

PROPIETATS FÍSQUES DE LA FUSTA

La fusta té diferents propietats físiques a estudiar i destacar que la diferencien d'altres materials de construcció.

La fusta és un material heterogeni, higroscòpic, anisotròpic, orgànic i natural amb estructura cel·lular. Genèricament s'anomena fusta a tot el conjunt de teixits llenyosos compostos per fibres de cel·lulosa (40%-50 %) i hemicel·lulosa (15%-25 %) mantingudes unides per lignina (15 %-30 %) que formen el tronc, les arrels i les branques, sense tenir en compte l'escorça, però a nivell pràctic i comercial només s'aprofita la fusta del tronc dels arbres. [4]

La matèria llenyosa està formada per diferents cèl·lules que procuren la conducció de saba, la transformació i emmagatzematge dels productes vitals i l'equilibri del vegetal.

Per tal d'estudiar l'anatomia de la fusta, cal distingir tres nivells que expliquen totes les característiques físiques i mecàniques d'aquest material:

- *Estructura submicroscòpica*: és aquella que requereix augments del microscopi superiors a 3.000. És on s'observen les diferents parts de les parets de la cèl·lula, així com les parets intercel·lulars, i on s'aprecia com la cèl·lula de la fusta en la part interior es troba buida de matèria, motiu per el qual la fusta té una baixa densitat.
- *Estructura microscòpica*: visible fins uns 2.000 augments de microscopi. És on s'observen els conjunts de les cèl·lules i com s'agrupen en fibres longitudinals, en aquesta estructura microscòpica és on rauen les principals diferències entre les fustes frondoses i les fustes coníferes.
- *Estructura macroscòpica*: visible amb una lupa de 10 augments o a simple vista. Es divideix en escorça, albca, duramen i medul·la, definint clarament tres seccions, la radial, la transversal i la tangencial. En l'estructura macroscòpica també es troben altres estructures molt característiques de la fusta, com són els anells de creixement, els radis llenyosos, la fusta juvenil i la fusta de reacció.

Aquestes tres estructures doten a la fusta d'unes característiques físiques molt concretes i clarament diferenciades d'altres materials per estructures, com poden ser l'acer o el formigó, com per exemple, una baixa densitat, una remarcada anisotropia i una higroscopicitat rellevant.

ESTRUCTURA MACROSCÒPICA

La figura 2.3, mostra les principals parts en que es pot dividir el tronc d'un arbre:

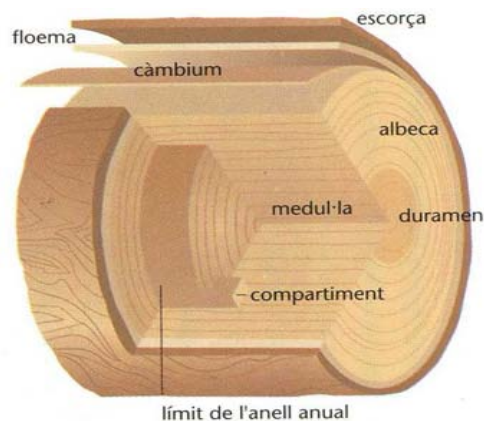


Figura 2.3: Estructura macroscòpica del tronc de la fusta. [6]

En la part més exterior del tronc es troba l'escorça que es divideix en tres capes: l'escorça exterior que és la pell o coberta protectora del tronc constituïda per cèl·lules mortes, seguidament la floema o liber, es tracta d'una capa formada per cèl·lules conductores que transporten la saba elaborada que nodreix l'arbre, finalment el càmbium, és la capa que permet el creixement en gruix de l'arbre, i s'encarrega de produir noves cèl·lules de teixit llenyós. L'escorça, formada per aquestes tres capes no s'utilitza per la fabricació de fusta i es deprecia, o s'utilitza amb altres finalitats.

El teixit llenyós pròpiament dit es divideix en altres tres parts: l'albega, el duramen i la medul·la.

L'albega és la part radialment més a l'exterior i més jove de la fusta, amb una coloració més clara al contenir més saba, que amb el temps al substituir el midó per lignina es transforma en duramen, el qual es fixa en la membrana cel·lular. L'albega sol ser més tova i tenir una densitat menor a la del duramen o medul·la, fet que provoca que sigui més vulnerable al atac de xilòfags, però també més fàcilment impregnable i treballable.

El duramen és la part immediata a la medul·la més a l'interior, està impregnat de lignina fet que li fa obtenir una coloració més fosca. Té una densitat i una autoprotecció a l'atac major que l'albega, per això és més dura i consistent, tot i que és menys impregnable a productes d'acabat o de protecció. Les diferències amb l'albega són més o menys acusades segons l'espècie.

Finalment, la medul·la són els restos de teixit bascular primari en el centre del tronc (cor), és un teixit porós i tou, sense cap tipus de capacitat mecànica i sol ser indesitjable, fet que provoca una limitació d'aquest en classes resistent elevades. Representa tant sols una molt petita part volumètrica del teixit llenyós.

Aquesta heterogeneïtat defineix tres plans o seccions principals a la fusta. La secció radial, que passa per l'eix i un radi del tronc; la secció tangencial, paral·lela a un pla tangent al tronc o a un anell de creixement; i la secció transversal, perpendicular al eix

El contingut d'aquest arxiu té com a objectiu proporcionar una informació orientativa i està condicionada a modificacions i a característiques específiques de producte de cada proveïdor. L'empresa no es responsabilitza de possibles errors i en cap cas es fa responsable de la difusió o ús de la informació obtinguda. Es recomana per qualsevol petició tècnica consultar la bibliografia especialitzada del sector o sol·licitar informació a la nostra oficina tècnica.

del tronc. Aquests tres plans s'observen i s'indiquen en la figura 2.4, on també es mostren els radis llenyosos i les traqueïdes.

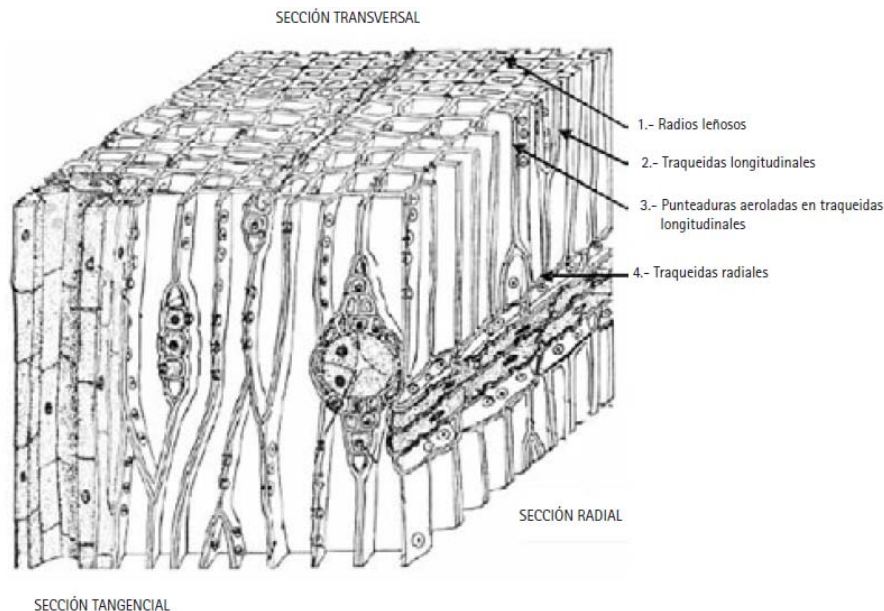


Figura 2.4: Vista tridimensional d'un tall anatómic de fusta. [4]

Aquestes tres seccions o plans i les seves característiques, són els que generen la anisotropia de la fusta que s'explica més endavant, en l'apartat 2.1.4.

Seguidament s'exposen algunes estructures diferenciades i rellevants de l'estructura macroscòpica del tronc:

ANELLS DE CREIXEMENT

El teixit llenyós es va generant mitjançant cèl·lules que es disposen radialment al cor, de forma discontinua segons el clima on es troba l'arbre, creant anells de creixement estacionals o anuals, que alternen la fusta generada durant la primavera (fusta de primer creixement) i la fusta generada al període d'estiu (fusta tardant) o fusta generada en diversos anys, clarament diferenciable per la tonalitat, la diferència de gruixos i donant fruit a diferents porositats i densitats.

Les principals diferències entre la fusta de primavera i la fusta d'estiu es que aquesta última, té les parets de major gruix i per tant el diàmetre interior és menor que la fusta generada a la primavera, poden donar variacions en la densitat entre una i altre del ordre de 3 a 1, provocant una relació entre el gruix de l'anell i la seva densitat. Segons el tipus de fusta que sigui també podent tenir diferents densitats, ja que les fustes del ordre de les coníferes produeixen la fusta tardant amb un gruix constant i amb una densitat major, així que la variació del gruix de l'anell anual resideix en la variació del gruix de la fusta generada en la primavera que té una densitat menor. Mentre que per

altre banda, les fustes de l'ordre frondós generen un gruix constant durant la primavera amb la fusta de primer creixement que té una densitat menor i la variació del gruix del seu anell es generat per la fusta d'estiu que té una densitat major. [4]

RADIS LLENYOSOS

Els radis llenyosos afavoreixen la subjecció de les fibres longitudinals mitjançant cèl·lules col·locades en direcció radial i son un element d'identificació i els responsables de les propietats de contracció de la fusta, tenint un efecte positiu en la compressió radial, ja que augmenten la resistència a aquest esforç. [4]

FUSTA JUVENIL

S'anomena fusta juvenil aquella fusta generada entre els 5 i 20 primers anells de creixement, normalment formant part del duramen, tenint propietats diferents que la resta de la matèria de fusta, ja que té les traqueïdes de menor longitud i una paret més prima amb un angle major d'inclinació de les microfibrilles de la capa intermèdia de la cèl·lula (S2 de la figura 2.6), presentant una menor resistència, menor rigidesa i un major inflament i minva, en la direcció longitudinal. Les fustes coníferes tenen molt marcat aquest fenomen. [4]

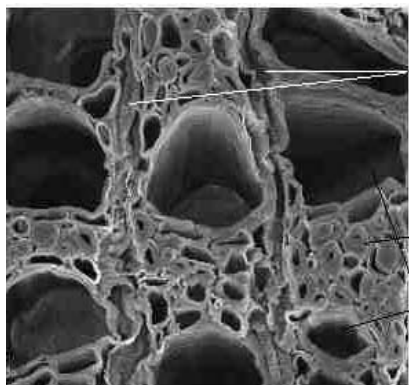
FUSTA DE REACCIÓ

Es la fusta formada per l'arbre com a resposta a una condició de contorn predominant en una direcció, com poden ser accions de vent de forma continuada o una inclinació en el terreny.

Les fustes frondoses responen creant matèria llenyosa en la zona sotmesa a més tracció, fet que augmenta la densitat i no minva les seves propietats mecàniques, però sí que té més deformacions en el procés d'assecatge i una tendència a ruptura fràgil. Mentre que les fustes coníferes generen fusta a la zona de màxima compressió, millorant així la seva resposta a l'acció sol·licitant, tot i que en augmentar l'amplada de l'anell amb fusta generada a l'estiu, provoca problemes com inflaments i minves longitudinals similars a la fusta juvenil. [4]

ESTRUCTURA MICROSCÒPICA

Utilitzant un microscopi d'uns 2.000 augments, es pot estudiar l'estructura microscòpica, on s'observen diferències importants segons el tipus de fusta, ja que les fustes coníferes són força més senzilles estructuralment que les frondoses, però tenint una estructura anàloga.



Radis llenyosos

Fibres

Traqueides

Figura 2.5: Tall microscòpic de les artèries conductores de la fusta. [7]

A les fustes frondoses l'estructura base amb funcions estructurals està composta per fibres traqueides i de forma lliure, on dins d'aquest es troben conductes de diàmetres petits i longitud variable entre uns metres i uns centímetres, formats per elements únics i oberts o perforats als seus extrems i disposats de forma difusa, semi difusa o concentrada. Per altre banda, les fustes coníferes tenen una estructura molt més senzilla, on el 90-95% de les seves cèl·lules són traqueides, que es presenten molt esveltes, amb una llargada entre 2 i 5 mm i amb un diàmetre entre 10 i 59 μm , els extrems estan tancats amb forma plana i afilada.

Les fustes frondoses també presenten unes parets de major gruix i menor llum interior que les traqueides de les coníferes, sent també molt més pronunciada la diferència entre les fibres produïdes l'estiu i a la primavera o anells de creixement.

Una altra característica microscòpica que diferencia notablement les fustes coníferes i frondoses, és que en aquestes últimes les cèl·lules encarregades del transport i emmagatzematge de les substàncies, les anomenades cèl·lules de parènquima, es disposen en forma radial (radi llenyós), són molt més nombroses i de major mida.

En les fustes de naturalesa conifera, també s'observen els canals resinífers, que són cavitats longitudinals dins del teixit.

ESTRUCTURA SUBMICROSCÒPICA

Per el que fa l'estructura submicroscòpica, cal destacar que les parets cel·lulars estan formades principalment per cel·lulosa que s'agrupa en grups donant lloc a les anomenades fibres elementals, les quals s'agrupen constituint les microfibrilles, que són grups entre 100 i 2.000 cadenes de cel·lulosa, quedant embeguda dins una matriu de hemicel·lulosa i lignina.

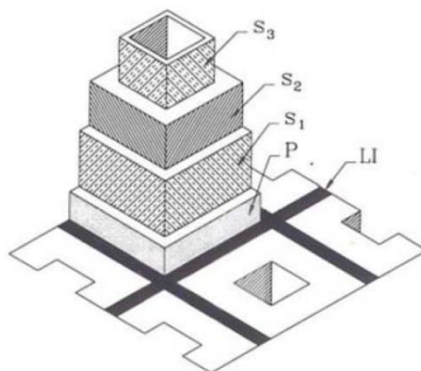


Figura 2.6: Estructura submicroscòpica que formen les parets de les cèl·lules. [4]

La figura 2.6 mostra com s'exposen les diferents capes o parts que formen l'estructura submicroscòpica i la paret de les cèl·lules. Prèviament cal dir que entre les diferents cèl·lules es troba una capa que les separa, anomenada lamineta intermèdia (LI) o paret intercel·lular, que té un alt contingut de lignina i no té pràcticament cel·lulosa.

Per el que fa la pròpia cèl·lula, la primera capa que s'observa es la paret primària (P) on les microfibrils es troben col·locades aleatòriament. Seguidament, la paret secundària (S) que es troba dividida en tres parts: la primera capa (S1), situada més a l'exterior i d'un gruix molt petit, entre 0,1 i 0,2 μm , on les microfibrils es troben orientades en uns angles entre 50 i 70°; seguidament la segona capa (S2), on les microfibrils estan orientades en direcció longitudinal amb una desviació de 5-20° i té un gruix de varis micròmetres; i finalment la tercera capa (S3), on les microfibrils estan amb una lleugera pendent però sense un ordre estricte.

A l'estructura submicroscòpica és on s'observa clarament una de les propietats més importants de la fusta, com es veu, la cèl·lula en la seva zona interior està buida de matèria, fet que permet el pas de substàncies durant la seva vida, però que en l'àmbit estructural provoca un pes propi molt reduït i una gran resistència. La part realment resistent de la cèl·lula és la capa intermèdia de la part secundària (S2), ja que posseeix una gran resistència a tracció i en la compressió les capes S1 i S3 actuen de cercol de la capa S2 evitant el vinclament.

ANISOTROPIA

La fusta és un material acusadament anisòtrop, com a conseqüència de la seva estructura interna i la seva orientació marcadament longitudinal de les cèl·lules. La anisotropia és la capacitat del material de tenir diferents propietats mecàniques i físiques segons la direcció estudiada, així que la fusta té diferents resistències en les direccions axial, radial i tangencial, ja que la seva estructura física es diferent.

Com indica la figura 2.7, la diferència entre la resistència en la direcció paral·lela a les fibres i la perpendicular és molt gran del ordre de 6 a 10 vegades i es força intuïtiva, ja que la fusta es pot entendre com un conjunt de tubs de gran longitud orientats

El contingut d'aquest arxiu té com a objectiu proporcionar una informació orientativa i està condicionada a modificacions i a característiques específiques de producte de cada proveïdor. L'empresa no es responsabilitza de possibles errors i en cap cas es fa responsable de la difusió o ús de la informació obtinguda. Es recomana per qualsevol petició tècnica consultar la bibliografia especialitzada del sector o sol·licitar informació a la nostra oficina tècnica.

longitudinalment. A més a més, també hi ha diferència en les tensions perpendiculars a les fibres segons siguin radials o tangencials, aquesta diferència és aproximadament del ordre del 60% i és degut a la diferència de gruixos entre la fusta de primavera i la fusta d'estiu i a l'existència del radi llenyosos.

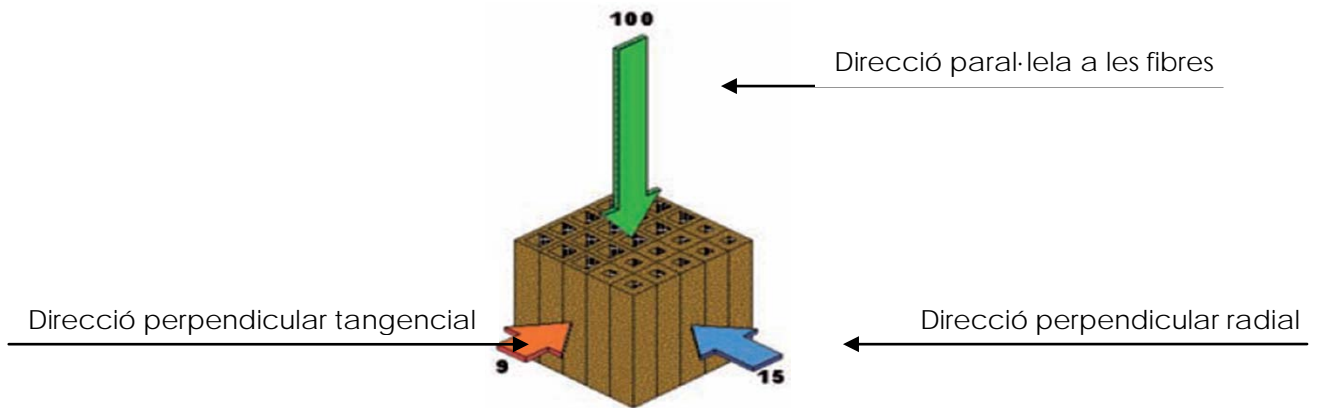


Figura 2.7: L'anisotropia de la fusta. [4]

DENSITAT

La densitat és la relació entre la massa i el volum, sent especialment difícil de determinar una densitat tipus o genèrica en la fusta, ja que hi ha varis factors de fan variar la massa i el volum. Per exemple, el contingut d'humitat, l'espècie de fusta, el contingut de fusta de primavera i d'estiu, etc. Realment la densitat de la paret cel·lular de la fusta es constant en totes les espècies en un valor aproximat de 1.500 kg/m^3 , sent la diferència de densitat la major o menor proporció de forats a l'interior. Per determinar la densitat de la fusta es pren com a referència un contingut d'humitat del 12%.

Tot i els conceptes esmentats anteriorment, es pot dir que la fusta té entre una densitat de 300 kg/m^3 en espècies molt lleugeres com la fusta de balsa i una densitat de 1.200 kg/m^3 en fustes especialment pesades. Com a valors mitjos i molt orientatius, les fustes d'origen conifera tenen densitats entre 400 i 550 kg/m^3 , mentre que les fustes frondoses poden arribar a 600 i 700 kg/m^3 .

Tot i això, per conèixer millor la densitat d'una espècie de fusta o d'un elements en concret es aconsellable consultar les diferents densitats de les diferents espècies en un llibre especialitzat o realitzar una proveta i buscar la densitat concreta d'aquell element, tot i que sempre apareixeran petites variacions.

HIGROSCOPICITAT

La higroscopicitat és la capacitat del material d'absorbir o cedir partícules d'aigua segons la humitat relativa i la temperatura de l'ambient en el que es troba. Aquesta

El contingut d'aquest arxiu té com a objectiu proporcionar una informació orientativa i està condicionada a modificacions i a característiques específiques de producte de cada proveïdor. L'empresa no es responsabilitza de possibles errors i en cap cas es fa responsable de la difusió o ús de la informació obtinguda. Es recomana per qualsevol petició tècnica consultar la bibliografia especialitzada del sector o sol·licitar informació a la nostra oficina tècnica.

qualitat es mesura com la variació de la densitat de la fusta quant el contingut d'humitat varia en un 1%. La fusta és un material higroscòpic, d'aquesta manera existeix una relació entre la humitat relativa i la temperatura amb el grau d'humitat de la fusta, definit segons humitat d'equilibri higroscòpic, com s'aprecia en la següent figura 2.8.

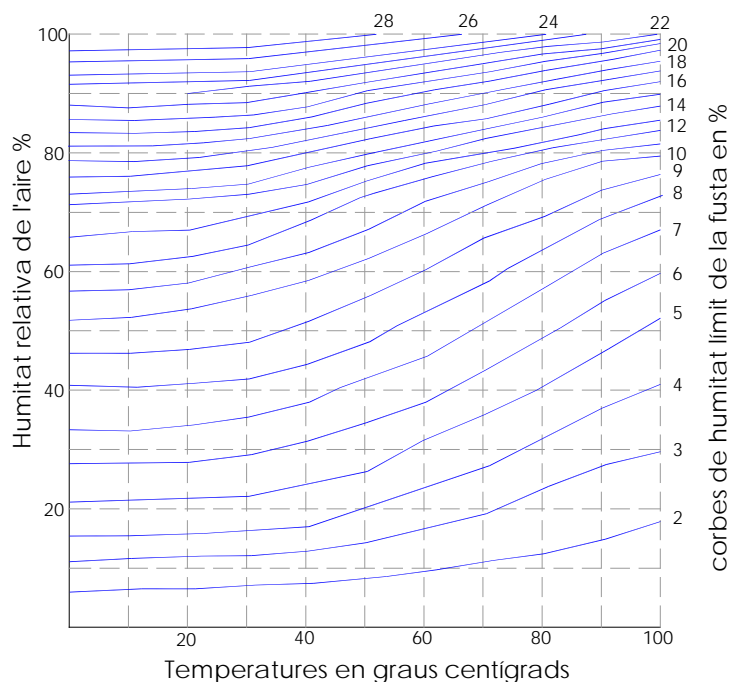


Figura 2.8: Relació entre humitat relativa del aire i temperatura amb la humitat de la fusta

Sempre que sigui possible, per tal de controlar alteracions dimensionals i tensions internes de consideració durant el procés de fabricació dels elements de fusta, s'ha de mantenir la humitat el més semblant possible a la humitat d'equilibri higroscòpic corresponen a les condicions higròtermiques de servei. A continuació, s'indiquen els graus d'humitat aconsellables segons la utilització de la fusta; en obres hidràuliques 30%, en medis molt humits 25-30%, exposat a humitat (no coberta) 18-25%, obres de cobertes però obertes 16-20%, obres de cobertes tancades 13-17%, en un local tancat i amb calefacció 12-14% i en un local amb calefacció continua 10-12%.

HUMITAT

La humitat es defineix com el percentatge de contingut d'aigua per unitat de pes anhidrid, i és una propietat molt rellevant i que afecta de diferents formes a la fusta. El seu valor es defineix segons la formulació següent, on P_h és el pes de la proveta humida i P_s és el pes de la proveta seca obtingut per un assecat mitjançant una estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

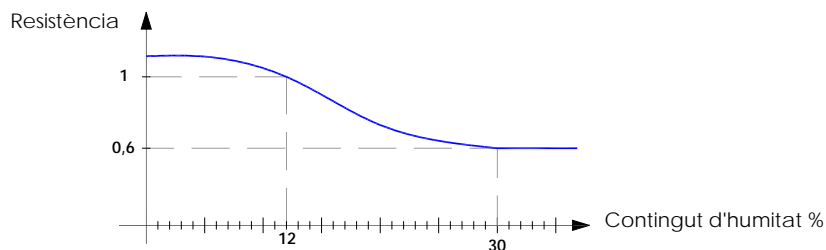
$$H(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} 100$$

El contingut d'aigua a la fusta es pot presentar de les següents tres formes:

- *Aigua de constitució*: és aigua que forma part de les cèl·lules que componen la fusta, no es pot eliminar sense la destrucció del material. Si no es varia la seva composició química, l'aigua de constitució sempre hi es i sempre hi serà, així que no té una influència rellevant en les variacions d'humitat.
- *Aigua d'impregnació*: és l'aigua que està adherida a les parets de les cèl·lules per tensions superficials, tenint una gran influència en les propietats mecàniques del material, i tendeix a mantenir l'equilibri amb la humitat ambiental. Aquesta aigua es pot eliminar sense destruir el material amb un procés de assecat amb una estufa a 103°C +- 2°C. S'arriba el punt de saturació en humitats al voltant del 28-30% en les fustes coníferes, que és quan les parets de les cèl·lules es troben totalment saturades d'aigua.
- *Aigua lliure*: és l'aigua que es troba dins la fusta en un punt superior al de saturació de les fibres omplint així les cavitats de les cèl·lules, òbviament això fa augmentar molt la densitat de la fusta però no té repercussió en les propietats mecàniques de l'element.

Les propietats mecàniques varien segons els continguts d'humitat de la fusta. Generalment al augmentar el contingut d'humitat, en intervals inferiors al punt de saturació, disminueixen els valors de les resistències i del mòdul d'elasticitat, mentre que en continguts d'humitat superiors al punt de saturació la resistència no és troba afectada.

A qualsevol fusta que no presenta defectes, existeix una relació pràcticament lineal entre el contingut d'humitat de la fusta i les seves propietats mecàniques per continguts d'humitat entre el 8% i el 20%. Com s'observa a la següent figura 2.9, per humitats inferiors al 12% la resistència es veu augmentada, mentre que del 12% fins al 30% es va reduint fins arribar a valors resistents del 40% menys de resistència, on a partir d'aleshores al augmentar el valor de contingut d'humitat no es segueix reduint la resistència.



El contingut d'aquest arxiu té com a objectiu proporcionar una informació orientativa i està condicionada a modificacions i a característiques específiques de producte de cada proveïdor. L'empresa no es responsabilitza de possibles errors i en cap cas es fa responsable de la difusió o ús de la informació obtinguda. Es recomana per qualsevol petició tècnica consultar la bibliografia especialitzada del sector o sol·licitar informació a la nostra oficina tècnica.

Figura 2.9: Relació entre resistència i contingut d'humitat a la fusta. [4]

Tot i això, la disminució de la resistència segons el contingut d'humitat no és igual en totes les propietats mecàniques. Aquestes variacions les recull la següent taula 2.1 dissenyada l'any 1995 per Hoffmeyer, tot i que per la fusta comercial aquests valors són menys accentuats.

Taula 2.1: Variació de les propietats mecàniques per cada 1% de grau d'humitat. [4]

PROPIETATS	VARIACIÓ	PROPIETATS	VARIACIÓ
Compressió paral·lela	5 %	Flexió	4 %
Compressió perpendicular	5 %	Tallant	3 %
Tracció paral·lela	2,5 %	Mòdul d'elasticitat paral·lel	1,5 %
Tracció perpendicular	2 %		

Per aquest motiu, el control de la humitat en els assajos que es realitzen per definir les propietats mecàniques de la fusta és de gran importància i s'ha de controlar degudament, per això s'efectuen sota condicions ambientals normalitzades de 20°C ± 2°C de temperatura i una humitat relativa de 65% ± 5%, ja que és en aquests valors on la humitat d'equilibri higroscòpic de la fusta és del 12% o per tant es considera que el valor de la resistència no es veu ni majorat ni minorat.

La variació del contingut d'humitat, produeix a la fusta una variació de volum, en forma d'inflament i de retracció o minva, sempre i quan aquesta variació del contingut d'humitat es produeixi per sota del punt de saturació de les fibres. Al augmentar el contingut d'humitat la fusta pateix un augment de volum en forma d'inflament, mentre que al disminuir el contingut d'humitat pateix una reducció de volum anomenada retracció.

La anisotropia de la fusta genera que aquests inflaments i retraccions no siguin iguals en totes direccions sinó que tenen un comportament diferent segons la direcció tangencial, axial o radial, també depenen en menor mesura de l'espècie i del grau d'humitat de la fusta.

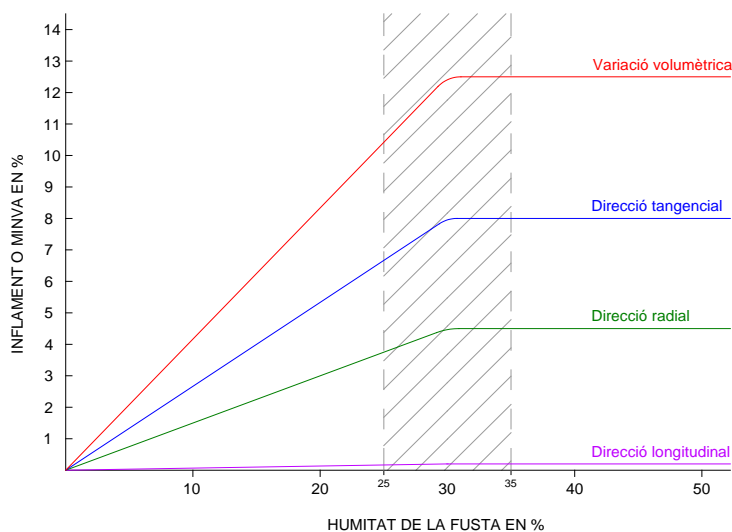


Figura 2.10: Relació entre la humitat i la variació de volum segons les diferents direccions.

Com mostra l'anterior figura 2.10, la major variació dimensional es produeix en la direcció tangencial que normalment està entre un 6% i un 8% del volum, mentre que en la direcció radial la variació és menor ja que sol estar entre el 4% i 5% del volum o un 50% o 60% de la variació tangencial, finalment la variació longitudinal és la menor de les tres i es molt baixa, fins al punt de ser menyspreable, sent aproximadament un 0,1% del volum i entre un 2% o 4% de la minva radial. Aquestes tres variacions de volum resulten en una variació volumètrica de l'element que es defineix com la suma de les variacions en les diferents direccions, sent un valor usual al voltant del 12-13% del volum inicial.

El concepte de major aplicació pràctica per definir aquesta variació de volum és el coeficient de contracció lineal (tangencial o radial) que expressa en un percentatge la variació de les dimensions en la direcció considerada per una variació d'un grau de contingut d'humitat. Així doncs, la contracció volumètrica total (C_v), és la variació de volum entre l'estat saturat i el anhidrid, expressat en percentatge del volum anhidrid, segons la següent fórmula on V_s és el volum de la proveta saturada en aigua i V_0 és el volum de la proveta en estat anhidrid.

$$C_v(\%) = \frac{V_s - V_0}{V_0} 100$$

Anàlogament a aquesta expressió, es troben les equacions de les contraccions radials (R) i les contraccions tangencials (T), on R_s és la longitud radial de la proveta saturada en aigua, R_0 és el mateix en estat anhidrid, T_s és la longitud tangencial de la proveta saturada en aigua i T_0 és el mateix però en estat anhidrid. La diferència entre les contraccions radials i tangencial és la principal causa de deformació en el procés d'assecatge, sent més valorades en ebanisteria les fustes amb una diferència mínima entre les contraccions radial i tangencial.

$$R(\%) = \frac{R_s - R_o}{R_o} 100 \quad T(\%) = \frac{T_s - T_o}{T_o} 100$$

Finalment, s'utilitza el coeficient de contracció volumètrica (v), que correspon a la variació del volum que experimenta la fusta amb una variació de 1% de la humitat, s'expressa amb la següent fórmula on V_h és el volum de la proveta amb una humitat H%. Conseqüentment, es poden definir els coeficients de contracció radial (v_r) i el coeficient de contracció tangencial (v_t) amb les fórmules següents, on R_h és la longitud radial de la proveta a una humitat H% i T_h és la longitud tangencial de la proveta a una humitat H%.

$$v(\%) = \frac{V_h - V_o}{H V_o} 100$$

$$v_r(\%) = \frac{R_h - R_o}{H R_o} 100$$

$$v_t(\%) = \frac{T_h - T_o}{H T_o} 100$$

Totes aquestes contraccions provocades per la variació de la humitat de la fusta poden tenir repercussió en la seguretat de l'estructura, tot hi que normalment aquests moviments causats per la variació de volum són molt petits i per tant es menyspreen. Hi ha altres casos que poden afectar notòriament la seguretat i s'hauran de tenir en compte. Aquestes variacions de volum poden provocar, desajustaments i toleràncies inadmissibles en les unions de la fusta que ha estat col·locada amb un contingut d'humitat massa elevat, també poden aparèixer esquerdes o fissures d'assecatge que disminueixen la qualitat de la peça i afavoreixen l'atac de fongs.

TENSIONES DE CREIXEMENT

La fusta durant el seu període de creixement, en forma d'arbre, es troba sotmesa a tensions, ja sigui per el seu propi pes com per accions exteriors i aquest seguit de tensions s'acumulen a la fusta generant desenvolupaments de la matèria disperss. [4]

A causa del procés de creixement del arbre i al seu propi pes, les parts interiors del tronc es troben sotmeses a compressió, mentre que les parts exteriors estan traccionades per aconseguir l'equilibri fins a valors aproximats a 7 N/mm² en fustes coníferes i 10 N/mm² en les fustes frondoses. La distribució de tensions normals resulta en el diagrama a) de la figura 2.11.

La sol·licitació exterior a la que l'arbre es troba sotmesa més habitualment i en períodes més llargs de temps durant la seva vida, és l'acció del vent, que fa treballar la secció transversal del tronc a flexió, segons la distribució de tensions del diagrama b) de la figura 2.11. Com indica el diagrama de tensions c) de la figura 2.11, s'ha de tenir en compte que la sol·licitació resultant a tracció es gairebé el doble de la sol·licitació de compressió, que pot arribar fins a una resistència pròxima als 27 N/mm², aleshores la ruptura del tronc es produirà per compressió al arribar a aquests valors tenint en compte la reducció de resistència de la influència dels nusos o imperfeccions que tingui el tronc.

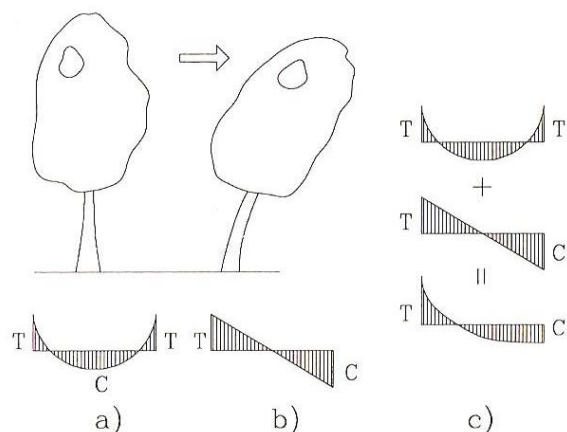


Figura 2.11: Tensions de creixement en la fusta. [4]

Com a resultat d'aquesta interacció d'accions resulta una distribució de tensions segons el diagrama c) de la figura 2.11, on es pot observar que la compressió resultant es redueix en un 35% de la provocada per flexió, fet doncs que millora la capacitat resistent del tronc, mentre que la tracció es veu augmentada fins un valor més pròxim a l'esgotament, reduint així les tensions on hi ha menor resistència i augmentant les tensions on hi ha màxima resistència.