- Producte protector de la fusta utilitzat (nom del producte, número de registre o si no, informes d'eficàcia de laboratoris de reconegut prestigi)
- Mètode de tractament aplicat
- Classe de risc (Classe de penetració i Retenció); Categoria del risc que cobreix el tractament
- Any i mes de tractament (número de partida o lot/any)
- Precaucions davant de mecanitzacions posteriors al tractament
- Informacions complementàries

03.02 PROTECCIÓ DE LA FUSTA CONTRA EL FOC

03.02.01 INTRODUCCIÓ

És possible reduir i, en alguns casos, impedir l'acció del foc mitjançant la ignifugació de la fusta, que té per objectiu disminuir el nivell de la seva combustibilitat i inflamabilitat.

Aquesta es pot realitzar mitjançant el seu tractament amb diversos productes químics o protegint-la amb altres materials incombustibles que actuïn de pantalla i que impedeixin que arribi la calor fins a ella, és el que en la protecció de la fusta davant dels agents xilòfags o atmosfèrics es denomina "detalls constructius". D'altra banda, però, el que es coneix normalment com a ignifugació és el tractament de la fusta amb productes químics que provoquen modificacions en el procés de la seva combustió.

La informació s'ha organitzat en el següents blocs informatius:

- Reacció al foc
- Resistència al foc
- Mètodes de tractament
- Tipus de protectors ignífugs
- Reglament vigent

03.02.02 REACCIÓ AL FOC – FUSTA

La reacció al foc fa referència a un material i avalua com es comporta davant el foc mitjançant assaigs normalitzats. Des de fa més d'una dècada s'està treballant en la normalització a nivell Europeu d'un sistema de classificació i assaig que ja està molt avançat i a punt de completar-se. És possible que durant un cert temps hagin de conviure els sistemes nacionals i el sistema europeu, per a finalment, quedar vigent només aquest últim.

1.- Classes espanyoles de reacció al foc.

Les classes de reacció al foc espanyoles definides en les normes són **M0, M1, M2, M3 i M4**. El nombre de la denominació de cada classe indica la magnitud relativa amb la que els materials poden afavorir el desenvolupament d'un incendi.

- M0** No combustible
- M1** Combustible però no inflamable (implica que la seva combustió no es manté quan acaba l'aportació de calor des de un foc exterior)
- M2** Combustible i difícilment inflamable
- M3** Combustible i mitjanament inflamable
- M4** Combustible i fàcilment inflamable

2.- Euroclasses – nova normativa europea de reacció al foc

- 1) Aplicable als materials de construcció excepte revestiments de paviments.

Està enfocat fonamentalment a l'avaluació de la reacció al foc dels materials de revestiment de parets i sostres. Les Euroclasses que contempla aquest sistema es designen respectivament amb les lletres: A1, A2, B, C, E i F.

- 2) Aplicable als revestiments de paviments.

Les Euroclasses que contempla aquest sistema es designen respectivament amb les lletres: A1_{FL}, A2_{FL}, B_{FL}, C_{FL}, D_{FL}, E_{FL} i F_{FL}.

A1/A1 _{FL}	No combustible en grau màxim
A2/A2 _{FL}	No combustible en menor grau
B/B _{FL}	Contribució molt baixa o insignificant a l'incendi
C/C _{FL}	Contribució escassa a l'incendi
D/D _{FL}	Contribució moderada a l'incendi
E/E _{FL}	Contribució significativa a l'incendi
F/F _{FL}	Sense dades sobre el seu comportament al foc

03.02.03 RESISTÈNCIA AL FOC

Per a mesurar la resistència al foc d'un element es sotmet al unes condicions molt pròximes a les real simulant les temperatures que es produeixen en un incendi dins un forn d'assaig. L'element s'assaja amb les seves dimensions reals. Els elements constructius han de complir determinades exigències de comportament davant el foc en relació a les següents condicions:

- a) l'estabilitat o capacitat resistent
- b) l'absència d'emissió de gasos inflamables per la cara no exposada
- c) la estanqueïtat al pas de les flames o gasos calents
- d) la resistència tèrmica suficient per a impedir que es produeixin en la cara no exposada temperatures superiors a les que s'estableixen en la norma UNE 23.093.

El temps transcorregut fins que falli alguna d'aquestes exigència mesura la resistència al foc de l'element i els classifica en:

- **EF (Estabilitat al foc)**, han d'acomplir la condició **a)**
- **PF (Tallafocs)**, han d'acomplir les condicions **a), b) i c)**
- **RF (Resistència al foc)**, han d'acomplir les quatre condicions

Les exigències s'estableixen conforme a la següent escala de temps: **15, 30, 60, 90, 120, 180 i 240 minuts.**

03.02.04 MÈTODES DE TRACTAMENT

La ignifugació de la fusta modifica en un sentit molt favorable la seva reacció al foc, que de forma indirecta i amb grans limitacions pot permetre millorar la seva "resistència al foc" quan duu a terme funcions estructurals o quan s'incorpora a un element estructural (per exemple un tauler de partícules ignífug que s'utilitzi per a la fabricació d'una porta resistent al foc pot contribuir a millorar la resistència al foc d'aquesta porta). Deixant a part una possible millora en la classificació de la reacció al foc de la fusta per una col·locació adequada, ens centrarem en els tractaments d'ignifugació per a aconseguir aquesta millora en la classificació.

En funció d'on es col·loquen o de com s'introdueixen els productes en la fusta es poden distingir els tractaments en profunditat i els tractaments superficials.

- Tractaments en profunditat:

Els productes penetren i es fixen en l'interior de la fusta. Es poden emprar els següents mètodes per a introduir-los en la fusta: forçant la seva entrada utilitzant tècniques de buit-pressió (autoclau) o incorporant-los íntegrament (en massa) dins dels productes de la fusta.

- Tractaments superficials:

Els productes es col·loquen sobre la superfície de la fusta aplicant-los mitjançant l'aplicació amb pinzell, polvorització, immersió o projecció.

03.02.05 TIPUS DE PROTECTORS IGNÍFUGS

La majoria dels productes químics utilitzats en les formulacions dels productes ignífugs per a la fusta tenen una llarga història d'utilització, que inclouen productes basats en el Fòsfor, Nitrogen, Bor, Silici i en altres combinacions que produeixen sinergies amb els anteriors, fosfats d'amoni, sulfat d'amoni, bòrax, àcid bòric, etc. Els productes ignífugs es poden classificar segons el mètode d'aplicació i la seva composició en les següents classes.

- Productes aplicats per el mètode d'autoclau

Existeixen tres tipus de productes que es diferencien entre sí per les propietats que limiten o recomanen la seva aplicació en circumstàncies específiques: sals simples per a interiors, sistemes semi-complexes resistents a la humitat i sistemes de resines polimèriques resistents als rentats. Totes les formulacions que es descriuen utilitzen com a vehicle l'aigua.

- Productes aplicats per el mètode d'autoclau

Aquests productes poden incorporar-se durant el procés de fabricació dels taulers, en les partícules de fusta abans de que s'encolin, polvoritzant-los sobre la manta de fibres es polvoritza o afegint-los a les coles amb que s'encolen les planxes dels taulers contraplacat.

- Pintures i vernissos

Aquests productes s'apliquen sobre la superfície de les peces de fusta i eviten la formació o aparició de flames. El seu acabat ha de ser transparent per a no emmascarar o tapar l'aspecte de la fusta o per el contrari, tapar la fusta comunicant un bon acabat tipus pintura. Les capes del producte poden aplicar-se amb pinzell, polvoritzat o per processos mecànics i han de tenir l'espessor de pel·lícula definit per a que siguin efectius. Existeixen dos tipus de productes, les pintures intumescent i les no intumescent.

- Altres tipus de productes

Existeixen altres tipus de productes que s'incorporen o fixen als elements de fusta com les tires i les planxes ignífuges. També es poden utilitzar planxes de guix o taulers de fibro-ciment.

03.03. PROTECCIÓ DE LA FUSTA CONTRA AGENT XILÒFAGS

03.03.01. INTRODUCCIÓ

Una vegada escollida la espècie de fusta i conegudes les seves propietats de durabilitat natural i impregnabilitat, la protecció preventiva de la fusta engloba tant la protecció química com la correcta instal·lació de l'element de fusta. Depenent del lloc d'aplicació i de la espècie de fusta que escollim, cadascuna d'elles tindrà més o menys pes. En alguns casos unes mesures de tipus constructiu adequades seran suficients, en d'altres casos serà necessari complementar-les amb la incorporació de productes químics.

La protecció química s'enfoca a introduir la quantitat de producte protector necessària en funció de les degradacions o riscos a que pugui estar sotmesa (classes de risc). Mentre que les mesures constructives o els detalls constructius tracten de disminuir o d'eliminar les possibles degradacions que poden alterar la fusta, en general no són efectives contra els insectes xilòfags en general, però tenen una gran influència beneficosa contra els fongs xilòfags, els tèrmits i l'acció de les inclemències atmosfèriques.

La indústria de la preservació de fustes, ha descobert nombroses substàncies tòxiques, que aplicades racional i convenientment, protegeixen la fusta dels seus enemics naturals.

Aquests compostos químics purs o barrejats, varien àmpliament en naturalesa, cost i eficàcia; aspectes que estan directament relacionats amb l'ús al que es destinarà la fusta.

Els protectors de la fusta estan compostos per matèries actives, productes fixadors i solvents. Les matèries o els principis actius tenen propietats insecticides o fungicides i es fixen a la fusta mitjançant els productes fixadors, ambdós productes s'introdueixen en l'interior de la fusta a través del solvent que actua com a vehicle.

Els seus requisits principals son els següents:

- Registre del producte en el Ministeri de Sanitat que especifica les seves aplicacions i els possibles riscos derivats d'una incorrecta manipulació o la forma de manipular-los per a evitar aquests riscos.
- Efectivitat davant l'agent degradador, que queda definida en les corresponents normes d'assaig i d'especificacions, i ha d'estar recolzada per el corresponent informe d'assaig emès per els

laboratoris de reconegut prestigi. Normalment s'especifica la quantitat de producte necessària i el mètode de tractament.

- **Permanència del producte:** Els productes han de protegir la fusta durant un cert temps. Sobre aquest punt s'ha de tenir en compte que existeixen productes que comuniquen una protecció temporal de la fusta, com per exemple els que s'utilitzen per a evitar que la fusta serrada agafi un to blau; i altres que comuniquen una protecció de major duració com és el cas de les sals solubles amb aigua aplicades amb tractaments de buit – pressió.

Degut a la gran quantitat de variables que intervenen o defineixen un producte protector com poden ser la seva composició, forma de presentació (líquida, pols, pasta, cartutxos, gas, etc.), camp d'aplicació, efectivitat, mètodes de tractaments, manipulació, compatibilitats amb altres productes, etc.; el fabricant ha d'aportar la màxima informació sobre el producte en qüestió avalada amb els corresponents informes.

Els productes protectors es poden classificar en funció de la seva composició química (principis actius, solvents i productes fixadors) en els següents:

- protectors solubles en aigua (els seus principis actius són sals minerals, que es dilueixen en aigua a una concentració determinada)
- protectors en dissolvent orgànic (els seus principis actius són compostos orgànics de síntesis, als que s'afegeixen resines, que van diluïts en dissolvents orgànics)
- protectors hidrodispersables (els seus principis actius són compostos orgànics de síntesis no solubles en aigua als que s'hi afegeix un emulgent per a produir una bona dispersió en aigua)
- protectors mixtos (els seus principis actius són barreges de sals minerals amb productes de síntesi que es dilueixen en aigua).
- protectors orgànics naturals (normalment fan referència a les creosotes).

03.03.02. Característiques que ha de reunir un Preservant

Un preservant reuneix aquestes característiques:

Toxicitat, és fonamental per a poder controlar o anular l'activitat dels agents biològics que afecten a la fusta.

Per a que una substància o producte químic exerceix la seva acció en forma prolongada ha de ser soluble en els líquids cel·lulars dels agents xilòfags. Existeixen casos com el de la creosota i pentaclorofenol que són insolubles en aigua, però són suficientment solubles en la fisiologia dels insectes, fongs, produint la seva mort.

La toxicitat del producte està donada per la menor quantitat de producte químic actiu.

Penetrabilitat per a assolir efectivitat en aquest sentit es necessari comptar amb factors com el del contingut d'humitat, porositat de la fusta i el grau de viscositat del producte químic. En alguns casos les substàncies químiques reaccionen amb la fusta produint precipitats insolubles que disminueixen o impedeixen la penetració del preservant.

Algunes fustes per la seva naturalesa tenen un alt pes específic o baixa porositat, i a vegades els seus conductes estan taponats per gomes o resines, el que fa impermeable i en conseqüència difícil la feina d'impregnar.

Permanència, per a que el preservant ofereixi a la fusta una garantia de permanència ha de tenir components tòxics que poden fixar-s'hi de forma permanent, sense produir solucions químiques, i que conserven les seves característiques i no s'alterin per lixiviació, volatilització o per canvis químics.

Inocuitat, tot preservant ha de ser segur de manipular, no han d'exigir de l'home i animals domèstics altres precaucions que els que requereixen els productes químics convenients i quan aquest presenta risc especial se l'ha de classificar com a perillós.

No corrosius, un bon preservant no ha de ser corrosiu pels elements metàl·lics, així com filferro, claus, visos i equips.

No combustibles, les substàncies químiques tòxiques o preservants no han d'augmentar el poder de combustió de la fusta tractada. S'ha de prendre nota de que el risc es menor quan la fusta es tracta amb productes hidrosolubles i que amb els oleosolubles que estan exposats per l'eliminació la seva exhudació son majors els riscos a la inflamabilitat.

El preservant no ha d'oferir dificultat per a la seva incorporació a la fusta i permetre bons acabats en el material.

No fitotòxics, quan la fusta tractada serà utilitzada en certs cultius agrícoles, s'ha de prendre's la precaució de que el producte química no contami ni els productes alimentaris.

Econòmics i accessibles, els costos dels preservants influeixen sobre el valor final de la fusta tractada, amb un cost que pugui impedir que aquesta competeixi amb altres sense tractament o amb materials capaces de substituir-la.

03.03.03. Classificació dels Preservants

Es poden classificar els preservants segons el seu origen o ús.

Creosotes

Creosota ordinari s

Creosota líquida

Barrejes de creosota

Productes orgànics (oleosolubles)

Naftenats

Pentaclorofenol

Pentaclorofenat de sodi (soluble en aigua)

Òxid tributil estanyic

Quinolinat de coure

Productes inorgànics (hidrosolubles)

Sals múltiples

Arsènic coure – Amoniacals (A.C.A.)

Cupro-Crom-Arsenicals (C.C.A.)

Cupro-Crom-Bòrique (C.C.B.)

Compostos de bor

Altres compostos hidrosolubles

La creosota s'obté de la destil·lació de quitrà d'hulla, produït per carbonització a temperatura elevat de l'hulla bituminosa; és una barreja extraordinàriament complexa que conté substàncies neutres, àcides i alcalines, la separació industrial dels components de quitrà es fan per mitjans

químics, entre aquestes substàncies tenim als hidrocarburs aromàtics que componen el grup majoritari (80-90%), altres com l'antracè, naftalè, bencè xilè, la fracció àcida que és el 5% de la creosota total constituïda per fenols creosols xilenols i naftols d'alt poder fungicida i insecticida, finalment la fracció bàsica també el 5% de la creosota, constituïda per peridines, quinolines i acridines.

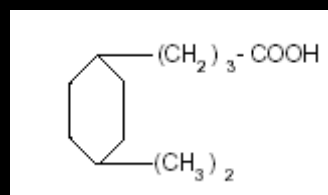
Les característiques de la creosota són: insoluble en aigua, d'alta toxicitat contra fongs i insectes, de bona permanència, no té acció corrosiva amb els metalls, d'olor forta i penetrant, no aconsellable per a interiors d'habitatges, no pot ésser la fusta pintada ni envernissada, la fusta impregnada queda bruta i produeix irritació en la seva pell, degut a la seva composició complexa, és molt difícil treballar amb un producte homogeni.

També la creosota ha de reunir certes exigències i normes que s'han necessàries no només per a tenir molta seguretat de treballar si no és com un material el més uniforme possible amb un màxim fixat de residu de coke (2%) que correspon al residu que normalment es troba en la creosota pura.

En aquest grup es troba una varietat de substàncies que s'ha anat desenvolupant recentment, tenint en compte que la seva característica principal de ser solubles en solvents oliosos derivats del petroli, la eficàcia d'aquest productes químics poden variar en funció a les concentracions i solvents. Entre els principals preservants figuren els nafteonats, el pentaclorofenol, l'òxic tributil estannós i el quinolinat de coure.

Naftenats

Són substàncies que provenen de la combinació d'àcids naftènics obtingut com a subproductes en la refinació de petroli i sals d'elements metàl·lics com el coure i el zinc la fórmula d'aquest àcid naftènic es: $C_{11}H_{20}O_2$



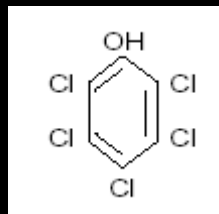
Els naftonats són compostos cerosos o gomosos no cristal·lins i solubles en oli. El naftonat de coure és el més generalitzat en la preservació de fustes, de color verd fosc i olor desagradable,

de gran toxicitat. Per a fongs, per a la seva preparació i aplicació s'utilitzen solucions al 5%, a on el coure metàl·lic es troba al 0.5%. La fusta tractada amb aquesta substància no és fàcil de pintar ja que el color verd fosc exuda a través de la pintura.

També s'ha experimentat amb el naftenat de zinc que és quasi incolor i menys tòxic, així com amb naftenat de mercuri i ferro que no són eficaços per el tractament de la fusta.

Pentaclorofenol

El pentaclorofenol és un compost químic cristal·lí format per reacció de clor sobre el fenol, la seva fórmula C_6Cl_5OH , la seva estructura és:

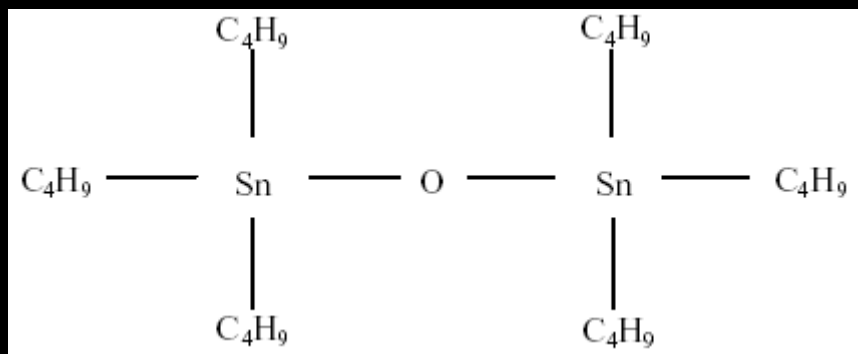


Es va fabricar en escala industrial als E.E.U.U. a partir del 1936 amb el nom abreujat de penta, és el més tòxic i emprat dins dels preservants orgànics olisolubles. Resulta eficaç per a fongs i insectes però ineficaç contra els perforadors marins.

Per al seu ús com a preservador, es dissol en oli i la seva aplicació pot ser immediata i conté el 5%, de producte actiu, el penta com a substància química es un producte escamós granular de color marronós insoluble en aigua. El seu punt de solidificació és de 174°C com a mínim i la màxima quantitat de insolubles en àlcali és de 1%. És lleugerament àcid i reacciona amb els àlcalis forts de sodi i potassi per a formar sals solubles en aigua. S'utilitza per a combatre la taca blava de la fusta. Pot ésser descompost per els agents oxidants forts, com l'àcid nítric, amb el que forma tetraclor – quinona o clorametil.

Òxid Tributíl Estanyic

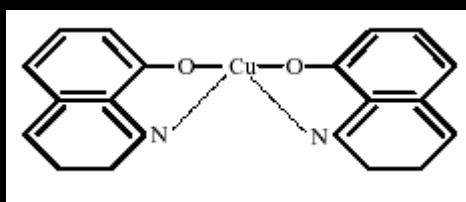
És un producte d'alt poder fungicida i insecticida i es fixa bé a la fusta, és incolor i insoluble en aigua i és soluble en la majoria dels solvents orgànics, la seva fórmula:



Aquest preservant té una afinitat natural per els materials cel·lòsics, per el controla molt bé als fongs que són causants de la pudrició marró en la fusta; presenta la característica de no ser fàcilment lixiviable.

Quinolinolat 8 de Coure

És un producte de color lleugerament groguenc, es dissol en solvents lleugers, a més de la protecció contra fongs té una bona fixació en la fusta, i es recomana la seva utilització en fusta que té contacte amb productes alimentaris, no és irritable a la pell, la seva fórmula química és:



C. Productes inorgànics

A aquest grup corresponen una sèrie de substàncies o barreges químiques que s'empren utilitzant l'aigua com a solvent, tenen gran poder fungicida i insecticida, són bons fixadors, redueixen l'acidesa i l'efecte corrosiu, no són fitotòxics, no tenen olor i no són inflamables, alguns preservants d'aquest grup són altament fixats en la fusta, essent molt resistents a la lixiviació, permeten un bon acabat en la fusta. El desavantatge és que, inflen la fusta recent impregnada i obliga en alguns casos a assecar novament les peces tallades a una temperatura màxima de 60°C, per què es corre el risc de la descomposició del preservant (sulfat de coure) (Balant M. Toussaint A. 1987).

C1. Sulfat de Coure

Aquest preservant ha sigut utilitzat en tractaments de pals d'alambrat i com a *sostén de las espaldares de viñas*. Utilitzat des de l'any 1767 a França i patentat per M. BOUCHERIE, té un gran poder fungicida i cost reduït, els desavantatges són: és corrosiu a l'acer, i resten en servei, disminuint les seves propietats de protecció, la seva dosificació corrent és al 5% de concentració en aigua i els tractaments recomanats són el de ascensió i Boucherie amb les seves modificacions (Tuset, 1979).

C2. Sals Múltiples

Les sals preservants tenen en la seva composició un element fungicida com el coure i un insecticida com l'arsènic o el bor; a més s'inclou un fixador com el crom, les característiques d'aquestes sals són: alta resistència a la lixiviació especialment en fustes de coníferes, bona fixació dels principis actius, s'ha de tenir precaució per a la seva manipulació.

Per a aconseguir una protecció efectiva en la fusta és necessari conèixer l'ús que se li donarà i la única base objectiva per a comparar la toxicitat de les sals preservadores, és la quantitat de substàncies tòxiques injectades en la fusta tractada.

Entre les principals sals múltiples utilitzades tenim:

C3. Arsènic – Coure – Amoniacals (A.C.A.)

Està formada per coure en forma d'òxid cúprica CuO i arsènic en forma d'òxid arsènic, han de ser dissolts en amoníac, a les dues o tres setmanes de tractades de la fustes, s'evapora l'amoníac que solubilitza la matèria activa en aigua i els precipitats de coure i arsènic es fixen definitivament en la fusta, aquestes sals són eficaces contra fongs i insectes quan estan en contacte amb el terra i el seu ús s'ha fet oficial per l'AWPA mitjançant norma P5-83.

C4. Sals Cupro

Aquest preservant és una barreja dels òxids de crom i arsènic, la reacció química que permet la fixació en la fusta és complexa, terminis generals els òxids metàl·lics, són reduïts per els sucres de la fusta, per a formar precipitats insolubles i no lixiviables, els precipitats CCA es fixen permanentment a la fusta, no són volàtils ni s'evaporen. Són molt eficaces en la protecció de fusta, en contacte directe amb el terra i sota les condicions més desfavorables com l'aigua de mar.

L'associació de normes AWWA en un del seus capítols P5-83 reconeix tres tipus diferents de sals CCA tipus A, B i C amb les seves característiques:

	TIPO A			TIPO B			TIPO C		
	Min.	Prom.	Máx	Min.	Prom.	Máx	Min.	Prom.	Máx
CrO ₃	59.4	65.5	69.3	33.0	35.3	38.0	44.5	47.5	50.5
CuO	16.0	18.1	29.9	18.0	19.6	22.0	17.0	18.5	21.0
B ₂ O ₃	14.7	16.4	19.7	42.0	45.1	48.0	30.0	34.0	38.0

Quadre percentual de les sals CCA

C5. Sals Cupro – Crom – Boricas (CCB)

Els components actius de les sals CCB, combinen l'acció fungicida del coure amb l'insecticida del bor i amb el poder fixació del crom per a evitar la lixiviació.

És un preservant insecticida i fungicida per a l'aplicació d'arbres recent talats, adquireixen una coloració verdosa, pot ésser pintada, de fàcil manipulació, no desprenen olors ni vapors irritants, utilitzats per a la construcció rural, postaje, s'utilitzen concentracions no menors al 5% i la fusta que està en contacte directe amb el terra requereix com a mínim de retenció de 12 kg/cm³, la fixació d'aquestes sals en la fusta és molt lenta, i quan és tractada amb aquesta sal es recomana deixar assecar almenys de 6 a 8 setmanes abans de utilitzar. Aquestes sals han sigut patentades per el Dr. Karl H. Wolmann en Alemanya (1913) i segons Richardson (1978) els seus components actius d'aquestes sals són els següents:

Coure en forma d'òxid cúpric	10,8%
Crom en forma d'òxid cròmic	26,4%
Bor en forma d'àcid boric	25,5%

C6. Compostos de Bor

Els compostos de bor no tenyeixen la fusta, són tòxics per als insectes i els fongs, aquests productes varen ser utilitzats com a productes endarreridors de l'acció del foc, però després es va poder evidenciar que tenien acció efectiva contra els degradadors de fusta (insectes).

A partir de llavors es varen intensificar les investigacions s'intensifiquen per a reconèixer aquests productes com a preservants, amb molta cura tractada amb components de bor s'utilitzen en llocs secs i en interiors per a evitar que el producte químic no es lixivi per la humitat.

També aquests compostos de bor són una mica corrosius, per això han de barrejar-se amb equivalents d'òxid bòric o bòrax per a contrarestar el seu efecte negatiu.

C7. Altres compostos Hidrosolubles

Existeixen al mercat internacional una quantitat de compostos hidrosolubles per a protegir la fusta, encara que en moltes situacions el seu ús està restringit i se'ls compara amb les sals CCA.

Es té com a exemple sals que combinen l'acció del coure i crom amb la de fluor o el fòsfor i sals crom – zinc – clor i fluor – crom – arsènic – fenol.

03.04. PROTECCIÓ SUPERFICIAL DE LA FUSTA A L'EXTERIOR

La protecció superficial de la fusta és molt antiga, en un principi tan sols es destinaven per a embellir la fusta situada a l'exterior dels habitatges, però amb el pas del temps el han ampliat el seu ús a la fusta situada a l'exterior. El seu objectiu principal segueix essent decorar la fusta i protegir-la davant l'acció del sol i de la pluja. El pas de la seva utilització en l'exterior ha anat en paral·lel amb el descobriment de noves resines sintètiques, la millora dels pigments i la incorporació d'altres productes com els captadors de raigs ultraviolats o de filtres solars, estabilitzadores de la llum, etc. Que van millorant les seves prestacions.

La informació s'ha organitzat en els següents blocs informatius:

- productes
- la fusta com a recolzament
- normativa
- subministradors

03.04.01. PRODUCTES

Aquests productes engloben diferents tipus, els que només protegeixen la fusta dels agents atmosfèrics (sol i pluja), i els que a més incorporen components amb propietats insecticides o fungicides similars als emprats per alguns protectors de la fusta.

Composició

Les principals matèries primes emprades en la fabricació dels productes de protecció superficial de la fusta són les resines, els pigments i els solvents.

- **Resina** (l·ligants): la seva funció es protegir la fusta davant l'acció de l'aigua i comunicar flexibilitat al producte.

- **Pigments**: la seva funció, a més de la seva missió decorativa, és la de disminuir l'efecte del sol.

- **Solvents**: la seva missió és transportar i dissoldre la resina i els pigments sense alterar la seva composició química. Normalment s'utilitzen l'aigua (els productes es denominen aquosos) o dissolvents orgànics (que es denominen productes en dissolvent orgànic).

- **Altres components**: la seva funció és millorar el seu comportament a l'exterior, com per exemple les ceres, productes hidròfobs, fungicitat, insecticides, els filtres solars, estabilitzadors de la llum HALS, antioxidants inhibidors fenòlics, etc.

Tipus de productes – norma europea

El criteri adaptat en les noves normes europees és realitzar la classificació en funció el seu aspecte i fer la selecció en funció de la seva utilització final i de les condicions climàtiques d'exposició.

La classificació per el seu "aspecte" està relacionada amb el sistema d'acabat i defineix 3 paràmetres: espessor de la pel·lícula, capacitat per cobrir i brillantor de mirall. Per a cadascun d'aquest paràmetres s'han definit a la vegada diferents classes: 4 per l'espessor, 3 per a la capacitat de cobriment i 5 per a la brillantor de mirall. Les combinacions de totes elles dona lloc a una matriu de 60 termes descriptius, que cobreix tots els tipus de productes.

La selecció del producte es realitza en funció de les condicions d'exposició i de la classificació segons el seu ús. Per a les condicions d'exposició es defineix una taula de doble entrada en funció del clima (moderat, dur i extrem) i la situació més o menys protegida de l'element en la construcció. En les condicions d'exposició s'han de considerar els següents factors: orientació, inclinació, clima local, els detalls constructius i exemples de la zona. La categoria segons el seu emprament es determina en funció dels moviments dimensionals que es permeten a la fusta com a resposta a l'absorció o pèrdua d'aigua. Els moviments dimensionals permeten donen lloc a les següents categories: no estable, semi-estable i estable.

La combinació de l'aspecte, condicions d'exposició i categoria d'emprament permet a l'usuari descriure les seves necessitats, i al fabricant confirmar que el producte té l'aspecte sol·licitat i que és adequat per a la utilització requerida.

03.04.02. Elecció del producte final a emprar

La decisió final del producte a utilitzar depèn, bàsicament, del comportament del producte durant el temps que protegeix superficialment la fusta i de la facilitat per a realitzar el seu manteniment o renovació. Com acabem de veure existeix una gran varietat de productes, però de forma teòrica i general es poden establir 3 grups, que han de matisar-se i completar-se amb els criteris exposats anteriorment.

- Vernissos: formen una pel·lícula rígida transparent que no pot seguir els moviments de la fusta, es trenca i comença a esberlar-se. Tenen una duració teòrica estimada (depenent del tipus de vernís) de 1 a 3 anys. El seu manteniment exigeix eliminar la capa anterior de vernís.
- Pintures: formen una pel·lícula opaca que podrà seguir els moviments de la fusta en funció de la flexibilitat de la resina que incorpora. Tenen una duració teòrica estimada (depenent del tipus de pintura) de 3 a 9 anys. Els seus pigments protegeixen la resina i eviten que es produeixi la seva ràpida degradació. El seu manteniment exigeix eliminar la capa anterior de pintura.
- Vernissos decoratius de porus obert: no formen pel·lícula o formen una de poc espessor, i no es veu afectat per els moviments de la fusta. Tenen una duració estimada (depenent del tipus de vernís) de 3 a 6 anys. Els seus pigments protegeixen la resina i eviten que es produeixi la seva ràpida degradació. El seu manteniment és relativament senzill i encara que es pot aplicar

directament la nova mà sobre la capa anterior s'aconsella realitzar un polit suau i revisar l'aspecte de l'element per si s'hagués produït una degradació anormal.

03.05. LA FUSTA COM A RECOLZAMENT DE LA PROTECCIÓ SUPERFICIAL O DECORATIVA

La fusta presenta unes propietats particulars que és necessari conèixer i comprendre per a realitzar correctament la seva protecció o acabat superficial; aquestes propietats adquireixen una major importància quan s'utilitza a l'exterior. Les propietats que més influeixen en l'aplicació de productes per a la protecció superficial o d'acabat són:

- **Aspecte:** El color i les vetes de la fusta són valors decoratius intrínsecs que s'han de tenir en compte a l'hora d'aplicar els revestiments.

- **Contingut d'humitat:** La fusta utilitzada en interiors s'ha d'instal·lar amb un contingut d'humitat comprés entre el 7% i el 11%, i la utilitzada a l'exterior amb un contingut d'humitat comprés entre el 12 i el 15%.

- **Coefficient de contracció:** En les fustes utilitzades en l'interior els canvis dimensionals importants. Aquest fet també posa de manifest l'avantatge d'utilitzar espècies de fusta que tinguin uns coeficients de contracció petits o aquelles que hagin millorat artificialment la seva estabilitat mitjançant la introducció (impregnació) de resines.

- **Porositat:** Les fustes que són molt poroses absorbeixen més quantitat de producte que les poc poroses. Així mateix, la fusta d'albeca és més porosa que la de duramen i dins d'aquestes, la fusta de primavera és, a la vegada, més porosa que la d'estiu.

- **Contingut d'exudats:** Els exudats i extractes de la fusta són substàncies metabòliques complexes més o menys viscloses com resines, olis, gomes, ceres, antioxidants i colorants. Afloren a la superfície de forma irregular segons les espècies, les que són molt riques són les que es denominen "fustes greixoses" com el iroko i la teka, mentre que les "fustes seques" són les que contenen menys substàncies. La presència d'aquestes substàncies en la superfície de la fusta dificulta, retarda o impedeix la polimerització o assecat dels recobriments. Per a prevenir l'aparició dels extractes convé preparar adequadament la superfície, netejant-la a fons amb dissolvents adequats.

- **Preparació i estat de la superfície de fusta:** Els millors resultats per a l'aplicació de productes superficials s'aconsegueixen amb fusta nova o recent mecanitzada (neta) i seca. Es recomana l'aplicació de productes quan les condicions ambientals siguin moderades i seques, seguint l'evolució del sol. Per a aplicar la nova capa de protecció superficial és necessari realitzar una correcta preparació de la superfície; qualsevol producte, incloent-hi els millors, es comportarà malament si no s'aplica sobre la fusta sana.

03.06. BIOPRESERVACIÓ DE LA FUSTA

03.06.01 INTRODUCCIÓ

La manera clàssica de preservar la fusta està basada en el principi de toxicitat. La impregnació de fusta amb biocides que contenen creosotes arsènics, zinc, coure i crom prevé de l'atac biològic. La directiva Europea en l'ús dels biocides estableix restriccions en el nombre de substàncies actives que puguin ser utilitzades en la preservació de la fusta. També en el seus camps d'aplicacions. (*Comissió Directiva Europea 2003/02/EC*).

La fusta tractada amb preservants convencionals està classificada com a residu tòxic (*Ministeri de Medi Ambient 1129/2001*). Apart del risc que comporta emprar aquests materials com a tractaments, hi ha una preocupació creixent sobre els problemes de disposar de les fustes després de la seva vida comercial. Sembla que els sistemes relacionats amb la durabilitat de la fusta haurien de ser sostenibles tant en la seva producció com en el seu ús, a més, sembla que la fusta tractada amb productes al final de la seva vida útil, hauria de ser adequada per a la producció d'energia mitjançant la combustió, el seu compostatge o el seu ús com a recurs de fibra secundària per indústries relacionades, sense haver de presentar problemes de residus químics esdevinguts del tractament.

A més de la toxicitat, prevenir la fusta de la degradació pot estar basat en la idea de interferir en els requeriments fisiològics bàsics per el creixement i desenvolupament de microorganismes. Inclouria: temperatures favorables, un subministrament adequat d'oxigen, un control dels nivells d'humitat, materials alimentaris adequats i certs factors de creixement. Si es poden crear condicions desfavorables pel creixement microbial a la fusta, el risc d'atac per organismes degradadors serà significativament reduït. En un sentit pràctic, controlar la temperatura o treure el subministrament d'oxigen no són, generalment, de bona pràctica en la protecció del deteriorament de la fusta.

Sembla que el més pràctic i efectiu és protegir la fusta controlant els nivells d'humitat.

03.06.02. CONCEPTES

03.06.02.01. Reducció de les interaccions de l'aigua a la fusta

Tractaments

Per tal d'estabilitzar la fusta el més possible ha d'estar protegida de les variacions d'humitat. Es poden utilitzar diversos mètodes estructurals i químics per acomplir això, com a mínim, en teoria. Els mètodes més exitosos impliquen l'aplicació de repel·lents de l'aigua i estabilitzadors dimensionals.

La efectivitat del tractament per repel·lir l'aigua pot ser determinada com la habilitat per prevenir o controlar els nivells d'absorció d'aigua tant en les cèl·lules com els capil·lars. Per contra, la efectivitat d'un tractament d'estabilització dimensional es pot definir per la seva habilitat de reduir la dilatació o contracció de la fusta a causa de l'absorció d'aigua. Com que només l'aigua que ha penetrat a la paret cel·lular pot causar dilatació (*veure punt 02.03*), l'aigua lliure als capil·lars seria permisible.

La estabilitat dimensional depèn més de la quantitat que del tant per cent d'aigua absorbida ja que defineix l'equilibri. Alguns tractaments poden reduir tant la dilatació com el percentatge d'aigua absorbida per la fusta. Si es comparés una fusta tractada i una no tractada la velocitat amb què absorbís l'aigua seria l'indicador de la capacitat com a repel·lent per l'aigua. La diferència dimensional una vegada assolit el punt de saturació de les fibres (estabilitat dimensional), seria indicatiu de la seva capacitat per obtenir estabilitat dimensional.

Protecció superficial

L'ús de protectors superficials està basat en la formació d'una pel·lícula superficial de materials polimèrics com vernissos, lasures o pintura. Mentre que la pel·lícula és perfecte i no té fissures, obertures o d'altres imperfeccions, l'aigua no penetra a la fusta o, depenent de la permeabilitat de la pel·lícula a l'aigua líquida o al vapor d'aigua, la penetració és molt lenta.

De totes maneres, a nivell pràctic, no sembla que hi hagi una pel·lícula tant perfecta. Les fissures microscòpiques es desenvolupen més o menys ràpid segons la severitat de la exposició al clima. Una vegada s'ha desenvolupat una fissura sembla que no es pot aturar la penetració de l'aigua.

En molts casos, s'aixeca la pel·lícula del voltant, es fan més amples les fissures i s'accelera la destrucció de la protecció. La raó principal per aquest procés destructiu és el fenomen de la preferència d'humitat: la afinitat entre l'aigua i la fusta és major que l'afinitat entre la fusta i la pel·lícula protectora. Com a resultat els ponts d'hidrogen entre aigua i fusta, que són forts, desplacen la unió feble dels dipòsits de pel·lícula de la superfície de la fusta. Aquest tipus de procés depèn, fins a cert punt, de la força mecànica de la pel·lícula, però és molt difícil de prevenir si la fusta està exposada a l'aigua per un temps llarg.

Repel·lents d'aigua

El percentatge d'absorció d'aigua pot ser considerablement reduït creant una barrera a l'aigua o tornant la superfície hidrofòbica. Depenent de la quantitat usada els repel·lents a l'aigua aplicats a la fusta plenen el lumen de la cèl·lula o són dipositats a l'exterior penetrant fins els pors, atorgant les propietats hidrofòbiques a la superfície. D'aquesta manera, l'aigua no pot penetrar espontàniament als pors de la fusta a través de l'acció capil·lar; el percentatge d'absorció d'aigua queda així limitat.

Tot i que els repel·lents a l'aigua no poden aturar tota l'absorció inhibeixen l'absorció d'aigua líquida de la pluja permetent-la assecar-se després. La reducció dels continguts percentuals d'humitat i la reducció també i els períodes de temps en què la fusta està prou humida per permetre l'atac de microorganismes fa que baixi el percentatge d'atacs per fongs. És necessària certa quantitat d'aigua lliure pel creixement dels fongs.

Un model idealitzat de fusta tractada amb un repel·lent d'aigua seria una capa hidrofòbica envoltant un grup de cèl·lules quedant el centre sense tractar. Com què la superfície de les cèl·lules de la zona tractada serien hidrofòbiques l'aigua líquida no podria penetrar si no fos per una pressió externa més gran que la pressió capil·lar aplicada. En teoria, una capa monomol·lecular coherent hauria de ser suficient per a induir aquest efecte. Provat que la capa hidrofòbia romangués intacta la penetració del dipòsit hidrofòbic a la fusta seria innecessari. A la pràctica s'ha vist que una profunda o completa impregnació porta a efectes més durables. Això probablement és degut al fet que els dipòsits que estan en contacte directe amb l'aigua es van, gradualment, degradant. Si hi ha una impregnació profunda, dipòsits frescos, sense degradar, estan contínuament exposats oferint protecció.

Els repel·lents d'aigua normalment no estan units químicament. Són una complexa barreja de diversos materials com ceres, olis, resines naturals o sintètiques, fungicides o insecticides i dissolvents. S'apliquen a la fusta normalment per immersió o autoclau en solucions de dissolvents

orgànics. Aquestes substàncies repel·lents a l'aigua s'uneixen de forma feble amb la paret de la cèl·lula. La majoria dels repel·lents a l'aigua desenvolupats, com els preservants de la fusta de sempre tenen la contrapartida d'anar en detriment del medi ambient.

Algunes investigacions han mostrat que el tractament de la fusta amb aquest tipus de repel·lents aporten un control significatiu de l'absorció de l'aigua durant un període de temps raonable. La eventual pèrdua d'efectivitat podria estar associada a la fallada de la unió entre la cèl·lula i el dipòsit. El fenomen de la preferència d'humitat explicat al punt anterior també es pot manifestar en la fusta tractada amb repel·lents de l'aigua. Quan el material està exposat a l'aigua durant un temps llarg les substàncies hidrofòbiques són desplaçades, per l'aigua, disminuint l'eficàcia del tractament. Les unions febles són substituïdes per les unions fortes d'hidrogen entre l'aigua i la fusta.

03.06.02.02. Estabilitzadors dimensionals

Tot i que les cobertures externes i internes poden ser efectives com a repel·lent contra l'aigua tan sols donen una petita estabilitat dimensional. Hi ha diverses maneres de controlar els canvis dimensionals a la fusta, des de elecció d'espècies, selecció geomètrica, reducció d'higroscopicitat, fins a diversos mètodes químics.

En els processos de modificació química la fusta es tracta amb productes químics que produeixen canvis a l'interior de l'estructura cel·lular. Aquests canvis poden ser deguts a noves unions químiques entre l'estructura cel·lular (mètode directe), o el bloqueig de processos físics i químics per un material no unit (mètode indirecte).

Els grups hidroxil prenen el rol predominant en moltes reaccions de modificació química. Els components químics afegits a la fusta donen com a resultat un fort lligam covalent, força estable. Això produeix una forma dins l'estructura interna de la fusta, alterant les propietats del material original. Les modificacions poden portar a la reducció de grups OH⁻ accessibles limitant la interacció amb l'aigua i, per tant, l'estabilitat dimensional.

Han estat utilitzats diversos compostos químics per a modificar la fusta. Els principals tipus de reacció són:

- Lligams creuats químics. Les estructures unitàries de les parets de les cèl·lules de la fusta queden químicament unides.
- Addició polimeritzant. Els components químics reaccionen amb grups hidroxil i polimeritzen.

- Addició d'actuació determinada. Els components químics reaccionen amb un únic grup hidroxil.
- Acetil·lació. És un dels mètodes de modificació química de la fusta més examinat. Funciona substituint els grups hidroxils de la fusta per grups acetils. Com a resultat, la fusta és menys higroscòpica i els sistemes enzimàtics dels fongs no identifiquen la fusta com a recurs alimentari.

En comptes, de utilitzar productes químics per provocar canvis a l'estructura de la fusta també es pot utilitzar calor per efectuar-los. Els tractaments de calor redueixen la hidroscopicitat de la fusta. Aquests canvis depenen de la temperatura i la durada del tractament. El mecanisme per reduir la hidroscopicitat consisteix en la degradació tèrmica dels components d'hemicel·lulosa de la paret cel·lular de la fusta.

03.06.03.03. Substàncies biodegradables respectuosos amb el medi ambient

Els sistemes de defenses en els organismes vius estan basats, en molts casos, en la autoprotecció mitjançant biocides naturals. La majoria dels arbres produeixen compostos naturals, normalment resines o olis, que impregnen la seva fusta i els donen resistència davant d'organismes xilòfags, com insectes. Al 1979 ja es van investigar les aplicacions d'extractes de fusta amb efectes biocides en altres espècies de fustes. Els resultats no van ser satisfactoris. Donada la pèrdua d'activitat per la interacció amb altres extractius. De totes maneres, a mijants dels 80 s'obtingueren resultats prometedors utilitzant extractes de la resina de *Parthenium argentatum* (Guayule).

Les substàncies biodegradables estan sovint associades amb els productes ecològics que poden ser descomposades per un procés natural en components més bàsics i innocus. Aquests productes normalment els descomposen bacteries com a fongs o altres organismes simples. Si les substàncies són molt tòxiques per a aquests organismes la biodegradació no és possible. A partir d'aquesta definició la majoria dels components químics són, en últim terme, biodegradables. De totes maneres, però, les tasses de descomposició varien considerablement. Tot i això, la tasa de biodegradació no és tant important com en què es descomposa el producte.

Els productes finals ideals serien el diòxid de carboni (CO₂) i aigua (H₂O), però havent-hi molts més complexos químics implicats això es fa difícil. Per exemple, el pesticida DDT és biodegradable, però molt lentament. Un problema molt més seriós que és que els productes DDD i DDE ens els que es descomposa són encara més tòxics que el DDT original. Així doncs tot i que un producte pugui ser biodegradable podria no ser respectuós amb el medi ambient.

En aquest context una substància assenyadament biodegradable vol dir que es degrada completament sense produir productes tòxics.

Com ja s'ha comentat molts dels repel·lents d'aigua tenen la contrapartida de perjudicar el medi ambient. Els creixents avisos sobre el medi ambient en aquests últims anys i consegüentment les polítiques afavorint l'ús de recursos renovables i productes químics respectuosos amb el medi ambient, han portat a incrementar l'interès en els tractaments de protecció de la fusta "no biocides" i respectuosos amb el medi ambient. El terme "no biocida" inclou olis naturals, ceres, silicones, resines, polímers, modificacions químiques i tractaments de calor.

Els repel·lents de l'aigua respectuosos amb el medi ambient com els extractes dels arbres i les resines naturals han estat provades favorablement en laboratori. Els olis naturals semblen ser capaços de prevenir l'absorció d'aigua per la fusta i la seva estructura física i química és molt prometedora. A més els olis insaturats (tal i com els olis assecants), es poden oxidar quan queden exposats a l'oxigen atmosfèric, donant com a resultat una capa més protectora a la superfície de la fusta.

Un d'aquests olis naturals és el Tall Oil . És un producte de la indústria de la polpa i el paper. El Tall Oil cru, de color fosc (CTO) no està compost de triglicèrids purs com d'altres olis vegetals, sinó que és més aviat una barreja d'àcids grassos àcids Rosin i desaponificables com esterols, ceres i hidrocarbons. L'ús possible del Tall Oil com un protector de la fusta ja ha estat estudiat.

Els tractaments amb Tall Oil assenyadament biodegradable i respectuós amb el medi ambient redueixen l'absorció per capilaritat de l'aigua de l'albeca dels pins. Al 1993 ja es van fer proves dels efectes dels derivats del Tall Oil contra la degradació biològica en comparació amb altres preservants en ús en aquell moment.

En diverses proves realitzades proves dos derivats del Tall Oil eren, com a mínim, tant efectius davant la pudrició com els CCA i la Creosota. De totes maneres, les retencions aplicades a la fusta eren extremadament altes. Aquest increment de la fusta tractada pot esdevenir no pràctic ni econòmic pels costos de Transport.

Aquests nivells d'alta retenció a la fusta poden ser solucionats canviant els paràmetres de les tècniques de processament (durada, pressió, temperatura) o les propietats dels líquids (viscositat, concentració).

La dissolució de Tall Oil en aigua com a mètode de control de la retenció ha servit per demostrar que s'aconseguia una alta repelència a l'aigua amb uns nivells considerablement més baixos de retenció (la meitat).

Com ja hem dit, els olis naturals es poden oxidar quan queden exposats a l'oxigen atmosfèrics resultant-te una altra capa protectora a la superfície. A causa de la manca d'oxigen a l'interior de la fusta no hi succeeix la polimerització. L'oli no polimeritzat exhuda de la fusta a través del temps formant una superfície fosca.

L'exhudació d'oli pot ser previnguda modificant aquest oli. On la oxidació de l'oli i la polimerització de l'oli són millorades especialment sota les condicions predominants a l'interior de la fusta. La addició de catalitzadors metàl·lics ha provat que és un mètode molt prometedor per prevenir la exhudació. La efectivitat del tractament de repel·lents a l'aigua sembla que depèn de la quantitat de dipòsit i la seva localització precisa a l'interior de la fusta tractada. D'aquesta manera, la efectivitat d'un tractament amb quantitats menors d'oli podria estar basat més en la localització de l'oli a l'interior de la fusta i no en les quantitats d'oli i dipòsits.

Les principals rutes per la penetració dels líquids a l'interior de la fusta són els capil·lars: El lumen de les cèl·lules i les obertures en les parets cel·lulars que els uneixen. Al duramen, l'absorció d'humitat és molt baixa, ja que les obertures estan permanentment tancades, els extractes estan dipositats a les membranes de les obertures i el tamany del porus és més petit. Les obertures de l'albeca també es tanquen durant el procés d'assecat, però no permanentment. Si els dipòsits de Tall Oil estiguessin posicionats a les membranes podrien mantenir-les tancades mitjançant un efecte adherent. L'absorció d'aigua es reduiria considerablement.

Un factor notable és que els Tall Oil estan fets dels mateixos components que els extractes del duramen, que són el principal recurs de resistència a la pudrició del duramen. Degut a aquesta gran durabilitat natural i als baixos percentatges d'absorció d'humitat, que fan el duramen difícilment impregnable, la protecció de la fusta vol augmentar la durabilitat de l'albeca. Utilitzant aquest mètode augmenta la durabilitat de l'albeca, i també fa que la fusta sigui més homogènea, així com també la fusta es pot cremar després de la seva vida útil. En resum l'objectiu d'aquest mètode es convertir artificialment l'albeca en duramen.

La preservació de la fusta és una manera d'augmentar la durabilitat biològica de la fusta afegint productes químics amb un efecte biocid. Els efectes d'aquests tractaments depenen clarament de les concentracions. A uns nivells específics, es maten els fongs o bé s'inhibeix la seva

habilitat per a obtenir nutrients mitjançant el seu funcionament enzimàtic. Els tractaments no biòcids actuen diferent.

Es tracta de mecanismes d'exclusió de la humitat o retard hidrofòbic o parada de la colonització dels fongs. Ja que aquests tractaments tan sols són efectius sota un cert nivell o quan un cert nivell de modificació de substrat es assolit (tractament de calor), és possible establir una curva de resposta a la dosi. És clarament més important, llavors, estimar la vida útil de la fusta en diferents classes de risc que buscar una eficàcia total. Molts dels tractaments no biòcids estan associats a la classe de risc biològic 3, on la situació general de servei és el terreny, i exposat a condicions exteriors, i el nivell general d'humitat està freqüentment per sobre el 20% (EN 335-1/2/3).

Les substàncies olioses naturals, respectuoses amb el medi ambient i assenyadament biodegradables, són molt apropiades per a la protecció de la fusta quan l'objectiu és prevenir la humitat absorbida per la fusta. Amb aquestes substàncies el contingut d'humitat a la fusta pot mantenir-se per sota el 20%, i els requisits per a la degradació de la fusta pels fongs ja no es donen. De totes maneres, aquests olis respectuosos amb el medi ambient no poden competir amb biòcids quan parlem de durabilitat biològica de la fusta que està en contacte amb el terreny o l'aigua (classe de risc 4), on els nivells d'humitat estan permanentment per sobre el 20%.

Els preservants més comunament usats avui dia poden atorgar una vida de servei de fins a 50 anys. De totes maneres, la importància d'una llarga durada en servei està essent qüestionada. Ha de tenir el mobiliari de jardí una durada tan llarga quan segurament esdevindrà gris en qualsevol cas? Pot ser suficient una durada en servei de 10 anys?

També s'hauria de considerar el fet de que la fusta tractada amb preservants habituals, actualment està considerada com residu perillós. La fusta podria ser tractada amb productes respectuosos amb el medi ambient i assenyadament biodegradables per adequar els requeriments a les situacions. Assegurant una vida útil i segura dins els cicles de degradació, incloent-hi la producció.

Avui en dia hi ha projectes de recerca del CRAFT Europeu duts a terme per CIRAD (França) i CIDEMCO (Espanya) on els defectes biocides de diferents extractes de diferents espècies de fusta (com *Cupressus sempervirens*, *Cedrus atlantica*) estan essent estudiats. Altres recerques han mostrat que a les fruites cítriques es poden trobar compostos amb altre bioactivitat. Aquests compostos flavones, compostos fanòlics i olis essencials. Els laboratoris de recerca BCN, a Tennessee, han dut a terme estudis antimicrobiològics amb extractes de cítrics i han confirmat la

seva activitat contra bacteries (1999-2001). OMRI, Oregon, ha aprovat la comercialització de CITROBIO, un extracte de cítrics, per la desinfecció en la indústria agroalimentària.

Els treballs actuals tenen com a objectiu extraure biocides naturals com a alternativa als existents utilitzant els productes de rebuig dels cítrics com a insecticida i/o fungicida en els nous preservants de la fusta.

El Chytosan és quitina parcialment desacetilitzada i es produeix principalment per la hidròlisi de la quitina. La quitina és el polímer natural més abundant després de la cel·lulosa i la lignina. Es pot obtenir a partir de les closques de crustacis i com a subproducte de la indústria pesquera, tot i que forma part de la base estructural dels fongs exoesquelet d'insectes i crustacis.

Al contrari que la xitina, el Chytosan és parcialment soluble en aigua sota condicions d'acidesa. La activitat antifúngica de Chytosan tot i estar ben documentada no està extensament estudiada pel tractament de fustes contra fongs xilòfags. De totes maneres, en diferents projectes de Noruega s'està desenvolupant com alternativa als productes tradicionals.

També s'han realitzat diversos estudis per l'autorització de tanins en aquest sentit.

03.06.04. FUSTA MODIFICADA

03.06.04.01 CONCEPTES

Moltes propietats estàn relacionades amb la presència d'un gran nombre de grups hidròxil (OH) accessibles, especialment hemicel·luloses.

CONTRACCIO-DILATACIÓ DE LA FUSTA

Quan la fusta seca s'exposa a la humitat absorbeix aigua. Les molècules d'aigua es difonen a l'interior de la paret cel·lular i l'hidrogen s'enllaça amb els grups hidròxil polimèrics.

Les molècules d'aigua prenen espai a la paret cel·lular. La paret cel·lular s'eixampla, per tant la fusta s'eixampla.

PODRIMENT MICROBIOLÒGIC

Necessita la presència d'oxigen i aigua a la paret cel·lular. Diversos agents degradadors inclouen enzims que són capaços de degradar els polímers de la paret cel·lular.

Els enzims han de ser capaços de "reconèixer" els polímers, els grups hidròxil (OH).

QUÈ ÉS LA MODIFICACIÓ DE LA FUSTA?

És l'alteració de la fusta a un nivell molecular per atorgar canvis desitjats en les propietats.

La modificació activa es basa en un canvi químic induït per la reacció d'elements químics, físics o biològics.

La modificació passiva no altera els constituents químics de la fusta, però canvia permanentment la fusta per un tractament.

És un requeriment essencial que la fusta en servei no sigui tòxica.

La fusta modificada no hauria de deixar materials tòxics quan quedi fora de servei, per exemple, si és incinerada.

De cara a una resistència biològica el modus d'actuació de la fusta modificada ha de ser no tòxic, no biocida.

03.06.04.02 MODIFICACIÓ ACTIVA

Tots impliquen un canvi químic de un o més dels components macromoleculars de la paret cel·lular.

Modificació química profunda.

Modificació química superficial.

Modificació tèrmica.

Modificació biològica.

a) MODIFICACIÓ QUÍMICA PROFUNDA

Reacció amb els polímers de la paret cel·lular. Implica penetració en la paret cel·lular. Invariablement implica reaccions amb els grups hidròxil de la paret cel·lular.

S'han estudiat moltes reaccions però només la acetilització amb anhídrid acètic està essent explotada comercialment.

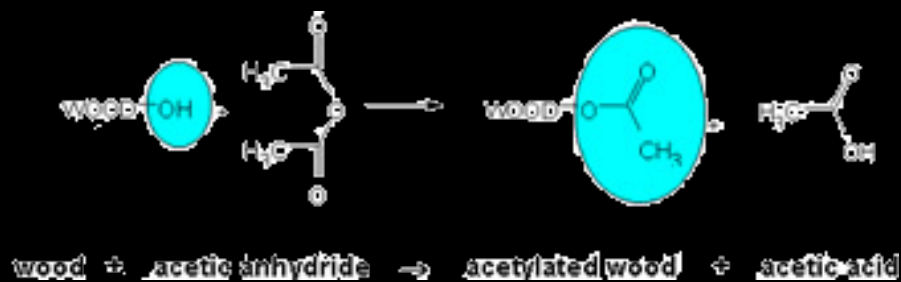
ACETILITZACIÓ

Utilitza anhídric acètic sense catalització.

Es produeix àcid acètic com a subproducte.

L'excés d'àcid acètic ha de ser extret de l'anhídric.

Els subproductes àcids han de ser eliminats de la fusta.



Titanwood, amb seu social a Arnhem als Països Baixos produeix "Accoya".

Com a màxim la fusta pot arribar a incrementar el seu pes en un 23%.

La fusta augmenta de volum per l'addició de productes a la paret cel·lular.

Propietats

Incrementa la estabilitat dimensional.

Millora la resistència a la pudrició.

Redueix la higroscopicitat.

La fusta no es descoloreix.

b) MODIFICACIÓ TÈRMICA

Els primers estudis daten del 1917.

No ha tingut interès comercial fins a unes dates relativament recents.

Va ser comercialitzat primerament a Finlàndia, "Thermowood".

També s'han desenvolupat processos a França "Retified Wood" i a Quebec "La Bois Perdure".

Fusta tèrmicament modificada

Implica escalfar la fusta a temperatures d'entre 180 fins a 240°C en absència d'aire.

La modificació tèrmica resulta de la degradació, primerament de les hemicel·luloses.

La fusta modificada tèrmicament és de color marró fosc.

La fusta es torna fràgil.

La fusta té una baixa resistència a l'abradió.

La fusta es pot dividir fàcilment.

Les principals aplicacions són per recobriments.

La fusta és lleugerament àcida, a causa de la producció d'àcid acètic per degradació de les hemicel·luloses. Requereix, per tant, fixacions d'acer inoxidable.

La fusta millora l'estabilitat dimensional.

Millora lleugerament la resistència a la pudrició.

La fusta té tendència a desenvolupar esclatxes com a conseqüència de la modificació tèrmica.

Es poden desprendre nusos.

En les espècies resinoses, com el pi, apareixen taques fosques.

No es poden tractar seccions grans de fusta.

La fusta Plato

És fusta modificada tèrmicament tractada en diverses fases.

El primer pas implica un tractament higrotèrmic, escalfada amb vapor d'aigua pressuritzat a 150-180°C.

El segon pas és assecar la fusta.

En tercer lloc la fusta es tracta tèrmicament.

En últim lloc la fusta es reacondiciona.

Està demostrat que el procés amb múltiples etapes dona com a resultat un producte amb propietats mecàniques superiors comparat amb el procés de modificació tèrmica convencional.

Aquest procés requereix de més inversió econòmica comparat amb l'altre procés de modificació termal.

Modificació Oleotèrmica

La fusta s'escalfa en oli vegetal a temperatures superiors a 160°C.

L'oli serveix per transmetre la calor a la fusta excloent l'oxigen.

La fusta queda modificada tèrmicament i, alhora, absorbeix grans quantitats d'oli.

El procés comercial el duu a terme "Menzholz".

03.06.04.03 MODIFICACIÓ PER IMPREGNACIÓ

Les parets de la cèl·lula de la fusta són penetrades per precursors de baix pes molecular.

Aquests es polimeritzen utilitzant calor.

El polímer queda retingut a la matriu de la paret cel·lular i no pot ser eliminat amb aigua.

El polímer ocupa espai a la paret cel·lular, que, com a conseqüència, augmenta de volum.

El mètode ha de ser aplicat en base d'aigua per raons mediambientals i per assegurar que la paret cel·lular està "oberta" per permetre la penetració de les molècules precursors.

Les molècules han de ser suficientment petites per penetrar la paret cel·lular, no més grans de 2nm de diàmetre.

La polimerització pot implicar una reacció amb la paret cel·lular, però no és essencial.

Propietats

L'impregnant ocupa espai a la paret cel·lular.

La fusta s'eixampla donant estabilitat dimensional.

Es redueix l'espai per les molècules d'aigua, redueix els continguts d'humitat a la paret cel·lular.

Els microporus de la paret cel·lular queden bloquejats, millora la resistència al podritment.

Productes comercials tradicionals

Impreg: Impregnació amb resines fanòliques, desenvolupat durant la segona guerra mundial.

Compreg: Impregnació amb PF combinat amb una compressió durant el curat.

FURFURILITZACIÓ.

Desenvolupat primerament a la dècada dels 40.

Els problemes amb el procés es van solventar a la dècada dels 90.

Actualment utilitzat per Wood Polymer Technologies ASA (Noruega).

Posat al mercat per Kebony Products DA.

L'alcohol de furfuryl s'obté de les pel·lofes de blat moro o residus de la canya de sucre.

La impregnació es duu a terme amb mètodes convencionals.

El curat es duu a terme en un forn convencional.

Cost relativament baix.

Productes

Visorwood, Kebony 30, Kebony 100.

El Kebony 100 té la més gran quantitat de alcohol de furfuryl i és de color gairebé negre.

El Visorwood i el Kebony 30 tenen nivells més baixos de furfuryl i són de color marró daurat.

El Kebony 100 aporta una gran estabilitat dimensional, una gran resistència al podriment i a atacs biològics en un ambient marí.

El Kebony 30 aporta una més baixa estabilitat dimensional tot i que la resistència al podriment es pot comparar al Kebony 100.

INDURITE

Desenvolupat per Engineered Wood Solutions (Nova Zelanda).

La llicència pertany a Osmose (UK).

La fusta s'impregna amb "polisacàrids solubles en aigua".

El curat es duu a terme en un forn convencional.

Baix cost.

Propietats

La fusta no es descoloreix.

No és adequada per aplicacions exteriors si està exposada a l'aigua durant períodes significatius.

No millora la resistència al podriment.

BELMADUR

Fabricat per BASF (2006).

Impregnació de la fusta en una solució aquosa de Methylolated Dimethoyl Dihydroxy Ethylene Urea).

La fusta impregnada es cura en un forn convencional.

Propietats

La fusta no descoloreix, queda estabilitzada dimensionalment, adquireix una superfície dura, té una resistència al podriment moderada i és adequada per aplicacions d'exteriors.

REGISTRO DE PROTECTORES DE MADERA.

ENSAYOS QUE HAN DE CUMPLIR

Para todos los productos: se debe comprobar, mediante análisis químico, que la composición de la muestra entregada para ensayo se corresponde con la formulación notificada en el Registro y que figura en la Hoja de Datos de Seguridad del producto y en su etiquetado. Dicho análisis químico podrá ser convalidado/aceptado como certificado de análisis cuantitativo de los ingredientes técnicos activos realizado en un laboratorio independiente (exigido por el Ministerio de Sanidad para el registro de productos biocidas).

1.- Productos para el tratamiento de madera verde recién aserrada: Deberán superar uno de los dos ensayos siguientes:

- Ensayo siguiendo la metodología descrita en el prCEN/TS 15082

“Determinación de la eficacia preventiva contra el azulado y los mohos de la madera verde recién aserrada – Ensayo de campo”

- Ensayo siguiendo la norma francesa AF – X 41.547 “Determinación de la eficacia funguicida de los protectores temporales de la madera verde recién aserrada”

2.- Productos protectores preventivos: Deberán superar los siguientes ensayos:

a).- Productos destinados al tratamiento de madera situada en clase de riesgo 1 (madera sin riesgo de humidificación: mobiliario, carpintería interior etc.)

Por aplicación superficial:

• UNE 56.411-**EN118**: Determinación de la eficacia preventiva contra termitas del género *Reticulitermes*, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73

• UNE 56.402-**EN46**: Determinación de la eficacia preventiva contra larvas recién nacidas de *Hylotrupes bajulus*, junto con pruebas de envejecimiento por evaporación según EN 73

b).- Productos destinados al tratamiento de la madera situada en clase de riesgo 2 (madera con riesgo de humidificación accidental: madera estructural etc.)

Por aplicación superficial:

• UNE 56.411-**EN118**: Determinación de la eficacia preventiva contra termitas del género *Reticulitermes*, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73

• UNE 56.402-**EN46**: Determinación de la eficacia preventiva contra larvas recién nacidas de *Hylotrupes bajulus*, junto con pruebas de envejecimiento por evaporación según EN 73

• UNE 56.412-**EN 113**: Determinación del umbral de eficacia contra hongos

basidiomicetos xilófagos, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73

- UNE 56.419-EN 152-1: Determinación de la eficacia preventiva de un tratamiento de protección de la madera elaborada contra el azulado.

Tratamiento por pincelado. Envejecimiento por evaporación según EN73.

Aplicados por un tratamiento en profundidad:

- UNE 56.412-EN 113: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73

- UNE 56.419-EN 152-2: Determinación de la eficacia preventiva de un tratamiento de protección de la madera elaborada contra el azulado.

Tratamiento por métodos diferentes al pincelado. Envejecimiento por evaporación según EN73.

- UNE 56.403-EN 47: Determinación del umbral de eficacia contra larvas de *Hylotrupes bajulus* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73

- UNE 56.410-EN 117: Determinación del umbral de eficacia contra termitas del género *Reticulitermes* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73

c).- Productos destinados al tratamiento de la madera situada en clase de riesgo 3 (madera sometida a humidificación intermitente: carpintería exterior etc.)

Por aplicación superficial:

- UNE 56.411-EN118: Determinación de la eficacia preventiva contra termitas del género *Reticulitermes*, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.402-EN46: Determinación de la eficacia preventiva contra larvas recién nacidas de *Hylotrupes bajulus*, junto con pruebas de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.412-EN 113: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.419-EN 152-1: Determinación de la eficacia preventiva de un tratamiento de protección de la madera elaborada contra el azulado.

Tratamiento por pincelado. Envejecimiento natural (6 meses)

Aplicados por un tratamiento en profundidad

- UNE 56.412-EN 113: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos, junto con los ensayos de envejecimiento por

evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.419-EN 152-2: Determinación de la eficacia preventiva de un tratamiento de protección de la madera elaborada contra el azulado.

Tratamiento por métodos diferentes al pincelado. Envejecimiento natural (6 meses)

- UNE 56.403-EN 47: Determinación del umbral de eficacia contra larvas de *Hylotrupes bajulus* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.410-EN 117: Determinación del umbral de eficacia contra termitas del género *Reticulitermes* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84.

d).- Productos destinados al tratamiento de la madera situada en clase de riesgo 4 (madera sometida a humidificaciones permanentes o casi permanentes)

Aplicados por un tratamiento en profundidad

- UNE 56.412-EN 113: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.419-EN 152-2: Determinación de la eficacia preventiva de un tratamiento de protección de la madera elaborada contra el azulado.

Tratamiento por métodos diferentes al pincelado. Envejecimiento natural (6 meses).

- UNE 56.403-EN 47: Determinación del umbral de eficacia contra larvas de *Hylotrupes bajulus* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.410-EN 117: Determinación del umbral de eficacia contra termitas del género *Reticulitermes* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84.

- UNE-EN 807: Determinación de la eficacia respecto de microorganismos de pudrición blanda y de otros microorganismos del suelo.

e).- Productos destinados al tratamiento de la madera situada en clase de riesgo 5 (madera en contacto con agua de mar: pilotes, pantalanes etc.)

Aplicados por un tratamiento en profundidad

- UNE 56.412-EN 113: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84

- UNE 56.419-EN 152-2: Determinación de la eficacia preventiva de un tratamiento de protección de la madera elaborada contra el azulado.

Tratamiento por métodos diferentes al pincelado. Envejecimiento natural (6 meses).

- UNE 56.403-EN 47: Determinación del umbral de eficacia contra larvas de *Hyloterpes bajulus* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84
- UNE 56.410-EN 117: Determinación del umbral de eficacia contra termitas del género *Reticulitermes* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73 y por deslavado según EN 84.

podrición blanda y de otros microorganismos del suelo.

- EN 275: Determinación de la eficacia preventiva contra los organismos xilófagos marinos

3.- Productos protectores curativos: deben superar los siguientes ensayos:

Por aplicación superficial. Sólo válidos para el tratamiento de las carcomas

- UNE-ENV 1390: Determinación de la acción curativa contra larvas de *Hyloterpes bajulus*

Aplicado por inyección en profundidad:

- UNE-ENV 1390 o UNE 56.408-EN 22: Determinación de la acción curativa contra larvas de *Hyloterpes bajulus*
- UNE 56.410-EN 117: Determinación del umbral de eficacia contra termitas del género *Reticulitermes*
- UNE 56.412-EN 113: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos.

4.- Productos protectores curativos contra carcomas y preventivos (clase de riesgo 2): deben superar los siguientes ensayos:

Por aplicación superficial:

- UNE 56.411-EN118: Determinación de la eficacia preventiva contra termitas del género *Reticulitermes*, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73.
- UNE 56.402-EN46: Determinación de la eficacia preventiva contra larvas recién nacidas de *Hyloterpes bajulus*, junto con pruebas de envejecimiento por evaporación según EN 73.
- UNE 56.412-EN 113: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos, junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73.
- UNE-ENV 1390 o UNE 56.408-EN 22: Determinación de la acción curativa contra larvas de *Hyloterpes bajulus*.

Aplicado por inyección en profundidad:

- **UNE-ENV 1390** o **UNE 56.408-EN 22**: Determinación de la acción curativa contra larvas de *Hylotrupes bajulus*.
- **UNE 56.410-EN 117**: Determinación del umbral de eficacia contra termitas del género *Reticulitermes* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73.
- **UNE 56.412-EN 113**: Determinación del umbral de eficacia contra hongos basidiomicetos xilófagos junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73.
- **UNE 56.403-EN 47**: Determinación del umbral de eficacia contra larvas de *Hylotrupes bajulus* junto con los ensayos de envejecimiento por evaporación según EN 73.

BIBLIOGRAFIA

01. Sustainable use of renewable natural resources – From principles to practices

Biodegradable substances in wood protection

Anneli Jalkanen & Pekka Nygren (Eds.) 2005

University of Helsinki Department of Forest Ecology Publication

02. Natural polymers for wood protection

Mortem Eikenes and Gry Alfredsen

Research Project Sponsored by the Norwegian Research Council

03. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible – BOLFOR

Castilla, Santa Cruz

Bolivia

BOLFOR es un proyecto financiado por USAID y el Gobierno de Bolivia e implementado por Chemonics International, con la asistencia técnica de Conservation International, Tropical Research and Development y Wildlife Conservation Society

04. Forintek Canada Corp British Columbia Building Envelope Council

05. Prokaryotic Symbionts of Termite Gut Flagellates: Phylogenetic and Metabolic Implications of a Tripartite Symbiosis

06. El poblament lacustre neolític de la Draga.

Excavacions de 1190 a 1998.

MONOGRAFIES DEL CASC 2.

Museu d'Arqueologia de Catalunya Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya.

Coordinadors: Àngel Bosch I Llobet, Júlia Chinchilla I Sánchez I Josep Tarrús I Galter

Proyecto de Manejo

Forestal Sostenible

BOLFOR

Cuarto Anillo

esquina Av. 2 de Agosto

Casilla 6204

Teléfonos: 480766 - 480767

Fax: 480854

e-mail: bolfor@bibosi.scz.entelnet.bo

Santa Cruz, Bolivia

BOLFOR es un proyecto financiado por USAID y el Gobierno de Bolivia e implementado por

Chemonics International, con la asistencia técnica de Conservation International,

Tropical Research and Development y Wildlife Conservation Society

Forintek Canada Corp British Columbia Building Envelope Council

Prokaryotic Symbionts of Termite Gut Flagellates: Phylogenetic and Metabolic Implications of a Tripartite Symbiosis.

Andreas Brune

Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology, Marburg, Germany

Ulrich Stingl

Department of Microbiology, Oregon State University, Corvallis, Or., USA.

Progress in Molecular and Subcellular Biology

Jörg Overmann (Ed.)

Molecular Basis of Symbiosis

© Sringer-Verelag Berlin Heidelberg 2005

Biodegradación de Contaminantes Orgánicos Peligrosos: Introducción

Jim Field, Universidad de Arizona, Dpto Ingeniería Química y Medioambiental

<http://superfund.pharmacy.arizona.edu/outreach.html>

Wood Modification

Dr. Callum Hill FIWSc

Senior Lecture in Renewable materials

School of Agricultural and Forest Sciences

University of Wales Bangor

c.a.s.hill@bangor.ac.uk