



## *CONSTRUCCIONES EN LOS ARBOLES*

*Autor : Martín Vaillant*

*Tutor : María Calone // Juan José Fontana.*

# INDICE

## INTRODUCCION

---

### ARBOL 2 - 13

---

Árbol, estructura interna

Propiedades físicas y mecánicas

Especies implantadas y especies locales

Compartimentación, respuesta frente a las heridas.

La elección del árbol

### VINCULACIONES Y SOPORTES 14 - 19

---

Cuerdas y cables

Tornillos y clavos

TABs: material, diseño

Instalación

Anclaje deslizante

### EJEMPLOS CONSTRUIDOS 20 - 22

---

Yellow Treehouse Restaurant, Auckland, Nueva Zelanda

Instructables. Dustinfeider. San francisco, Bay área

Pete Nelson, treehouse Washington state

### DISEÑO PARA PROYECTO DE ESTUDIO 23 - 38

---

Diseño y proyecto

Calculo de cargas, peso propio y acción del viento

Estudio de cargas aplicadas para un vínculo simple tipo TAB

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

## INTRODUCCION

Nos proponemos realizar un estudio sobre la construcción arquitectónica de viviendas cuya fundación o soporte este asociada a uno o más árboles. Siendo este parte integrante de su sostén y vinculación al suelo.

Elegimos este tema por diferentes razones,

En Primer lugar es una tema que nos interesa desde que vimos y entendimos que esta ya es una realidad posible, que ha sido implementada en otros países y que no se trata de construcciones provisionarias sino de estructuras sólidas y seguras que contemplan por un lado los requerimientos del hábitat contemporáneo y por otro lado logran una simbiosis o interrelación con la naturaleza y particularmente con el árbol al cual se entrelazan.

---

Vale mencionar aquí que este es un estudio centrado en la vinculación con el árbol desde un punto de vista técnico y en el armado de una plataforma segura que permita luego sobre ella la construcción más tradicional de una vivienda de madera.

Hay tres partes o factores diferentes, (aunque íntimamente relacionados entre si), que debemos tener en cuenta.

En primer lugar la construcción misma que queremos realizar, el diseño y tamaño serán determinantes de todo el proceso.

En segundo lugar al ser parte de la construcción resulta de igual importancia la elección de el o los árboles que darán soporte a la estructura.

En tercer lugar el vínculo casa – árbol es fundamental para lograr una simbiosis y unión duradera.

En este estudio tomaremos como **supuesto** un tamaño y medida particular a lo cual llamaremos REFUGIO, que nos permitirá conocer las cargas y sollicitaciones a los cuales serán sometidos los árboles en forma genérica.



*Casa en el árbol en Nasu, Japon.  
Arquitecto :Takashi Kobayashi*

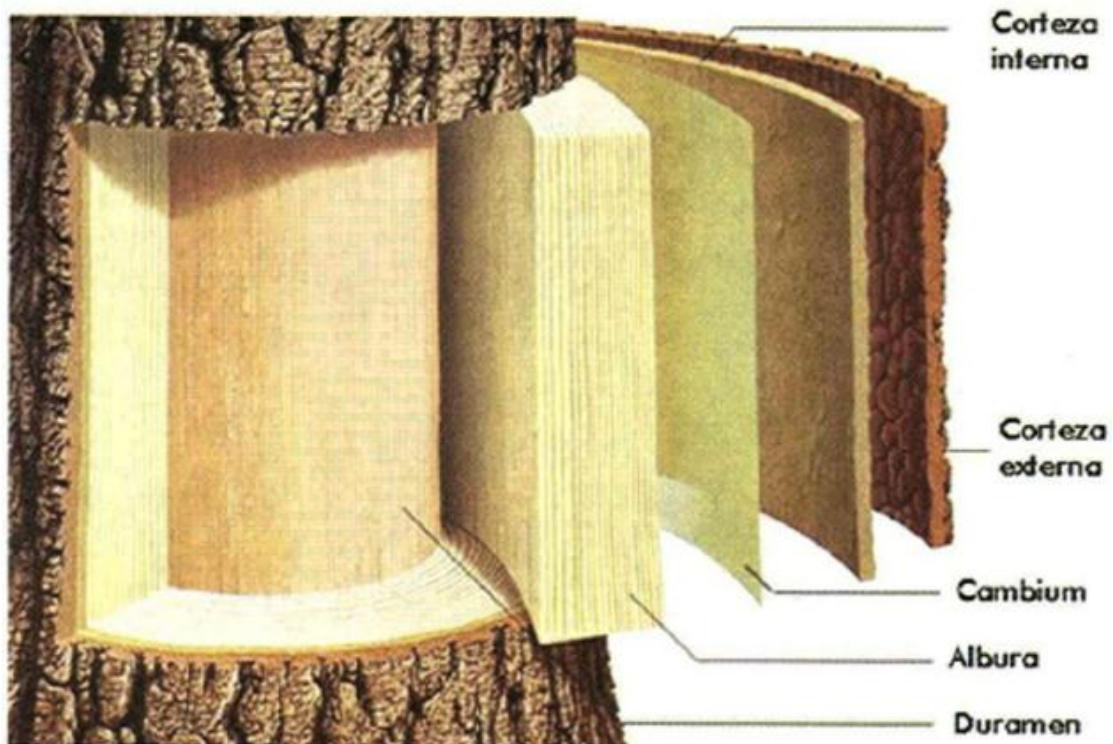
## ARBOL

*"El árbol, es una gran máquina que almacena energía y la mayor parte de los elementos esenciales para la vida" (Johnson, H., 1996).*

Los árboles son un importante componente del paisaje natural, previenen la erosión y proporcionan un ecosistema protegido de las inclemencias del tiempo en su follaje y por debajo de él. También desempeñan un papel importante a la hora de producir oxígeno y reducir el dióxido de carbono en la atmósfera, así como moderar las temperaturas en el suelo.

Los árboles presentan una mayor longevidad que otros tipos de plantas. Ciertas especies de árboles (como las secuoyas) pueden superar los 100 m de altura, y llegar a vivir durante miles de años.<sup>1</sup>

**Árbol, estructura interna // Propiedades mecánicas de la madera verde // especies locales// reacción ante daños, compartimentación**



### ARBOL, ESTRUCTURA INTERNA <sup>2</sup>

**Corteza**<sup>3</sup>: Es la capa más externa, que protege al vegetal contra agresiones externas. Consta de dos capas, corteza externa y corteza interna. La primera, generalmente agrietada, está constituida por tejido muerto denominado corcho o súber. La corteza interna, llamada líber está formada por tejido vivo cumpliendo la función de distribución de los productos elaborados por las hojas mediante el fenómeno de la fotosíntesis.

<sup>1</sup> <http://www.conifers.org/cu/Sequoia.php>

<sup>2</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Madera>

<sup>3</sup> Rinaldo Tuset (2008)

**Cambium** : Es un tejido vegetal meristemático (responsable del crecimiento) específico de las plantas leñosas, situado entre la corteza y el leño, compuesto normalmente por una capa única de células embrionarias. Cada año el cambium origina dos capas de células adultas. La primera, hacia el interior, es de leño (xilema); éstas son las que forman la madera y se reconocen luego como anillos de crecimiento. La segunda, hacia afuera, es otro tipo de tejido el floema, que transporta savia elaborada en dirección a las raíces.

**Albura** : La albura es la parte joven de la madera, corresponde a los últimos anillos de crecimientos del árbol, producidos por el cambium vascular. Es más clara, menos densa, más permeable y contiene más humedad que el duramen. Por ella se conduce la savia de las raíces a las hojas.

**Duramen** : En la mayoría de los árboles la parte interna del leño cesa en su actividad conductora y sus células vivas mueren. Su única función es proporcionar al tronco del árbol una estructura interna fuerte y resistente con la cual poder sostener todo el peso de las ramas y la copa en general.



Tronco de árbol cortado transversalmente. Fuente: <<http://rincondelarbol.blogspot.com.uy>>

## PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.<sup>1 2</sup>

Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

En primer lugar podemos ver que los árboles están diseñados por la naturaleza para resistir con eficacia los esfuerzos a los que va a estar sometido en su vida; principalmente los esfuerzos de flexión producidos por la acción del viento y los de compresión producidos por las acciones gravitatorias.

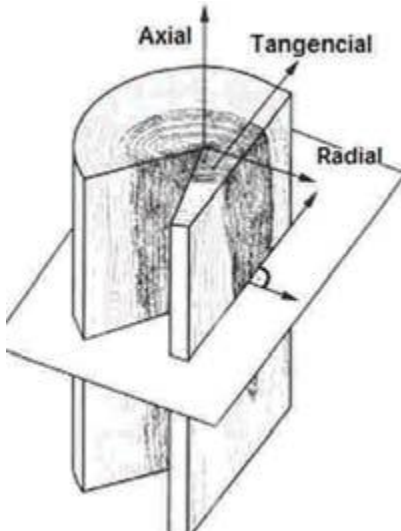
La madera es un material **anisotrópico**. Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Si al eje coincidente con la longitud del tronco le nombramos como axial y al eje que pasa por el centro

<sup>1</sup> CORMA, La construcción de viviendas en madera

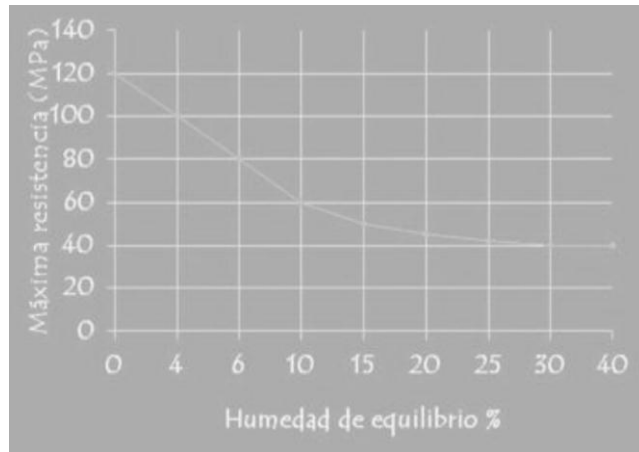
<sup>2</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Madera>

del tronco (médula vegetal) y sale perpendicular a la corteza le llamamos transversal, podemos decir que la resistencia de la madera en el eje axial es de 20 a 200 veces mayor que en el eje transversal.

La madera es un material higroscópico. Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.



Ejes según plano de estudio.  
Fuente: La construcción de vivienda en madera – CORMA, capítulo 1 – pag 19



Efecto del contenido de humedad en la resistencia de la madera.- Fuente: La construcción de vivienda en madera – CORMA, capítulo 1, grafico 1-3 , pag 33

Cuando la madera pierde agua por debajo del punto de saturación de las fibras, cada célula se compacta, lo que provoca mayor rigidez y resistencia de las fibras, y por ende, un incremento de su resistencia.

### Densidad o peso específico

La densidad aparente de la madera depende de varios factores y varía notablemente entre especies. Una vez secas, hay especies que apenas alcanzan los 300 kg/m<sup>3</sup> mientras que otras pueden llegar a superar los 1200 kg/m<sup>3</sup>.<sup>1</sup>

A los efectos de este trabajo nos interesa particularmente la resistencia de la madera verde en compresión paralela a las fibras.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida. El esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie es la llamada tensión unitaria. “Las propiedades de la madera verde varían desde 1.4 KN/cm<sup>2</sup> (castaño de indias) a 2.8KN/cm<sup>2</sup> ( Roble). Muchas especies de árboles cuentan con una fuerza de compresión de 2.0KN/cm<sup>2</sup>. Esto significa por ejemplo que una superficie de tan solo 50cm<sup>2</sup> puede soportar el peso de un árbol de 10T.”<sup>2</sup>

Tabla a continuación.

<sup>1</sup> CORMA, La construcción de viviendas en madera

<sup>2</sup> Conferencia de biomecánica - E.Brudi 2001

<b>Catálogo Stuttgart de la dureza de la madera –propiedades materiales de la madera verde</b>				
Especies	E-mod en Kn/cm <sup>2</sup>	Fuerza de compresión en kN/cm <sup>2</sup>	Límite de elasticidad en %	Valor Cw propuesto
<i>Abies alba</i>	950	1.5	0.16	0.20
<i>Acer pseudoplatanus</i>	850	2.5	0.29	0.25
<i>Acer negundo</i>	560	2	0.36	0.25
<i>Acer campestre</i>	600	2.55	0.43	0.25
<i>Acer saccharinum</i>	600	2	0.33	0.25
<i>Acer sacharum</i>	545	2	0.37	0.25
<i>Aesculus hippocast.</i>	525	1.4	0.27	0.35
<i>Ailanthus altissima</i>	640	1.6	0.25	0.15
<i>Betula pendula</i>	705	2.2	0.31	0.12
<i>Chamaecyparis law.</i>	735	2	0.27	0.20
<i>Cedrus deodara</i>	765	1.5	0.20	0.20
<i>Fagus sylvatica.</i>	850	2.25	0.26	0.25-0.30
<i>Alnus glutinosa</i>	800	2	0.25	0.25
<i>Fraxinus excelsior</i>	625	2.6	0.42	0.20
<i>Picea abies</i>	900	2.1	0.23	0.20
<i>Picea omorika</i>	900	1.6	0.18	0.20
<i>Carpinus betulus</i>	880	1.6	0.18	0.25
<i>Castanea sativa</i>	600	2.5	0.42	0.25
<i>Cercis siliquastrum</i>		1.5		0.20
<i>Larix decidua</i>	535	1.7	0.32	0.15
<i>Liriodendron tulipifera</i>	500	1.7	0.34	0.25
<i>Pinus pinaster</i>	850	1.8	0.21	0.20
<i>Pinus sylvestris</i>	580	1.7	0.29	0.15
<i>Platanus x hybr.</i>	625	2.7	0.43	0.25
<i>Populus x canescens</i>	605	2	0.33	0.2-0.25
<i>Populus nigra 'Italica'</i>	680	1.6	0.24	0.30
<i>Populus nigra</i>	652	2	0.31	0.2
<i>Populus alba</i>	640	2	0.31	0.2
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1000	2	0.20	0.20
<i>Pyrus communis</i>	580	1.7	0.29	0.30
<i>Quercus robur</i>	690	2.8	0.41	0.25
<i>Quercus rubra</i>	720	2	0.28	0.25
<i>Robinia pseudoacacia</i>	705	2	0.28	0.15
<i>Robinia monophy.</i>	520	2	0.38	0.15 - 0.20
<i>Salís alba</i>	775	1.6	0.21	0.20
<i>Salís alba 'Tristis'</i>	700	1.6	0.23	0.20
<i>Sequoiadendron gig.</i>	455	1.8	0.40	0.20
<i>Sophora japónica</i>	645	2	0.31	0.15
<i>Sorbus aria</i>	600	1.6	0.27	0.25
<i>Tilia x hollandica</i>	450	1.7	0.38	0.25
<i>Tilia euchlora</i>	700	1.75	0.25	0.25
<i>Tilia tomentosa</i>	835	2	0.24	0.25 - 0.30
<i>Tilia platiphyllous</i>	800	2	0.25	0.25
<i>Tilia cordata</i>	830	2	0.24	0.25
<i>Ulmus glabra</i>	570	2	0.35	0.25

Conferencia sobre Biomecánica de la ISA, 2001, Savannah, presentada por E. Bruni.

Es relevante mencionar para nuestro país, el trabajo realizado por la Facultad de Agronomía y Ingeniería en conjunto. Titulado Investigaciones sobre la madera de pino marítimo (*Pinus Pinaster*) cultivado en Uruguay. Editado en 1996. El Director del Departamento Forestal de la Fac. de Agronomía, Ing. Ag. Rinaldo Tuset como parte del equipo de investigación <sup>1</sup>

“Los árboles para la investigación se obtuvieron de cuatro zonas donde se concentran las plantaciones de este pino: Canelones, Maldonado, Rocha y Colonia. Se trata de Ejemplares con edades de 30 a 50 años. Se apearon 32 árboles, en los cuales se realizaron ensayos de propiedades físicas y mecánicas, además de registrarse características anatómicas y de crecimiento”.

**CUADRO 12.** Propiedades mecánicas de la madera de pino marítimo.  
Madera verde o saturada.

Propiedad	Pro-medio	Al 95% de confianza			Al 90% de confianza		
		LI*	LS	PRE	LI	LS	PRE
<b>Probetas de sección 20 x 20 mm aprox.</b>							
<b>A) Flexión estática</b>							
a) módulo de ruptura							
kg/cm <sup>2</sup>	766,090	683,46	848,72	10,78			
MPa	75,11						
b) resistencia al límite proporcional							
kg/cm <sup>2</sup>	367,047	336,61	397,49	8,29			
MPa	35,98						
c) módulo de elasticidad							
kg/cm <sup>2</sup>	65748				56424	75071	14,18
GPa	6,44						
<b>B) Compresión paralela al grano</b>							
a) módulo de ruptura							
kg/cm <sup>2</sup>	216,702	188,60	244,81	12,97			
MPa	21,24						
b) resistencia al límite proporcional							
kg/cm <sup>2</sup>	180,488				157,23	203,75	12,89
MPa	17,69						
<b>C) Compresión perpendicular al grano</b>							
resistencia al límite proporcional							
kg/cm <sup>2</sup>	20,791	17,79	23,79	14,44			
MPa	2,04						
<b>D) Hendimiento</b>							
resistencia al hendimiento							
kg/cm <sup>2</sup>	4,236	3,72	4,75	12,22			
MPa	0,415						
<b>E) Tracción perpendicular al grano</b>							
resistencia a la tracción							
kg/cm <sup>2</sup>	17,234	16,39	18,08	4,91			
MPa	1,69						
<b>Probetas de sección 50 x 50 mm aprox.</b>							
<b>F) Corte</b>							
resistencia al corte							
kg/cm <sup>2</sup>	78,304	66,71	89,89	14,80			
MPa	7,68						
<b>G) Dureza Janka</b>							
a) axial							
kg/cm <sup>2</sup>	244				214	273	12,25
kN	2,39						
b) perpendicular <sup>(1)</sup>							
kg/cm <sup>2</sup>	173				133	213	23,20
kN	1,70						

\* LI = Límite inferior; LS = Límite superior; PRE = Precisión %.

<sup>(1)</sup> La cifra que se presenta es el promedio de la dureza en la cara radial y la cara tangencial.

<sup>1</sup> Tuset. (1996)



## ESPECIES IMPLANTADAS, TEMPRANA FORESTACIÓN Y CRECIMIENTO.

**Pino pinaster (marítimo):**<sup>1</sup> El pino rodeno, pino marítimo o pino rubial es una especie arbórea de la familia de las pináceas. Generalmente entre el nivel del mar y unos 800 metros. Está incluido en la lista 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Es un árbol de mediano tamaño 20 a 35 metros, De corteza rojo anaranjada, gruesa y profundamente agrietada sobre todo en la base. Posee una densidad en seco de 550kg/m3 aprox

Se encuentra preferentemente en suelos pobres, arenosos y ácidos, por lo que es frecuente en los sistemas dunares costeros, aunque no es exclusivo de este medio.

No es especie exigente en cuanto a profundidad del suelo. Tolera mal el encharcamiento y no puede considerarse como opción razonable en suelos de textura pesada.



<[https://es.wikipedia.org/wiki/Pinus\\_pinaster](https://es.wikipedia.org/wiki/Pinus_pinaster)>

### **Eucalyptus, (grandis y colorado):**<sup>2</sup>

Es un género de árboles (y algunos arbustos) de la familia de las mirtáceas. Existen alrededor de 700 especies, la mayoría oriundas de Australia.

Los eucaliptos son árboles perennes, de porte recto. Pueden llegar a medir más de 60 m de altura

El eucalipto colorado es un árbol atractivo y de tronco fuerte muy demandado fuera de Australia por su madera y celulosa.

Tiene una fibra recta y moderada durabilidad Densidad en seco de 700 kg/m3 aprox



<[https://es.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus\\_grandis](https://es.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus_grandis)>

<sup>1</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Pinus\\_pinaster](https://es.wikipedia.org/wiki/Pinus_pinaster)

<sup>2</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus>

## ESPECIES LOCALES <sup>1</sup>

La flora autóctona de nuestro país merece ser nombrada ya que tiene algunos ejemplares que por su tamaño y porte podrían ser de utilidad para este estudio. Lamentablemente no están suficientemente extendidos y distribuidos en el territorio. En parte por la degradación del monte nativo y en parte por lento crecimientos en comparación con las especies implantadas (pino, eucalyptus).

Vale la pena nombrar algunos:

**Guayubira.** Nombre científico: *Patagonula americana*.

Porte: Arbol de hasta 15 mts. de altura y 60-70 cms. de diámetro, de fuste recto.

Madera: Madera dura, pesada, resistente, flexible. Peso específico: 0,78-0,90. gr/cm<sup>3</sup>

**Ibirapitá.** Nombre científico: *Peltophorum dubium*.

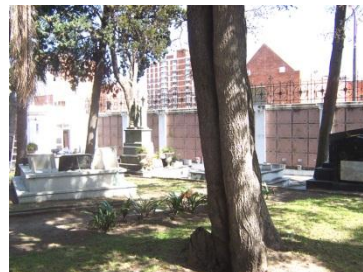
Porte: Arbol grande, de hasta 25 mts. de altura y 35 cms. de diámetro.

Madera: Textura mediana y grano oblicuo a entrelazado. Veteado espigado similar a la caoba. Madera semidura y semipesada a pesada. Peso específico: 0,74-0,90 gr/cm<sup>3</sup>

**Lapacho, ipe.** Nombre científico: *Tabebuia ipe*.

Porte: Arbol de 15-18 mts. de altura y 35-40 cms. de diámetro.

Madera: Veteado suave. Textura fina y grano oblicuo a entrelazado. Madera muy dura, pesada, muy durable a la intemperie o enterrada. Peso específico: 0,98-1,01 gr/cm<sup>3</sup>



<<http://www.guayubira.org.uy/monte/guayubira/Guayubira.html>>



<[https://es.wikipedia.org/wiki/Peltophorum\\_dubium](https://es.wikipedia.org/wiki/Peltophorum_dubium)>



<<https://es.wikipedia.org/wiki/Tabebuia>>

El bosque nativo puede ser definido como una formación vegetal en la que predominan la asociación de árboles y arbustos de distintas especies que se desarrollan sin la intervención humana. Representa una pequeña parte del territorio ocupando alrededor del 3% de la totalidad de la superficie del país. Los departamentos con mayor cobertura total de los diferentes tipos de monte nativo son Tacuarembó, Artigas, Cerro Largo, Rivera, Maldonado y Río Negro.

La flora arbórea y arborescente del Uruguay comprende alrededor de 260 especies, contándose con unas 120 especies de árboles y unas 140 especies de arbustos, que en conjunto representan un 10 % de la flora total del país.<sup>2</sup>

Múltiples son las causas que han reducido casi a la mitad, la superficie ocupada por el monte nativo. Se destacan: la deforestación, malas prácticas agrícolas, introducción de especies vegetales y animales exóticas, urbanización, entre otras, que provocan daños, prácticamente irreversibles, a la diversidad biológica.

<sup>1</sup> Ricardo Carrere, (1990)

<sup>2</sup> Ing. Agr. (M.Sc.) Iván A. Grela, Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera Facultad de Agronomía - Universidad de la República.

## COMPARTIMENTACIÓN <sup>1</sup>

Es importante dentro del estudio entender cuál es la respuesta de los árboles frente a la intrusión y el daño que agentes externos realizan sobre el ya que este será nuestro soporte estructural y de su salud dependerá la seguridad de la construcción.

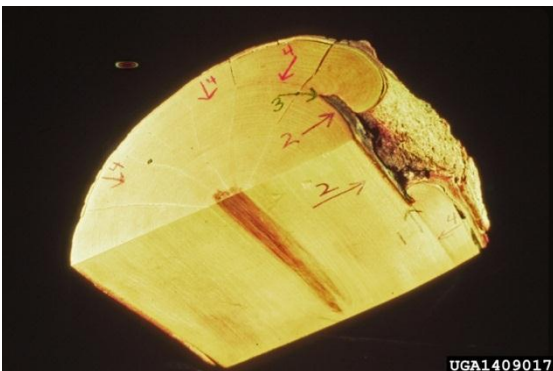
Cuando un árbol está dañado, intenta reducir la propagación de la enfermedad mediante el aislamiento de la sección dañada. Al contrario que los animales (que cicatrizan, reponen, iniciando un edema que hipercomunica la herida con los sistemas vasculares para alimentar las células en mitosis continua), los vegetales aíslan la zona constriñendo los vasos radiales, anulares y verticales ya que carecen de tejidos meristemáticos (tejido responsable del crecimiento) en el xilema que pudieran reparar algo y, por tanto, dan por perdida la zona para salvar el resto del sistema.

Los bordes de la herida en contacto con la corteza alojan cambium que sí es meristemático y se desarrolla sobre su plano de crecimiento, reponiendo tejido hasta volver a conseguir continuidad tubular para seguir albergando anillos anuales, quedando



Arriba y abajo, imágenes de internet.

<<http://almadeherrero.blogspot.com.uy/2010/11/corazon-rotos.html>>



UGA1409017

Departamento de agricultura de EEUU, Servicio forestal-Northeastern Area, Bugwood.org  
<<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1409017>>

en su interior la madera compartimentada que pasa a ser un "nudo muerto".



**Esto se llama un compartimiento. A medida que el árbol no puede regenerar el tejido dañado como un animal lo hace, se cierra y se apaga y sigue creciendo alrededor de la zona dañada. <sup>2</sup> Los árboles no sanan, solo sellan. Generan nueva madera alrededor de la zona dañada**

<sup>1</sup> Alex L. Shigo (1977) Servicio forestal. Departamento de Agricultura de Los EEUU

<sup>2</sup> <http://arboles-dendros.blogspot.com.uy/p/la-nueva-arboricultura.html>

## LA ELECCIÓN DEL ÁRBOL

En primer lugar debemos mencionar que obviamente no todos los árboles son iguales, ni en su tamaño, ni en su forma, ni en su profundidad radicular, ni en su salud general. Por esto es que es preponderante tener una evaluación desde un punto de vista biológico hecha por un técnico arborista o idóneo que comprenda el estado general del árbol que nos dará sustento.

Michael garnier, uno de los precursores y investigador destacado en el tema dice en su pagina Web respecto a la elección del árbol.

“EL diseño de la casa depende del tamaño, la forma y la especie del árbol en el cual se construye....fuerza, vigor, especie (buen compartimentador y longevidad) y forma son las principales características a tener en cuenta”.<sup>1</sup>

### Estadios de desarrollo y envejecimiento del árbol<sup>2</sup>

En este modelo de las zonas del árbol, la vida hipotética de un árbol con buena salud, desde la germinación de la semilla hasta la muerte del árbol, se divide en cuatro etapas basadas en la acumulación anual de biomasa:

Fase 1: fase de asentamiento del árbol. Esta fase consiste en la germinación de la semilla y la elaboración de las primeras ramificaciones del árbol y el establecimiento de las relaciones del árbol con su medio ambiente. La acumulación anual de la biomasa es pequeña. En el modelo un árbol en esta fase se llama árbol juvenil.

Fase 2: fase rápida de expansión. El árbol procura captar el máximo espacio para un crecimiento eficaz. La acumulación anual de biomasa es grande. Un árbol en vía de expansión rápida de la copa se llama árbol joven.

Fase 3: fase de expansión lenta o de aprovechamiento del espacio capturado en la fase anterior. Esta fase está caracterizada por una ralentización del crecimiento del árbol. El árbol en esta fase se llama árbol adulto.

Fase 4: fase de senescencia. Esta fase constituye el resultado del desarrollo fisiológico y morfológico (arquitectónico) del árbol. Se caracteriza por una disminución neta de la reactividad del árbol, y a veces por una reducción de la sexualidad. La acumulación anual de biomasa es pequeña. En el modelo, este árbol se llama senescente.



La duración de éstos cuatro estadios varía según las especies. El abedul pubescente (*Betula pubescens* EHRH) llega a la senescencia entre los 60 y los 100 años. Por el contrario, es corriente observar un Roble común de la misma edad en plena expansión de la copa (árbol

<sup>1</sup> <<http://treehouses.com/joomla/index.php/construction/tree-selection>>

<sup>2</sup> William More (2002)

joven). Estas diferencias están ligadas a estrategias ecológicas de la especie referida. Las especies pioneras, por ejemplo abedul, sauce, aliso y chopo se caracterizan por un crecimiento extremadamente rápido, por la acumulación de un gran volumen de biomasa durante la fase joven y, por una fase adulta relativamente corta que no supera generalmente los 150 años. Son poco exigentes a las condiciones ecológicas. En contra, son heliófilas, es decir no toleran la sombra y necesitan mucha luz para un crecimiento óptimo.

Por el contrario, las especies dríadas, o más dominantes. Por ejemplo el haya, el abeto y las secuoyas (*Sequoia sempervirens*). Que en la sucesión vegetal intervienen después de las especies pioneras, se caracterizan por un periodo adulto prolongado y una duración de la vida elevada. Las dríadas son árboles esciafilos, es decir toleran la sombra. En el estadio juvenil, se encuentran en la sombra del bosque. La fase de asentamiento puede durar relativamente mucho tiempo antes de la iniciación de la fase de expansión rápida.

Existen todo tipo de variaciones entre estos dos extremos.

Es importante determinar dentro de la salud del árbol cuando este se encuentra la última fase de su desarrollo.

A menudo se da una confusión entre senescencia y decaimiento. La senescencia en el árbol aparece después de la fase adulta y se caracteriza por ser el resultado del desarrollo fisiológico y morfológico del árbol. La mayoría de los árboles que proceden de semilla no alcanzan el estadio de senescencia, mueren antes a causa de estrés severos ligados o bien al ambiente o bien a estados patológicos. El decaimiento, contrariamente a la senescencia, puede suceder en cualquier momento de la vida del árbol. El decaimiento generalmente se caracteriza por un “crecimiento hacia abajo”

En resumen, el envejecimiento del árbol se acompaña por:

- una disminución de las reservas de energía con respecto a la masa,
- un descenso del vigor (vigor = capacidad de formar tejidos nuevos, Regnard, Moore, 2002),
- una estructura interna que aumenta en complejidad,
- una flora interna (microorganismos) compartimentada después de aperturas naturales y traumáticas,
- una evolución morfológica cara a la formación de la unidad arquitectónica mínima. (pierde ramas)

## Modelo de zonas del árbol <sup>1</sup>

### Zonas aéreas

Zona I : zona de producción

(captación de energía solar)

Zona II : zona de soporte secundario

(fustes)

Zona III : zona de soporte principal

### Zona de transición

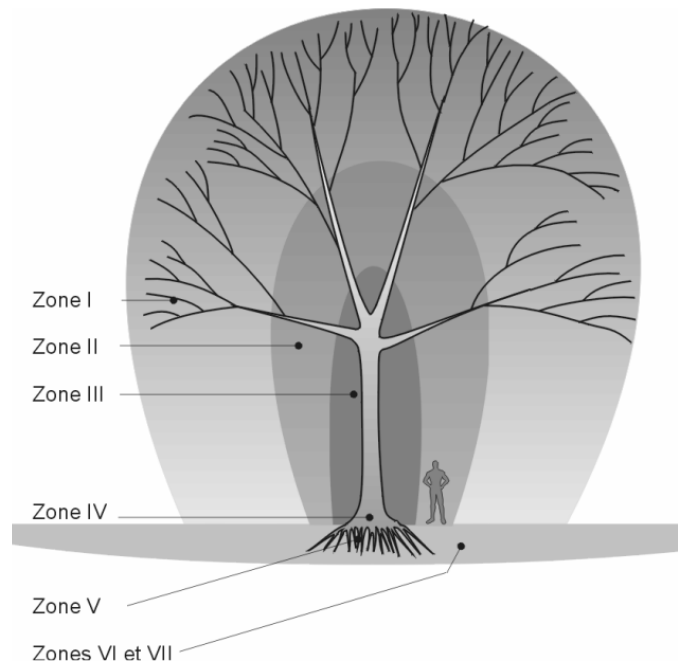
Zona IV : cuello

### Zonas subterráneas

Zona V : zona de soporte. Raíces principales.

Zona VI : zona de exploración del suelo. Raíces leñosas.

Zona VII : zona de explotación de la tierra. Raíces no leñosas.



El árbol juvenil presenta solo la Zona I, la zona de producción. En el transcurso del desarrollo del árbol (aumento del volumen de la copa con el crecimiento de jóvenes ramas situadas en la periferia) esta zona será “empujada” hacia el exterior por el desarrollo (la intercalación) de la Zona II.

La Zona II es una zona de soporte de la Zona I. Un árbol que presenta estas dos zonas es un árbol joven.

Las Zonas I y II serán “empujadas” igualmente hacia el exterior por la formación y la intercalación de la Zona III, zona del soporte principal.

El árbol que presente estas tres zonas se llama árbol adulto.

### El desarrollo de las zonas subterráneas,

La intercalación de las zonas aéreas se acompaña de una expansión, principalmente lateral, de las zonas subterráneas. Las zonas subterráneas están presentes en todos los estadios de desarrollo. Ellas tienen la forma de un plato que aumenta en circunferencia con el desarrollo del árbol. Es generalmente aceptado que en la mayoría de los suelos conocidos las raíces son bastante superficiales, las condiciones del subsuelo son a menudo poco favorables a su desarrollo (anaerobio, barreras físicas como por ejemplo la roca madre). Según McDaniel (1998), el 90% de la masa de las raíces se sitúa en el primer metro de suelo.

---

<sup>1</sup> William More (2002)

## Transmisión de la fuerza del viento<sup>1</sup>

Las distintas partes del árbol se optimizan en función de las tensiones mecánicas de maneras ingeniosas y variadas a fin de minimizar los riesgos de ruptura,

La Zona I, la parte del árbol que capta la fuerza del viento, es destinada para disipar, en la medida de que sea posible, la fuerza del viento: las ramificaciones de la Zona I están compuestas de madera conocida como “juvenil”, una madera más flexible que la madera llamada “adulta” formada con la edad y característica de las Zonas II, III y IV. Por otra parte, el hecho simple de que las ramificaciones de la Zona I sean de poco diámetro las hace más flexibles. La flexibilidad de las ramas de la Zona I les permite alinearse en la dirección del viento reduciendo así el efecto del brazo de palanca y los momentos de flexión activos sobre los puntos de anclaje.

De cualquier manera, la fuerza del viento está atrapada en gran parte por la Zona I. Esta fuerza se transmite al suelo pasando por las Zonas II, III, IV y V. A partir de la Zona I, siguiendo la dirección del cuello, la tensión ejercida por las fuerzas aumenta en la medida que el flujo de fuerza se encuentran en la intersección de las ramificaciones. En el cuello, el flujo es máximo y se redistribuye hacia la Zona VI. En la Zona VI la fuerza del viento se transmite al suelo y la tensión disminuye en la medida que la Zona VI se aleja del cuello del árbol.

## Estabilidad frente al vuelco.

El análisis de cargas que comprenden la estática y estabilidad general del árbol frente al efecto vela del viento, es un análisis con muchas variables, que dependen de la forma, del tipo y de la salud del árbol. Para este tema dejamos un anexo al final del trabajo, que se extienden en este tema de la estática de los arboles.<sup>2</sup>

A su vez como dato para futuros estudios existe un grupo llamado Independen tree expert group. <<http://iteg-network.com/es/>> . Que posee un software de análisis de estabilidad<sup>3</sup>

*“El software de análisis de la estabilidad del arbolado TSE (Tree Stability Evaluation) es un programa para la evaluación de la estabilidad y de la seguridad frente a la fractura de los árboles mediante test de tracción. Con la ayuda del programa de cálculo TSE los datos recogidos por los sensores en el test de tracción se comparan con la carga del viento para obtener un coeficiente de seguridad del árbol correspondiente.*

*EL software TSE combina unos procesos de cálculo transparentes con una clara y fácil navegación que reduce al máximo la complejidad del análisis de datos provenientes de un test de tracción. A los expertos en árboles que usan este método, los resultados proporcionan una base clara y comprensible para definir y evaluar tanto la estabilidad del árbol (riesgo de vuelco) como la seguridad frente al riesgo de rotura”.*

---

<sup>1</sup> William More (2002)

<sup>2</sup> E. Brudi. (2001)

<sup>3</sup> <http://iteg-network.com/es/>

## VINCULACIONES Y SOPORTES

TABs // diseño, // Cargas soportadas.

La vinculación y agarre con el árbol es de vital importancia ya que no solo tiene que ser sólida y segura, sino que tiene que a su vez no dañar al árbol de manera tal que se vea comprometida su supervivencia. La bibliografía estudiada plantea diferentes tipos de agarre.

**1 - Cuerdas y cables:** Es el tipo de agarre más simple y tradicional, mediante el cual se enlazan las ramas y tronco del árbol a la estructura de la construcción, pudiendo colgar la misma como un péndulo y/o generar puntos de agarre adicionales.



Imagen de internet: <<http://kharkovski.blogspot.com.uy/2012/03/backyard-zip-line-project.html>>

Este método genera varias complicaciones para los arboles ya que el cable termina con el tiempo insertándose en el árbol a medida que este crece. De alguna manera ahorcándolo, impidiendo el libre flujo de savia a través de las capas más superficiales. Una alternativa es agrandar la superficie alrededor del árbol con con correas o tiras mas anchas, sin embargo estas deberán ser continuamente revisadas y ajustadas.

**2 - Tornillos de agarre:** El otro método mas simple seria clavar al árbol los elementos estructurales que queremos utilizar. Por medio de tornillos o bulones de diferentes tamaños podemos vincular vigas de madera. Todo esto lógicamente daña al árbol

Ciertas situaciones formarán un compartimiento indeseable y potencialmente peligroso. Pernos, clavos o tornillos que se colocan juntos en el árbol es el problema más común. El árbol puede tratar toda la zona como dañada y formar un compartimiento grande, así después de unos años la zona a la que el soporte se fija va a morir y perder mucha de su fuerza.

Si se utiliza un único perno, se formará un compartimiento inmediatamente alrededor del mismo, porque el propio agujero es un área dañada. Si se forma el compartimiento correctamente, el árbol volverá a estar a salvo de la infección en ese punto y el perno será sólido.

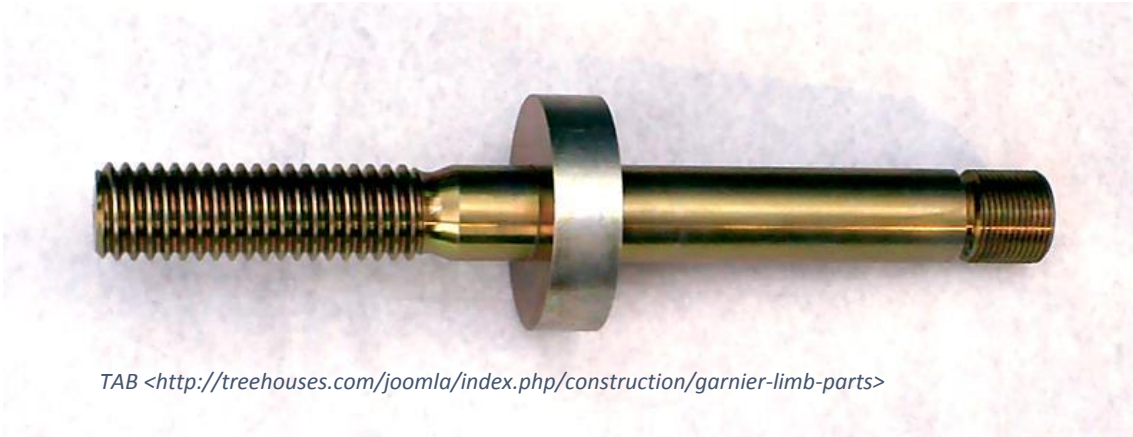
Actualmente la mas aceptada forma de vinculación a los arboles se hace mediante los llamados TABs, (treehouse attachment bolt). Los cuales son parte de este estudio.



## TABs:

Se trata de grandes pernos de agarre diseñados específicamente para su uso en la construcción de casas en árbol.

Tienen una primera parte roscada que se atornilla al árbol, luego un reborde ancho para repartir la carga sobre un área más amplia. Cuanto mas amplio es este cilindro mas carga puede repartir en la madera. Pueden sostener cargas de 800 kg<sup>1</sup> o más. Se utilizan separando la estructura que soportara de la superficie del árbol. Esto permite que el mismo siga creciendo hacia el exterior, sin que las vigas o tirantes se interpongan en su camino.



TAB <<http://treehouses.com/joomla/index.php/construction/garnier-limb-parts>>



<<http://www.thefabricator.com/article/cuttingweldprep/metal-fab-fortifies-tv-tree-houses>>  
The FABRICATOR: Revista norteamericana sobre el desarrollo de la industria del metal.

---

<sup>1</sup> Michael garnier <<http://treehouses.com/joomla/index.php/construction/garnier-limb>>

## INSTALACIÓN

En primer lugar para ubicar nuestros Tabs tendremos que marcar su nivel respectivo y posicionarlos por ejemplo a la misma altura, para que nuestras vigas descansen horizontales. Para esto utilizaremos un nivel de manguera. Este nos permite rodear árboles y marcar con total precisión las alturas respectivas.

En segundo lugar una vez que tenemos nuestros niveles, podemos hacer el replanteo de la estructura que descansará sobre los Tabs. Atando cuerdas entre los diferentes arboles trazamos las direcciones y los ángulos entre los tirantes.



Arriba, replanteo. Fuente :Instructables

<<http://www.instructables.com/id/Treehouse-Hardware-Series-Tree-Attachment-Bolt-TAB/step4/Bolt-Locations/>>

En tercer lugar tiene igual importancia la dirección en la cual se atornilla el perno, ya que si queremos por ejemplo un ángulo de 90 grados entre dos tirantes de madera, el Tab deberá tener esta dirección también. Para la colocación en si misma necesitamos un taladro con las mechas adecuadas según el diámetro y longitud de nuestro perno. Necesitamos también un nivel de burbuja para nivelar el taladro cuando estemos haciendo el agujero, de lo contrario este quedara desviado y nuestro Tab dejara de ser un apoyo horizontal, o no quedara en la dirección que nosotros necesitamos para el resto de la estructura.



Hueco en árbol previa colocación del TAB.

Pete Nelson <<https://store.beinatree.com/products/auger-bit-1-x-18>>

Por último, se enrosca el TAB con cuidado tratando de mantener su horizontalidad. Cuanto más insertado este dentro del árbol más apretado estará y serán necesarias herramientas para ejercer palanca y terminar el trabajo.



Enrosco de TAB

<<http://www.instructables.com/id/Treehouse-Hardware-Series-Tree-Attachment-Bolt-TAB/step7/Attach-TABs/>>

**Importante:** Como los árboles son un sistema vascular gigante que toma nutrientes y agua del suelo y los eleva hasta las ramas, existe una determinada cantidad de presión dentro del árbol. Esto causará que haya un goteo y sudoración dentro de nuestro agujero por lo cual es recomendable insertar el TAB en una ventana no mayor a dos horas luego de taladrado el agujero. Después de este tiempo será cada vez más difícil su atornillado e inserción.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <http://www.instructables.com/id/Treehouse-Hardware-Series-Tree-Attachment-Bolt-TAB/step7/Attach-TABs/>

En si lo que se logra es tener un brazo o rama artificial de metal entorno a la cual el árbol puede **continuar creciendo** y solidificando su unión. Nos da un apoyo horizontal firme al cual podemos conectar los tirantes de diferentes maneras



TAB en árbol luego de años de crecimiento.

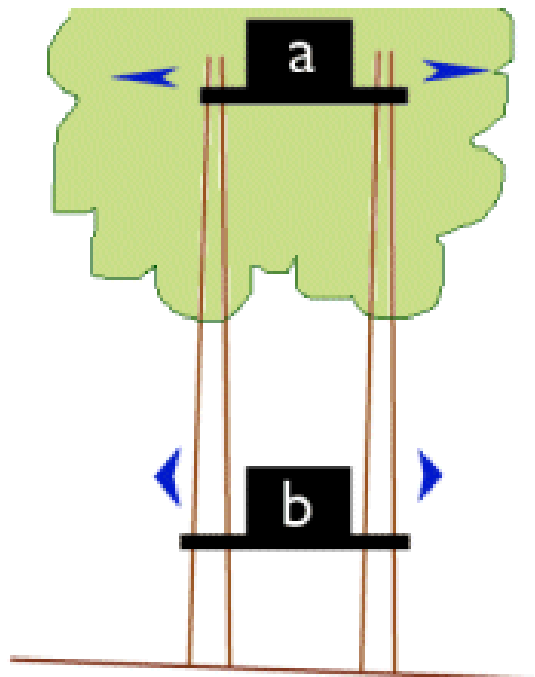
<http://www.les-cabanes.com/forum-cabane/garnier-limb-etrier-t1353.html>

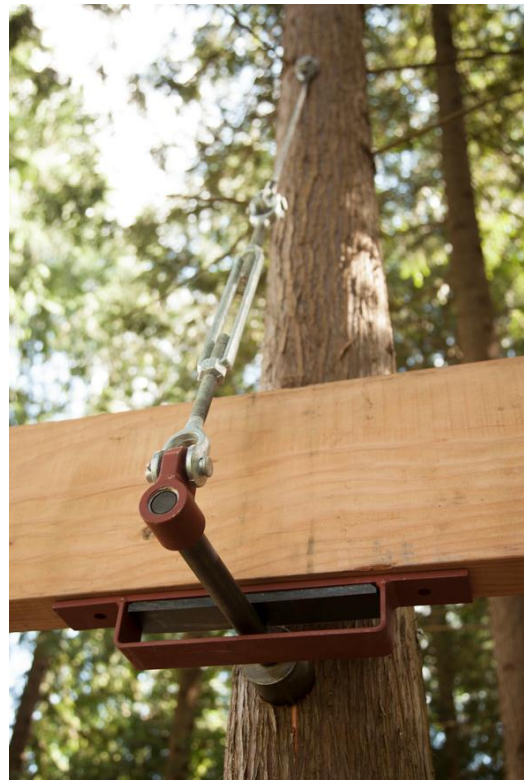
## ESTATICA

Los arboles como soporte tienen la particularidad de que se balancean y mueven con el viento. Cuanto más cerca de la copa el movimiento es mayor y más cerca de la base es menor. Sin embargo aunque este tenga un balanceo de unos pocos centímetros, la fuerza que ejercen es tal que pueden destruir vínculos fijos adosados a él.

## ANCLAJE DESLIZANTE

Cuando la estructura de una vivienda está sujeta a más de un árbol o rama, para mantener su integridad es necesario que uno de los puntos de apoyo, sea deslizante. Esto significa que se comporte como un carrito, transmitiendo solo cargas verticales y permitiendo el movimiento natural del árbol.





*Anclaje deslizante. (Michael Garnier Out'n'About Treesort, <<http://treehouses.com/joomla/LLC>> (2012)*



*Yellow Treehouse Restaurant, Auckland, Nueva Zelanda*



2 arboles



Instructables. Dustinfeider. San Francisco, Bay area- EEUU





© Nelson Treehouse and Supply

Pete Nelson, (Treehousemasters) Pennsylvania - EEUU



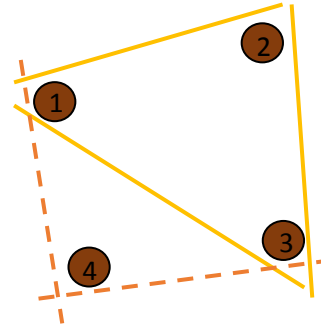
## DISEÑO PARA PROYECTO DE ESTUDIO

Las opciones dentro del diseño y árboles a elegir son variadas.

Las casas adosadas a un solo árbol limitan el tamaño de la construcción y el estudio de los vínculos a esta particularidad, así mismo necesitan de especímenes muy grandes que escasean en nuestro país.

Por otro lado tres o más árboles permitirían una cantidad de apoyos ideal para realizar una construcción de porte, con mayores cargas y con una correcta distribución de las mismas. Ampliando la base se logra mejorar la estabilidad del conjunto.

A pesar de esto para realizar el proyecto elegimos la vinculación a **dos árboles** ya que es una escala mediana y nos permite estudiar los vínculos TABs en forma sencilla. Limitando la cantidad de variables a un número acotado.

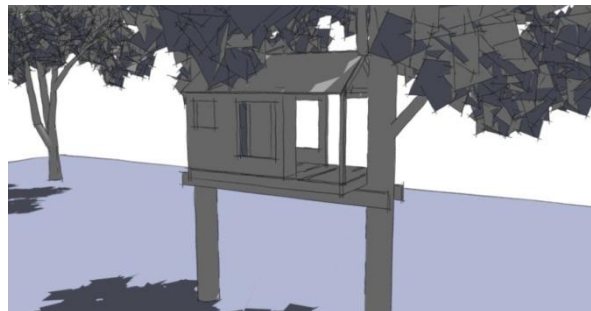


Por otro lado este diseño presenta fuertes solicitaciones frente al viento ya que la base esta limitada en su ancho por el diámetro de los troncos a partir de los cuales no es posible extenderse mucho más. Esta desproporción frente a la altura es la que aumenta el efecto vela del viento, el cual podemos calcular y estudiar como una carga eventual.

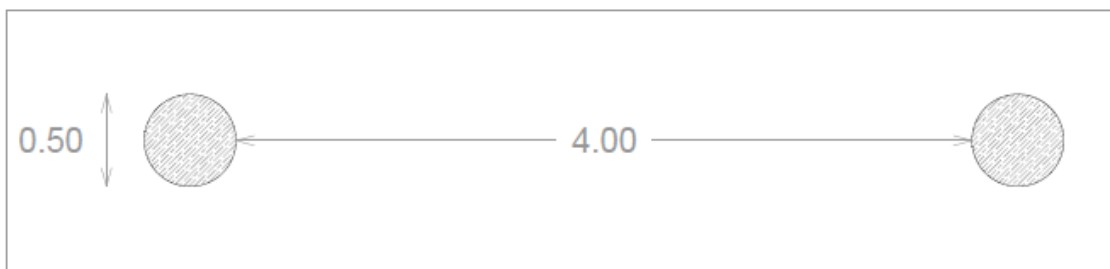
Etapas de la construcción.

### 1 – Elección de la zona y tipo de árbol.

Elegimos una zona boscosa dentro de la faja costera. Relativamente cerca del océano lo cual nos permitirá suponer vientos mayores.



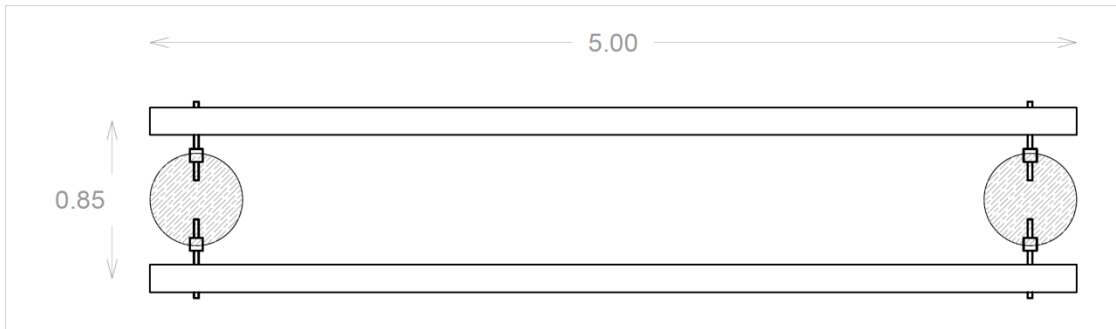
Tomamos dos árboles previamente avalados por un técnico arborista o idóneo que nos asegure su salud, solidez y vitalidad. Suponemos para este ejemplo que estén distanciados 4 m entre si y cada uno con un diámetro de tronco de 50 cm. Lo cual es adecuado para los especímenes del país.



## 2 – Vinculación y armado de plataforma.

Para determinar las cargas que permitan dimensionar el vínculo con el árbol y verificar la viabilidad del proyecto se hace un pre dimensionado.

Se fijan dos tirantes a los costados mediante uniones tipo TAB, dejando 10 cm aprox. (según especie y tipo de crecimiento anual entre estos y el árbol para permitir su crecimiento y balanceo.

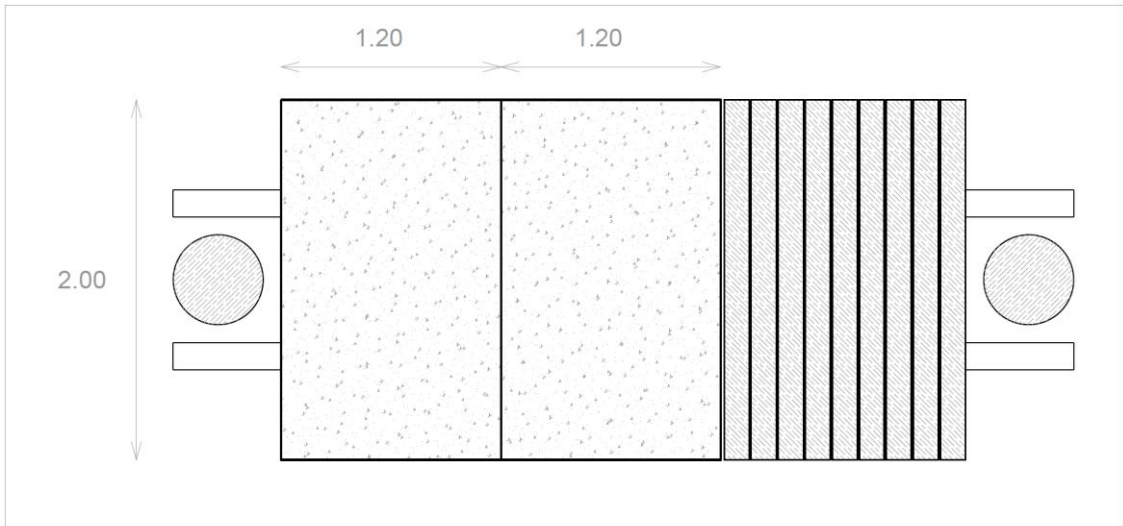


No todos los anclajes deben ser móviles. Al contrario, tener un punto fijo es necesario y suficiente. De lo contrario toda la estructura se estaría moviendo de lado a lado. Un vínculo fijo al mayor de los arboles es lo que necesitamos y un vínculo deslizante en el menor de ellos, el cual amortigüe los movimientos de ambos árboles.

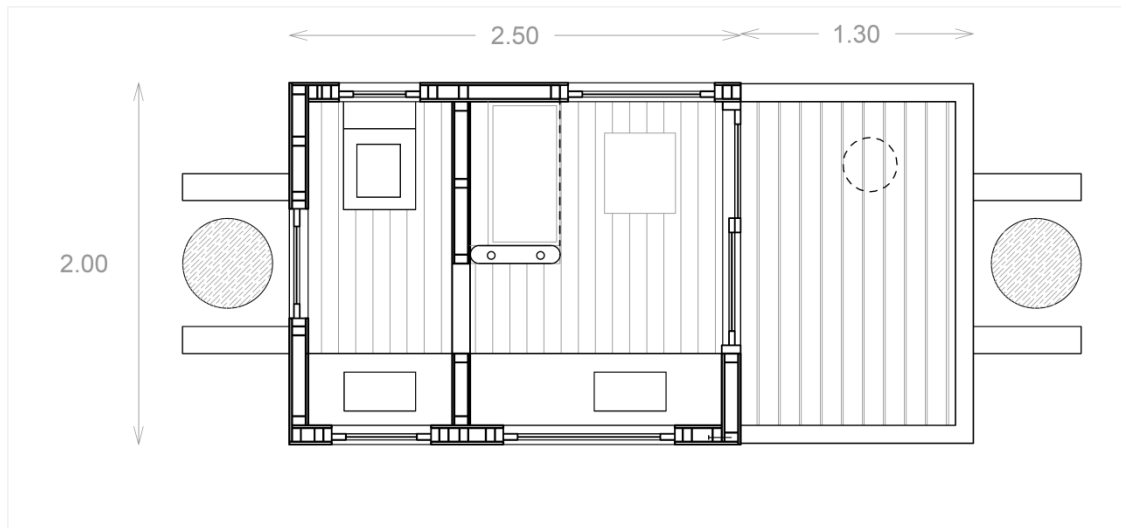
La plataforma y los tirantes estructurales serán un todo unificado y se moverán en conjunto. Lo que queremos es que la misma permita el movimiento de los árboles, y que las enormes fuerzas ejercidas no se trasladen a la estructura.



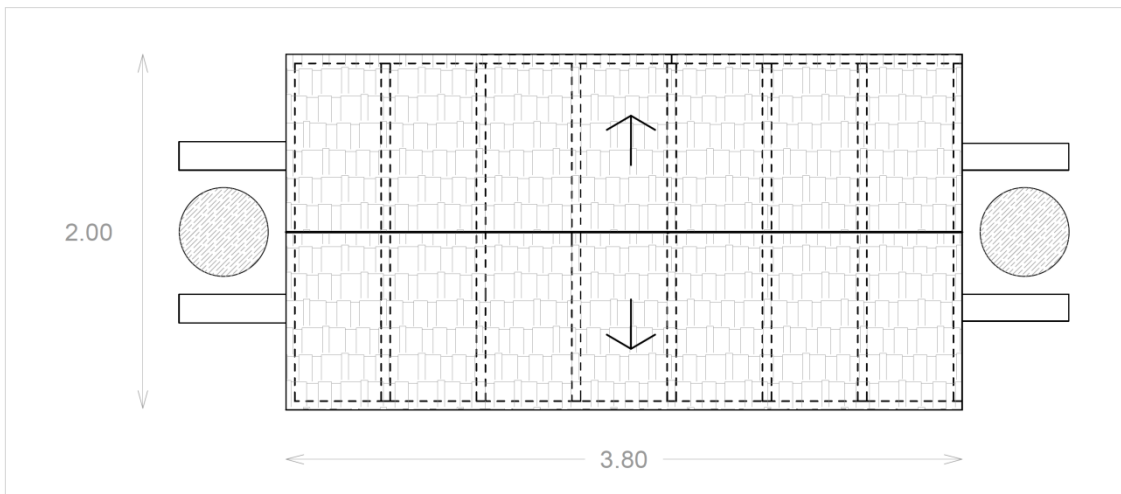
Armado de plataforma de 2 x 3,8 m con estructura de tirantería cada 50 cm y arriostrado con paneles OSB de 2.5 cm espesor



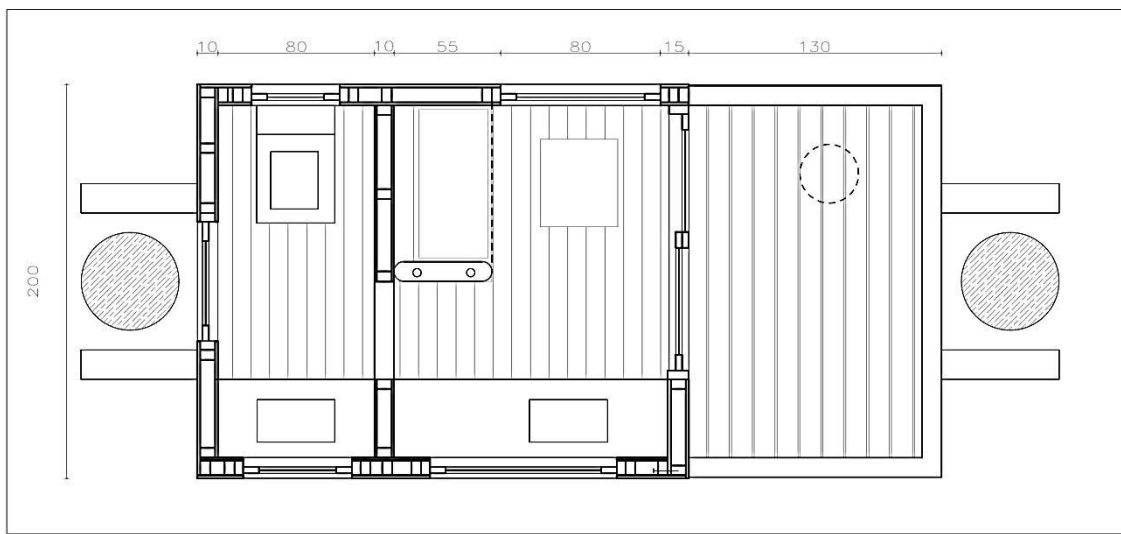
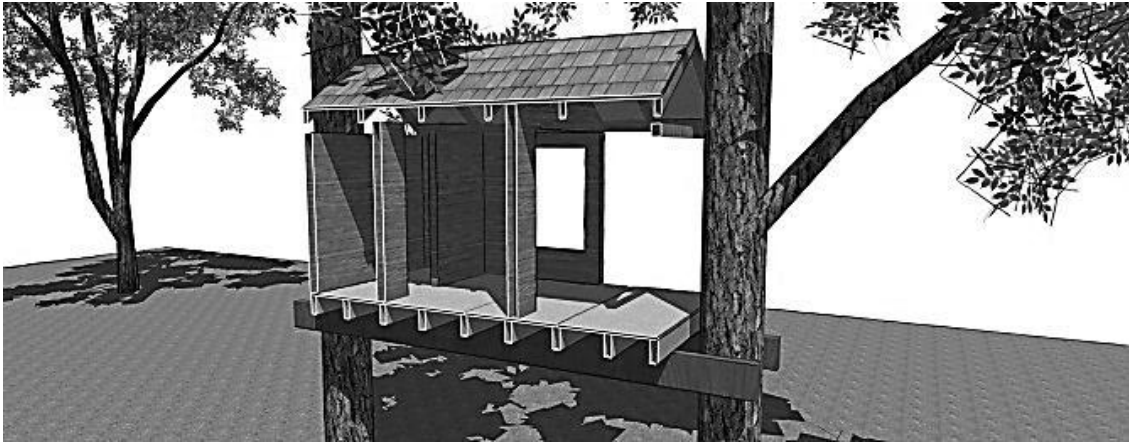
Paneles de OSB en piso interior. Tabla de deck en exterior 1x6"



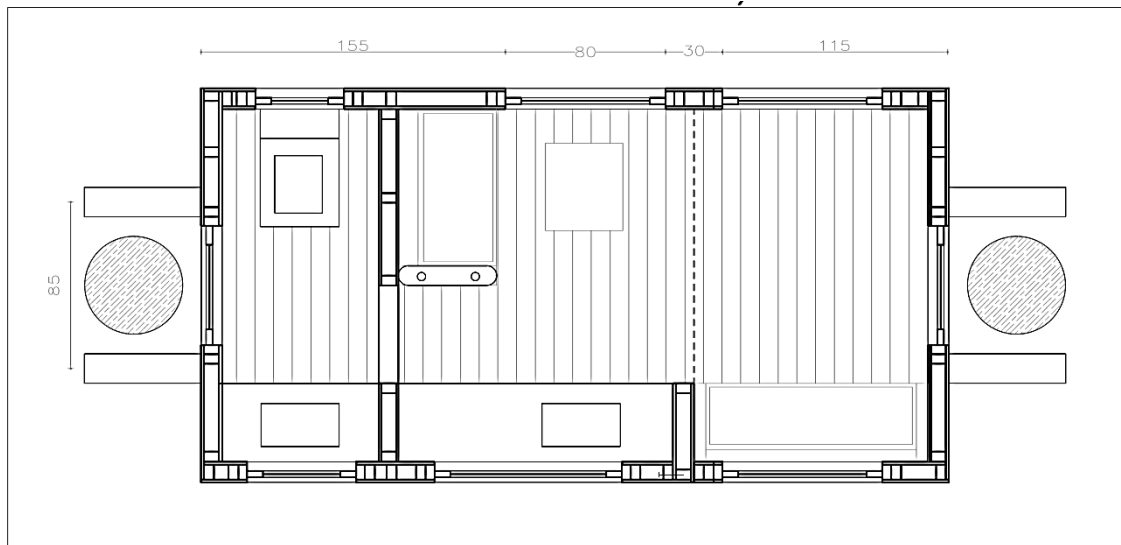
**3 - Proyecto** - Una vez consolidada a plataforma el resto de la construcción es tradicional con el levantamiento de paneles verticales



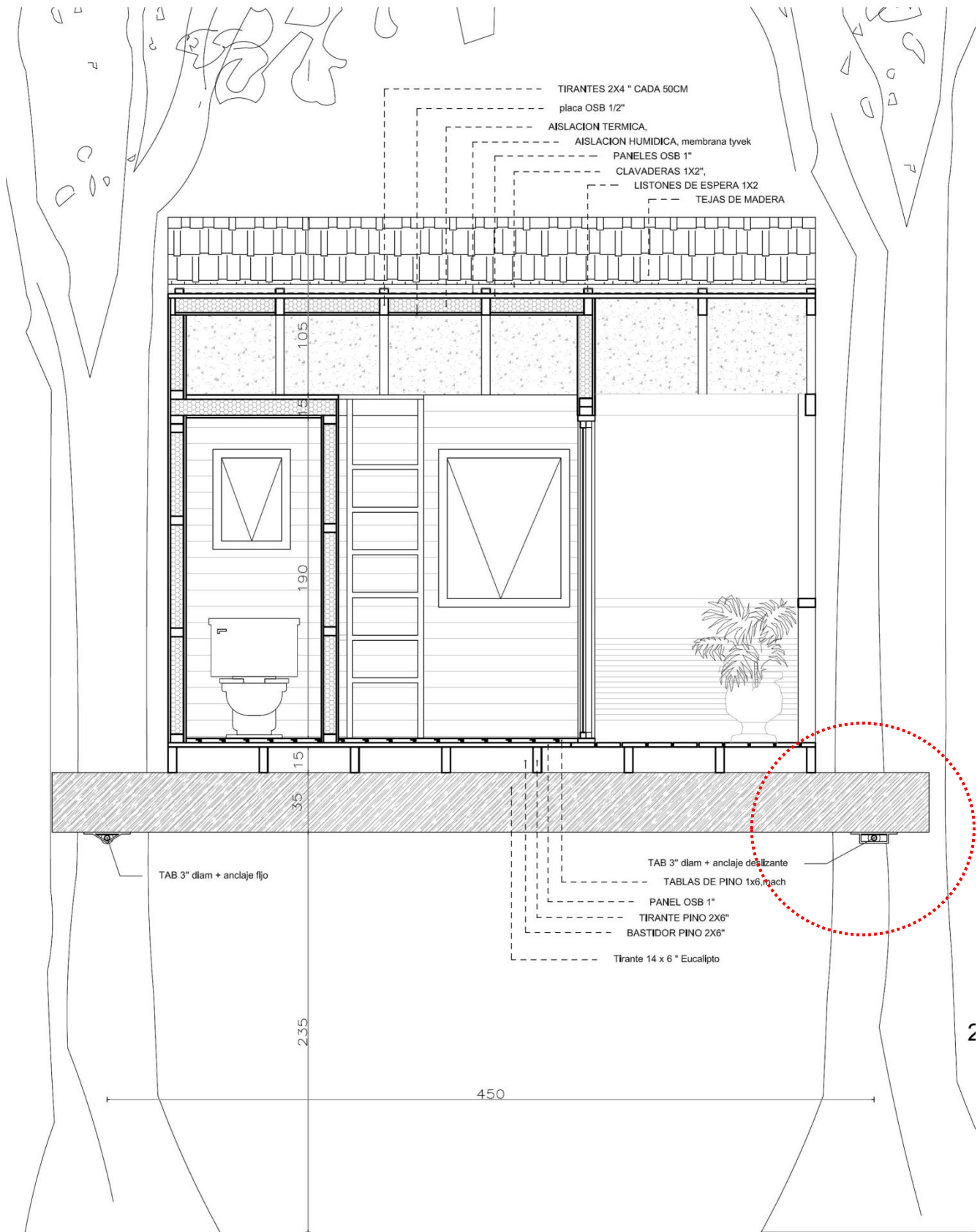
Planta de techo a dos aguas. Estructura de tirantería 2x4". Detalle...



*Avance de la vivienda en futura instancia.*

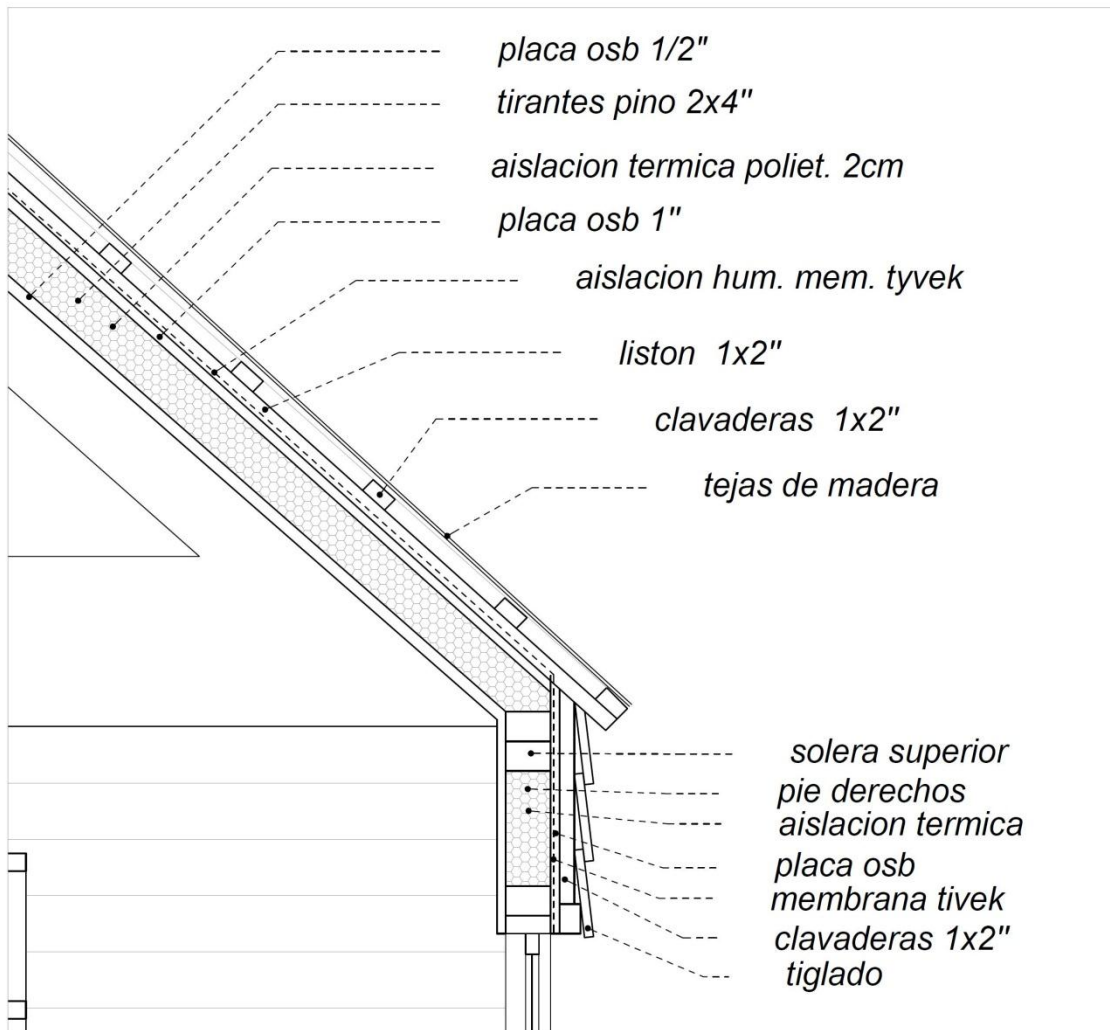


**CORTE LONGITUDINAL.**





## DETALLE TECHO

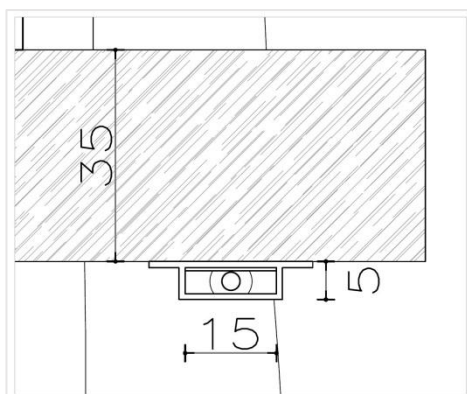


Una opción para la terminación de los paneles al lado exterior es tipo tinglado. Con las diferentes capas al interior del panel.

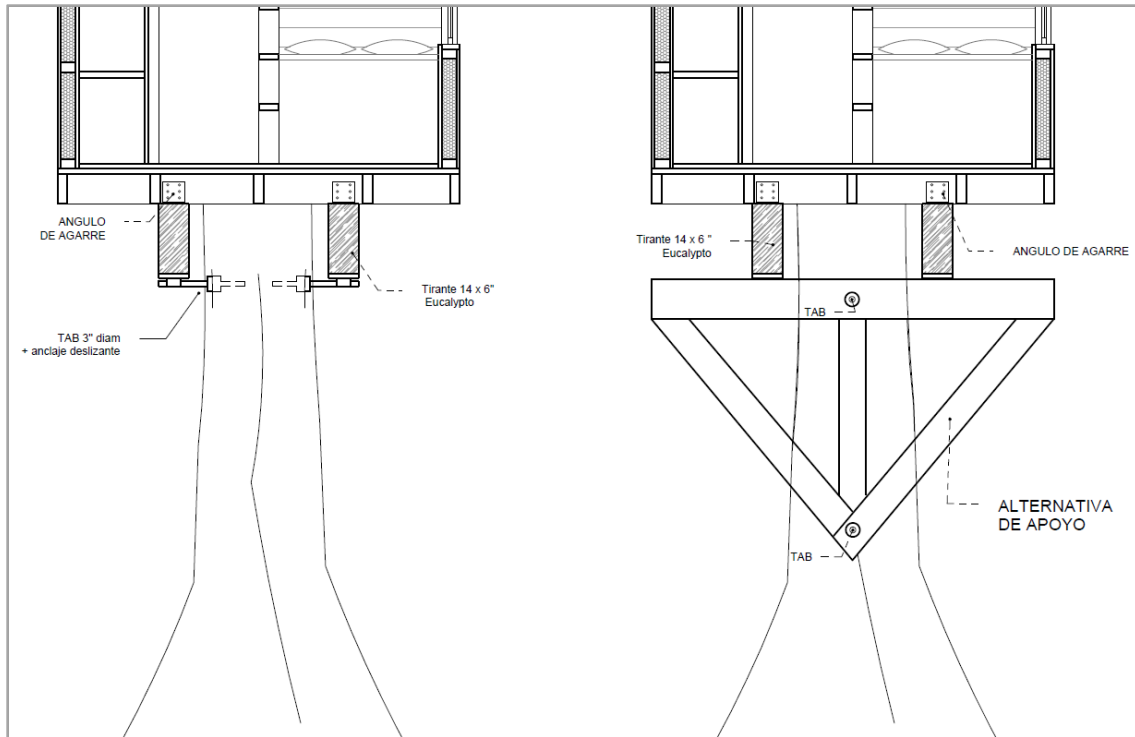
Para un refugio de este tamaño, las capas de aislación y el espesor de los paramentos verticales están un poco sobredimensionados. Sin embargo nos sirven para suponer una mayor carga y una eventual resolución para una construcción más grande.

Por ejemplo podríamos eliminar las placas exteriores de OSB (dejando las interiores que arriostran la estructura) y las clavaderas. Utilizando los pie derecho directamente como soporte de la membrana tyvek y del revestimiento exterior.

## DETALLE ANCLAJE DE DESLIZANTE

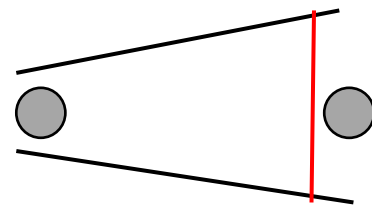


## Variante de apoyo.



Alternativa de apoyo mediante soporte en forma de triángulo. Permite Por un lado ampliar la base y por otro aumentar la resistencia al tener dos vínculos al árbol.

En la imagen vemos una mezcla de apoyos que dan soporte a la plataforma sobre la cual se podrá seguir la construcción más tradicional





## CALCULO

- **PESO PROPIO**

Peso específico pino = 550kg/m<sup>3</sup>

Peso específico OSB = 600kg/m<sup>3</sup>

### Plataforma base

\* 10 tirantes de 2x6 = 0.05x0.15x23.2= 0.174m<sup>3</sup> // 550x0.174 =**95.7kg**

\* Bastidores de 2x6 = 0.05 x 0.15 x 10.3 = 0.08 m<sup>3</sup> // 550x0.08 = **44kg**

\* Placas de OSB de 2.5cm = 8 x 0.025= 0.2m<sup>3</sup> // 600x0.2 = **120m<sup>3</sup>kg**

### Paneles verticales (simplificamos sin vanos) = mayor peso

\* 25 pie derecho de 2x3 cada 40cm, altura 2m = 0.05x0.0762x50 = 0,19 m<sup>3</sup>  
//550x0.19=**105kg**

\*Placas de OSB de 1.5cm ambas caras = 16ml x 2m altura x 0,015 = 0,48m<sup>3</sup>  
//600x0.48= **288kg**

\* Revestimiento exterior entablonado tipo tinglado = 16m<sup>2</sup>x0,025 = 0,4m<sup>3</sup>  
//550x0,4 = **220kg**

### Cubierta

\* techo a dos aguas, 16 tirantes de 2x4 = 22.4ml x 0.05x0.1= 0.11m<sup>3</sup>  
//550x0.11= **60.5kg**

\* Placas de OSB de 1.5cm exterior = 11m<sup>2</sup> x 0.015 = 0.165m<sup>3</sup>  
//600x0.165 = **99kg**

\*Placas OSB 0.8cm interior = 6m<sup>2</sup> x 0.008 = 0.048 m<sup>3</sup> //  
//600x0.048 = **29kg**

\* Tejas Landmark 11m<sup>2</sup> = **90kg**

### Sobrecargas de uso

Considerando las cargas aplicadas que comprenden el mobiliario, los artefactos, revestimientos eventuales y personas tomaremos  $150 \text{ kg/m}^2 = 1200 \text{ kg}$

Sub total =  $1151 \text{ kg} + 1200 \text{ kg} = 2351 \text{ kg}$

Para esta carga estructural y considerando la distancia entre árboles, tomaremos los dos tirantes principales de vinculación a la estructura de  $6 \times 14'' = 0.15 \times 0.35 \times 5 \text{ m} = 0.27 \text{ m}^3 // 0,27 \times 650 \text{ kg/m}^3 (\text{eucaliptus}) = 175 \text{ kg}$  cada uno

**TOTAL =  $2351 + 175 + 175 = 2701 \text{ kg} = 2647 \text{ daN}$**

- **ACCION DEL VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA**

Tomamos la situación más comprometida de la **vivienda ampliada**, ocupando toda la planta

$$F_v = A \times P$$

$F_v$  = fuerza ejercida por el viento

$A$  = área de resistencia a la acción del viento

$$= 8.55 \text{ pared} + 5.7/2 \text{ techo} = 11.4 \text{ m}^2 \text{ (tomo todo el vol. como un prisma)}$$

$P$  = presión del viento ( $\text{N/m}^2$ ) =  $P = (C_d \times \rho \times V^2) / 2$  (Formula básica)

$C_d$  = coeficiente de arrastre del objeto = 1.2 (superficie plana)

$\rho$  = densidad del aire seco =  $1.23 \text{ kg/m}^3$

$V$  = velocidad del viento max =  $43.9 \text{ m/s}$  (unit50-84)

$$P = (1.2 \times 1.23 \times 43.9^2) / 2 = 1422 \text{ N/m}^2$$

$$F_v = 1422 \times 11.4 = 16214 \text{ N} = 1622 \text{ daN}$$

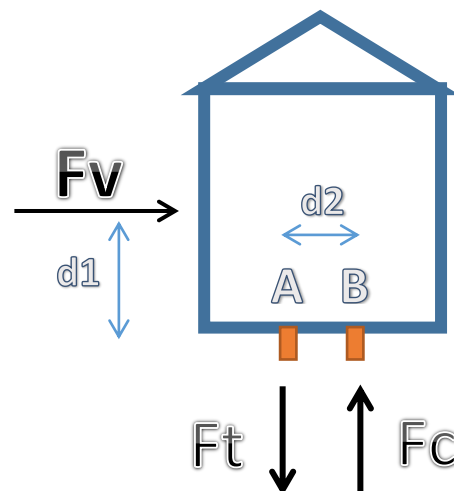
$F_v$  genera un momento de vuelco que se contrabalancea con un par de fuerzas iguales y contrarias, que flexan a los tirantes en direcciones opuestas.

$F_v$  resultante en punto medio =  $1.5 = d_1$

$$\overset{\curvearrowright}{M} = F \times d_1 = 1622 \times 1.5 = \overset{\curvearrowright}{2433}$$

$$\overset{\curvearrowright}{M} = F_c \times d_2 = F_c \times 0.85 = \overset{\curvearrowright}{2433}$$

$$F_c = 2433 / 0.85 = 2862 \text{ daN}$$

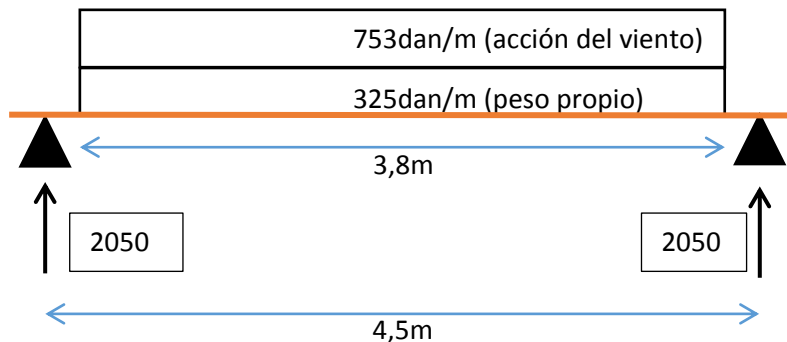


Simplificando los apoyos cada 50 cm: Sea  $F_c$  una carga uniformemente distribuida sobre el tirante B

$F_c = 2862 \text{ daN}$  = (para la vivienda ampliada)

Peso estructura en tirante B =  $(2351+175) / 2 = 1263\text{kg} = 1238 \text{ daN}$

Carga total al momento mas comprometido =  $1238 + 2862 = 4100 \text{ daN}$



#### ANALISIS DE CARGA PARA TABs

- TRANSMISION DE ESFUERZO VERTICAL - PARALELO A LAS FIBRAS.

Simplificando el estudio, suponemos que las cargas aplicadas están uniformemente distribuidas entre los dos árboles. Debemos comprobar que cada Tab en su momento mas comprometido puede soportar como carga máxima total (peso propio + sobre carga + viento) = **2050 daN**

El perno trabaja empotrado en el árbol. El equilibrio se logra mediante un momento  $M_t$  y una fuerza de reacción  $R_v$

Pretendemos que los tirantes estén a 10 cm del árbol para permitir su libre movimiento por lo que

$$M_f = F \times 10 \text{ cm} = 2050 \times 10 = 20500 \text{ dan cm}$$

El empotramiento del perno produce un momento mediante un par de fuerzas distanciadas  $Z$ .

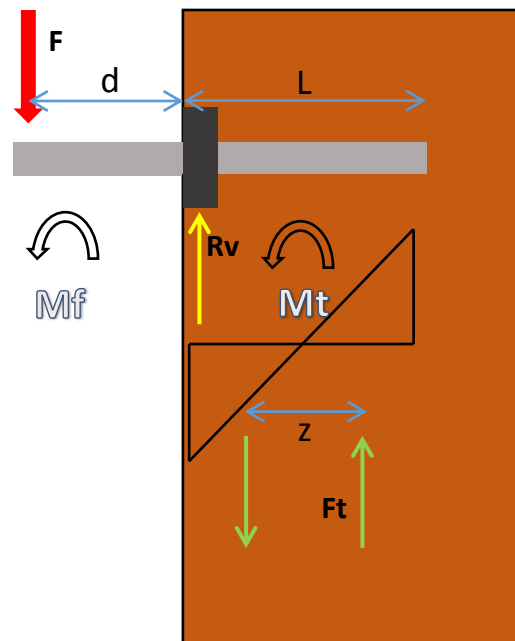
Sea  $L$  la profundidad del tab = 20 cm

$$Z = L/3 = 40/3 = 13,3 \text{ cm}$$

$$M_t = F_t \times Z$$

$$M_f = M_t \rightarrow 20500 = F_t \times Z$$

$$F_t = 20500/13.3 = 1541 \text{ daN}$$



Tomamos como ejemplo las propiedades del Pino marítimo en Uruguay para verificar los cálculos. Cuadro pagina 7 (Tuset, 1996). Nos interesa el dato de la resistencia al límite proporcional.

**Tensión adm. pino marítimo en compresión paralela a las fibras = 180kg/cm<sup>2</sup>**

Diámetro menor del tab = 2.54cm

Area del triángulo en el diagrama de fuerzas:

$$F_t = (L/2) \times (T_{max} \times diam/2)$$

$$1541 = 20/2 \times (T_{max} \times 2.54 / 2) \rightarrow 1541 \times 4 / 2.54 \times 20 = T_{max}$$

$$T_{max} = 6164/50.8 = 122 \text{ dan/cm}^2 = \mathbf{124\text{kg/cm}^2}$$

Las tensiones producidas por Rv se suman a las del momento Mt producidas contra la corteza y se restan de las producidas al interior del árbol. Por lo que :

$$R_v/\text{area} = \text{tensión} \rightarrow$$

$$R_v = 2050$$

$$\text{Area} = 20 \times 2.54$$

$$\text{Tensión} = 2050/50.8 = 40.35 \text{ dan/cm}^2 = 41 \text{ kg/cm}^2$$

$$124 + 41 = \mathbf{165 \text{ Kg/cm}^2} \text{ verifica}$$

- **ESFUERZO HORIZONTAL – PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.**

Fv = 1622 daN. Son cuatro tabs de los cuales dos son comprimidos hacia el árbol y dos son traccionados fuera de el. Despreciamos la resistencia de estos últimos. Por lo que:

$$1622 / 2 = 811 \text{ daN} = \mathbf{827\text{kg}}$$

**Tensión adm. pino marítimo en compresión perpendicular a las fibras = 21kg/cm<sup>2</sup>**

$$T = F / A \rightarrow 21 = 827 / \text{área de compresión del tab}$$

$$\text{Area de compresión del Tab} > 827 / 21 = 39.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area} = r^2 \times 3.14 = 3.5^2 \times 3.14 = 38.5 \text{ cm}^2$$

**38.5 < 39.3** → No verifica este valor. Habrá que aumentar el área de contacto o elegir otra especie arborea que presente mayor resistencia a la compresión en esta dirección.

### **Observaciones**

Está claro que existen otras tensiones dentro de los pernos que no fueron consideradas en este estudio, el cual pretende más que nada tener una idea general de la resistencia de los mismos y de corroborar su funcionalidad.

Nótese que no tomamos el área mas gruesa del Tab en los cálculos paralelo a la fibra, ya que en este caso es muy superficial, sobre la corteza. Cuanto más grueso sea este

borde y mas inserto dentro del árbol se encuentre, mayores cargas podrá transmitir a la madera. Con el pasar del tiempo y del crecimiento del árbol, esta mayor superficie quedara apoyada sobre el duramen, solidificando la unión y aumentando su resistencia.

Vale la pena mencionar que el cálculo de la fuerza del viento fue tomado en su mayor expresión posible, sin ningún tipo de atenuantes que el terreno y el entorno usualmente genera. En una zona boscosa las velocidades máximas de cálculo disminuyen significativamente. Por lo que la sección de los tabs se reduciría acordeamente.

## **CONCLUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES**

Del estudio se desprenden algunas conclusiones.

En primer lugar el efecto el viento sobre la estructura es determinante del proyecto. Tanto en su locación geográfica como la disposición en el árbol, Mayor altura de la estructura implica mayor viento y movimiento en la copa provocando mayor oscilación y arboles mas inseguros.

A su vez podemos decir que el viento puede llegar a duplicar las cargas de los vínculos en los arboles por lo que estos deben ser dimensionados en base a estos datos.

Si se pretende realizar una construcción grande y segura que dure en el tiempo. La elección del tipo y edad del árbol es necesaria y debe documentarla un técnico arborista que conozca su salud general.

Es necesario permitir el libre crecimiento y movimiento de los árboles, esto se logra separando la estructura del tronco, de su crecimiento anual. Y realizando vínculos móviles.

El contacto con la naturaleza es siempre trascendente e inspirador, este trabajo pretende entre otras cosas continuar ampliando los limites dentro de las formas de habitar y seguir generando vínculos con la naturaleza y el ambiente que nos rodea.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **LIBROS Y ARTICULOS**

Philip Jodideo. Tree houses. Taschen. (2014) ISBN 978-3-8365-2665-4

Fritz Alexander – La construcción de vivienda en madera. – Katia Berdichewsky – Corporación chilena de la madera. ISBN 956 -8398-00-7.

Rinaldo Tuset. Manual de maderas comerciales, Vol. 2 (2008) ISBN: 978-9974-674-07-3

Reinaldo Tuset. Investigación sobre la madera de pino marítimo. Udelar. (1996) ISBN 9974-0-0043-2

Ricardo Carrere. Desarrollo Forestal y Medio Ambiente en el Uruguay : 7 el bosque natural uruguayo: utilización tradicional y usos alternativos (1990)

Alex L. Shigo. Compartmentalization of decay in trees. Servicio forestal. Departamento de Agricultura de Los EEUU

E. Bruni. Conferencia sobre biomecánica de la ISA . Estática de los árboles (2001)

William More. Arbres et sciences numero 8 hiver 2002/03- volume II

### **INTERNET**

#### **Pag web:**

Michael Garnier. Out'n'About Treesort. ( En línea) < <http://treehouses.com/joomla/> >

Dendros. Árboles. (En línea)

< <http://arboles-dendros.blogspot.com.uy/p/la-nueva-arboricultura.html> >

Patrick Fulton. The treehouse guide. < <http://thetreehouseguide.com/building.htm> >

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Documento Básico, SE-M

< <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-M.pdf> >

Horacio Calleros. Tecnología de la madera.

< <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/bosques/nuestros-arboles> >

Grupo Guayubira. < <http://www.guayubira.org.uy/monte/Ciedur7iii.html> >

Dustin feider.

< <http://www.instructables.com/id/Treehouse-Hardware-Series-Tree-Attachment-Bolt-TAB/> >

IMM. Departamento de cultura < <http://jardinbotanico.montevideo.gub.uy/> >

ISA. Trees are good. < <http://www.treesaregood.org/treeowner/treeownerinformation.aspx> >

Christopher J. Earle. The Gymnosperm Database. < <http://www.conifers.org/cu/Sequoia.php> >

#### **Videos y Links interesantes.**

<https://www.youtube.com/user/Nelsontreehouse>

<https://www.youtube.com/user/TreehouseSupplies>

[https://www.youtube.com/watch?v=3CUI\\_0rsXts](https://www.youtube.com/watch?v=3CUI_0rsXts)

<https://www.youtube.com/watch?v=i9F1nWcHq9s>

<https://www.youtube.com/watch?v=3fN87hFFQmo>

<http://iteg-network.com/es/>



*Modelo 3d del refugio estudiado*





*Variante de tres arboles*





## ANEXOS

## **ESTATICA DE LOS ÁRBOLES- Introducción.**

Los árboles en el medio urbano están expuestos a múltiples tensiones: deshielo, sales, tráfico, vibración, compactación del suelo, polvo, reverberación solar (del asfalto o de los edificios). Los sistemas radiculares están limitados por la falta de espacio, los suelos poco profundos o las excavaciones por obras.

Las podas inadecuadas no sólo pudren el sistema radicular, sino que dañan también la madera del tronco aumentando las probabilidades de fractura y caída. Se han desarrollado diversos métodos para la inspección de los árboles con el objeto de minimizar el peligro. La mayor parte de estos métodos se centran en las paredes residuales del tronco, descuidando las propiedades del material así como las cargas que ocurren durante las tormentas.

En contraposición a los métodos tradicionales por perforación, este documento presenta un enfoque desde el punto de vista de la ingeniería respecto al problema de la evaluación de la seguridad de los árboles.

El término “Estática de los Árboles” se creó a comienzos de los años 80, cuando el Dr. Wessolly, ingeniero que lideraba el proyecto “Construcciones ligeras en la Naturaleza” en la Universidad de Stuttgart, y el Sr. Sinn, arquitecto paisajista, estaban trabajando en un método que permitiese determinar la seguridad de los árboles causando el menor daño posible.

Hoy, quince años más tarde, un grupo de 25 expertos arboristas de distintos países europeos, están utilizando el Elasto-Inclinómetro fruto del trabajo de investigación del Sr. Wessolly y Sr. Sinn.

Tras realizar sobre diversos árboles más de 3000 pruebas de carga, se analizaron y compilaron los datos. Como resultado se comprobó que arboristas provistos con tan sólo un altímetro y un metro eran capaces de obtener rápidamente información sobre el estado estructural del árbol.

### **0.1 ¿Qué es la estática?.**

Definición:

*“Rama de la mecánica referente al mantenimiento del equilibrio de los cuerpos en la interacción de las fuerzas ejercidas sobre los mismos. Incorpora el estudio del centro de gravedad y el momento de inercia. En un estado de equilibrio todas las fuerzas actuando sobre un cuerpo se “contrabilan” por fuerzas iguales y opuestas, manteniendo por tanto el cuerpo en reposo. Los principios de estática se aplican ampliamente en el diseño, en la construcción de edificios y maquinaria”.*

Los árboles solitarios ramificados desde la base, tienen más carga estática durante un vendaval. Las hojas, las ramas y ramillas amortiguan la amplitud de oscilación mientras que los árboles con tallos delgados y copas pequeñas están más expuestos a los balanceos, por lo que aumenta el riesgo de caída.

## 0.2 Estática de los árboles.

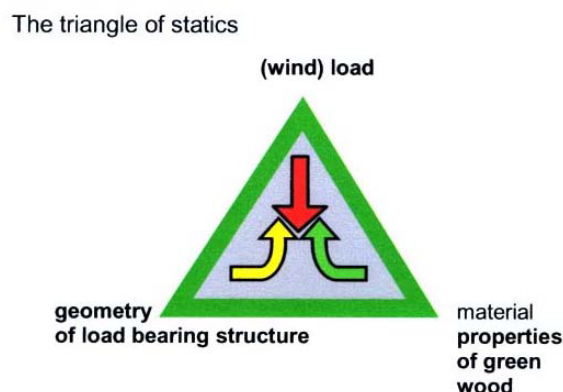
La estática de los árboles trata del riesgo de caída o ruptura del tronco, lo que indica el potencial de anclaje del sistema radicular.

Los árboles soportan las cargas de los vientos, la nieve, el hielo así como su propio peso. Cuanto más alto sea el árbol, mayor es el efecto vela, más cargas se desarrollarán durante una tormenta y se transmiten al tronco. A medida que el tronco se balancea, sus fibras periféricas extienden el lado de tensión y acortan el de compresión. Estas alteraciones en longitud pueden medirse mediante instrumentos muy sensibles denominados Elastómetros. El peso neto de todo el árbol es irrelevante ya que la fuerza de compresión de la madera verde es  $20 \text{ N/mm}^2$ .

Básicamente en la estática de los árboles la resistencia de un árbol para soportar la carga del viento se calcula teniendo en cuenta la forma de la estructura que aguanta la carga (tronco), las propiedades de la madera verde y las fuerzas que se aplican.

### Fig. 1.

El triángulo de la estática



(Viento) Carga.

Geometría de la estructura que lleva la carga.

Propiedades de la madera verde.

## 0.3 El triángulo de la estática

Si el impacto de la carga es alto, se requiere un material resistente, para evitar que se produzca la deformación.

La forma del material que lleva la carga ha de optimizarse. Si la carga es baja, el material no necesita ser fuerte y la estructura que lleva la carga, que en nuestro caso es el tronco, puede estar hueca.

La interacción de los tres componentes: carga o fuerza efectiva del viento, propiedades de los materiales y forma de la estructura que lleva la carga deben ser parte de un correcto cálculo de estabilidad.

Cuando se realice una perforación en el tronco para detectar el grosor residual de la pared, no debe olvidarse que sólo puede detectarse una pequeña parte de la geometría que lleva la carga; no se consideran las diferentes propiedades de los materiales ni el impacto de la carga.

En cada cálculo de seguridad es necesario estimar las cargas que confluyen. Aquí es obvio que unos cálculos de pared residual/diámetro no son suficientes ya que un árbol más pequeño y protegido puede soportar una cavidad interna mayor antes de caer. La determinación de la extensión de la podredumbre (pared residual) tiene solo sentido cuando se ha determinado primero el impacto de la carga.

### **1.0 Las cargas que actúan sobre los árboles**

El peso muerto de un árbol es insignificante ya que la madera puede resistir de media una carga de compresión de  $2 \text{ kN/cm}^2$ . Una superficie de tan sólo  $50 \text{ cm}^2$  puede soportar el peso de un árbol de 10 T.

El peso del hielo o la nieve suponen un mayor riesgo de fractura para las ramas que un breve vendaval ya que la madera verde al recibir una carga constante tiende a agrietarse.

En la estabilidad de un árbol los factores de mayor influencia en una tormenta son el viento y los vendavales. Los vientos suaves producen un constante balanceo que estimula la creación de madera de reacción.

Sin embargo el viento no está soplando constantemente, de hecho las corrientes de aire soplan, cambian de dirección y son capaces de estimular al árbol en su forma de alimentación natural dentro del balanceo, resultando en la formación de resonancias. En situaciones extremas puede ocurrir un colapso estructural. Estas dinámicas ocurren principalmente en bosques, árboles aislados o en árboles podados incorrectamente, como por ejemplo por la poda excesiva de las ramas bajas.

#### **1.1. La velocidad y la presión del viento dependen de varios factores:**

##### **- Situación geográfica**

La carga del viento no es igual en todos los sitios. Existen mapas eólicos para la estimación de la fuerza máxima del viento en un periodo de tiempo dado. Las estaciones meteorológicas cuentan con una extensa documentación de las direcciones dominantes del viento.

##### **- Situación topográfica**

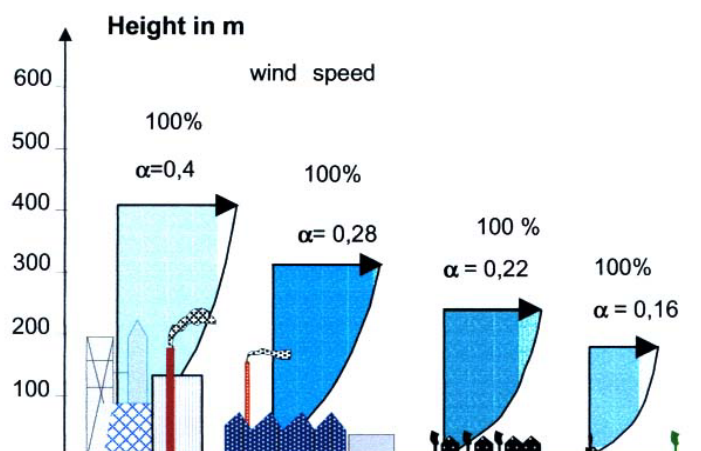
El segundo factor que influye en la velocidad del viento es la localización del árbol. Debe distinguirse claramente entre una zona plana, un lugar cercano al océano con probabilidad de vientos fuertes, un lugar al resguardo de una colina o a sotavento de una cadena montañosa.

##### **- La estación y las influencias meteorológicas**

Cuando hay bajas presiones la densidad del aire aumenta y la presión ejercida por el viento es mayor. Durante las tormentas otoñales, los árboles todavía pueden llegar a tener gran parte de sus hojas. Una combinación de ambos factores hará que exista una gran presión sobre la copa del árbol. Han de tenerse en cuenta estos factores para la inclusión de unas adecuadas medidas de seguridad.

**Fig. 2. Aumento de la velocidad del viento en altura respecto al del nivel del suelo.**

Ecuación de la capa de límites :  $U(z) u(g) = (h(z)/h(g))$



La rugosidad de la superficie influye en la velocidad del viento en altura. Los perfiles de viento de diversas topografías señalan que en áreas sin protección éste alcanza su máxima velocidad a una altura de unos 250 m. Áreas con superficies más rugosas, como las zonas suburbanas con edificios de una y dos alturas, causan turbulencias en las zonas adyacentes lo que produce un ralentizamiento de la velocidad de viento y un descenso de la presión de este sobre la copa. Cuanto más altos sean los edificios, más turbulencias se generan en las zonas adyacentes, ralentizando el flujo del aire. En una superficie extremadamente rugosa con edificios muy altos (como el centro de una ciudad) el viento alcanza su máxima velocidad sobre los 600 m. Consecuentemente, árboles en lugares abiertos o cerca del océano necesitan un tronco más grueso que aquellos localizados en zonas más abrigadas.

### 1.2. El efecto túnel

Aunque las topografías rugosas ralentizan la velocidad en las zonas adyacentes, los edificios altos con sus superficies lisas pueden causar un efecto túnel aumentando ostensiblemente la velocidad del viento. Así mismo debe considerarse el ángulo de deflexión y la proximidad de otros edificios con respecto a los vientos dominantes. Los árboles en estas áreas pueden estar expuestos a mayores fuerzas eólicas que en una localización abierta y desprotegida. Un análisis de cargas ha de tener estos factores en consideración y siempre ha de referirse a las condiciones individuales del lugar.

### 1.3. Velocidad del viento y presión.

Si la velocidad del viento aumenta al doble, la presión ejercida sobre la copa se multiplica por 4, según la siguiente fórmula:  $q = \rho/2 * u^2$

Donde:

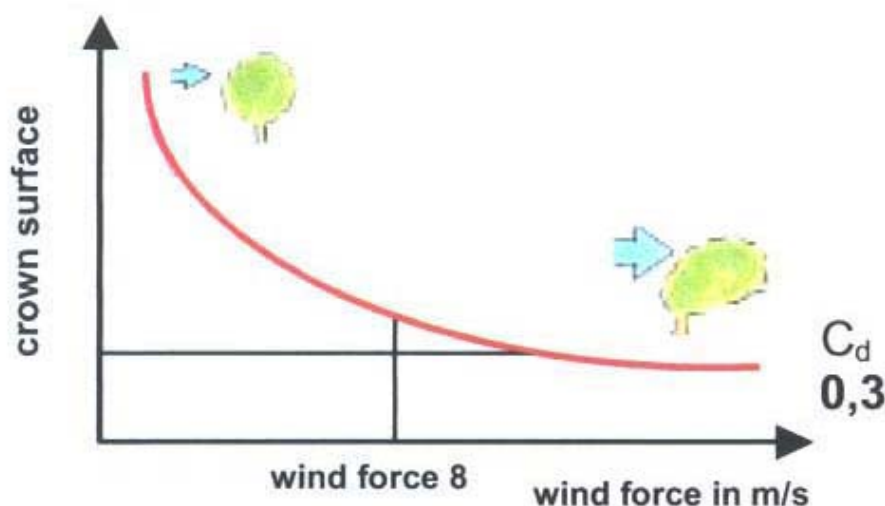
q= presión del viento

$\rho$ = densidad del aire.

u= velocidad del viento.

#### 1.4. Resistencia al viento de las copas de los árboles y el factor aerodinámico.

Fig. 35 de: Handbuch der Baumstatik, WESSOLLY 1998



Durante las tormentas las hojas y ramas de los árboles se doblan hacia atrás. La superficie expuesta al viento se reduce disminuyendo la entrada de energía al tronco y al sistema radicular.

En un proyecto de investigación realizado en la zona norte de Córcega (afectada por numerosas tormentas) se demostró que el factor aerodinámico (valor  $C_d$ ) de los robles descendió hasta 0,3.

Así mismo se vio que los árboles a una velocidad del viento de 40 mph (=fuerza del viento ocho acc. BEAUFORT) habían alcanzado su máximo punto de elasticidad y la superficie de exposición ya no se reducía más. En conclusión es importante al realizar los cálculos de estática incluir la resistencia de la copa al viento.

#### 1.5. Formas de crecimiento y el efecto palanca.

La velocidad del viento aumenta rápidamente con la altura. Esto nos lleva a deducir que los árboles de gran porte reciben durante los vendavales cargas superiores ya que cuentan con una mayor superficie expuesta a las altas velocidades del viento y por tanto la presión de este es muy superior. Los árboles de gran porte necesitan un diámetro de tronco mayor que los pequeños o en otras palabras: los árboles de gran porte necesitan unas paredes residuales más gruesas.

La eliminación de las ramas inferiores puede generar crecimiento de compensación, árboles más altos y por tanto más inseguros.

## **2.0 Propiedades de los materiales.**

### **2.1 Catálogo Stuttgart de dureza de la madera.**

Es obvio que las propiedades materiales de la madera verde y húmeda no son muy relevantes para el sector industrial. Por tanto existe una información muy limitada al respecto. (LAVERS). Para determinar y estudiar las propiedades de la madera, Wessolly y su equipo modificaron los métodos de análisis y reunieron todos los datos sobre árboles, disponibles en la unidad de arboricultura del concejo municipal.

El resultado fue el catalogo Stuttgart sobre la dureza de las maderas donde se estudiaron y determinaron las compresiones y las resistencias al corte o cizallamiento en todas las direcciones anatómicas.

Se descubrió que las propiedades de la madera verde varían desde 1,4 kN/cm<sup>2</sup> (Castaño de Indias, *Aesculus hippocastanum*) a 2,8 kN/cm<sup>2</sup> (Roble, *Quercus robur*). Muchas especies de árboles cuentan con unas fuerzas de compresión de 2,0 kN/cm<sup>2</sup>.

**Tab. 15 extraído de : Handbuch der Baumstatik, WESSOLY 1998.**

<b>Catálogo Stuttgart de la dureza de la madera –propiedades materiales de la madera verde</b>				
Especies	E-mod en Kn/cm <sup>2</sup>	Fuerza de compresión en kN/cm <sup>2</sup>	Límite de elasticidad en %	Valor Cw propuesto
<i>Abies alba</i>	950	1.5	0.16	0.20
<i>Acer pseudoplatanus</i>	850	2.5	0.29	0.25
<i>Acer negundo</i>	560	2	0.36	0.25
<i>Acer campestre</i>	600	2.55	0.43	0.25
<i>Acer saccharinum</i>	600	2	0.33	0.25
<i>Acer sacharum</i>	545	2	0.37	0.25
<i>Aesculus hippocast.</i>	525	1.4	0.27	0.35
<i>Ailanthus altísima</i>	640	1.6	0.25	0.15
<i>Betula pendula</i>	705	2.2	0.31	0.12
<i>Chamaecyparis law.</i>	735	2	0.27	0.20
<i>Cedrus deodara</i>	765	1.5	0.20	0.20
<i>Fagus sylvatica.</i>	850	2.25	0.26	0.25-0.30
<i>Alnus glutinosa</i>	800	2	0.25	0.25
<i>Fraxinus excelsior</i>	625	2.6	0.42	0.20
<i>Picea abies</i>	900	2.1	0.23	0.20
<i>Picea omorika</i>	900	1.6	0.18	0.20
<i>Carpinus betulus</i>	880	1.6	0.18	0.25
<i>Castanea sativa</i>	600	2.5	0.42	0.25
<i>Cercis siliquastrum</i>		1.5		0.20
<i>Larix decidua</i>	535	1.7	0.32	0.15
<i>Liriodendron tulipifera</i>	500	1.7	0.34	0.25
<i>Pinus pinaster</i>	850	1.8	0.21	0.20
<i>Pinus sylvestris</i>	580	1.7	0.29	0.15
<i>Platanus x hybr.</i>	625	2.7	0.43	0.25
<i>Populus x canescens</i>	605	2	0.33	0.2-0.25
<i>Populus nigra 'Italica'</i>	680	1.6	0.24	0.30
<i>Populus nigra</i>	652	2	0.31	0.2
<i>Populus alba</i>	640	2	0.31	0.2
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1000	2	0.20	0.20
<i>Pyrus communis</i>	580	1.7	0.29	0.30
<i>Quercus robur</i>	690	2.8	0.41	0.25
<i>Quercus rubra</i>	720	2	0.28	0.25
<i>Robinia pseudoacacia</i>	705	2	0.28	0.15
<i>Robinia monophy.</i>	520	2	0.38	0.15 - 0.20
<i>Salís alba</i>	775	1.6	0.21	0.20
<i>Salís alba 'Tristis'</i>	700	1.6	0.23	0.20
<i>Sequoiadendron gig.</i>	455	1.8	0.40	0.20
<i>Sophora japónica</i>	645	2	0.31	0.15
<i>Sorbus aria</i>	600	1.6	0.27	0.25
<i>Tilia x hollandica</i>	450	1.7	0.38	0.25
<i>Tilia euchlora</i>	700	1.75	0.25	0.25
<i>Tilia tomentosa</i>	835	2	0.24	0.25 - 0.30
<i>Tilia platiphyllos</i>	800	2	0.25	0.25
<i>Tilia cordata</i>	830	2	0.24	0.25
<i>Ulmus glabra</i>	570	2	0.35	0.25



## 2.2 Límite de elasticidad

*“El límite de elasticidad es la máxima tensión que un material puede soportar para después volver a su forma original. Según la ley de Hooke, la tensión creada en un material elástico es proporcional al esfuerzo, dentro del límite de elasticidad”.* (S.H.E. Parker, Simplified Mechanisms of Strength of Materials (rev. ed. 1961)

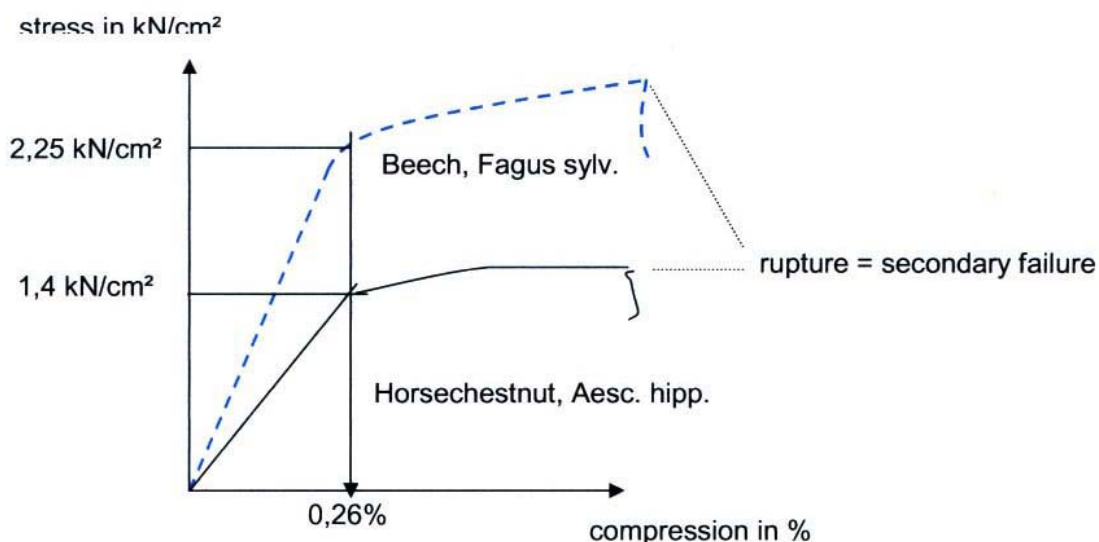
Cada material al igual que la madera tiene un límite de elasticidad que se encuentra definido como fuerza de compresión/módulos de elasticidad o fuerza dividida por el comportamiento elástico. Se descubrió que el valor elástico era muy constante en cada árbol. Si se supera ese límite las fibras permanecen deformadas, los ingenieros denominan a ese punto donde el material comienza a fisurarse como “ruptura primaria”. Si se aplica a una estructura ya deformada una tensión mayor, esta se romperá, aunque dependerá también de las propiedades del material. El punto de ruptura se denomina ruptura secundaria. El objetivo de los ingenieros es mantener al material en la zona lineal, intentando evitar el punto donde el material se deforma y comienza a romperse. Este principio se tiene en cuenta también con el Elastómetro. Al conocerse la elasticidad de las diversas especies de árboles de la Europa media, durante las pruebas solamente se tensa al árbol dentro de sus límites.

Los físicos que trabajan en el campo de la investigación de materiales se centran principalmente en el punto de ruptura.

Durante las pruebas de carga (Elasto-inclinómetro) se tensiona la madera del tronco dentro de sus límites (ver el Catálogo de fuerzas de Stuttgart), y por tanto sus fibras no se romperán.

Los troncos sanos son más rígidos que aquellos con delgadas paredes residuales. El método del Elastómetro permite medir la elasticidad de un tronco.

Fig. 4



Tensión en kN/cm<sup>2</sup>

Punto sin retorno, las fibras comienzan a romperse  
(deformación permanente)= Ruptura primaria

El límite elástico se define como la fuerza de ruptura dividida por el módulo de elasticidad. Se descubrió que el límite elástico a diferentes alturas del tronco es muy constante, independientemente de las propiedades materiales, que variaban significativamente de uno a otro.

### **3.0 Geometría del tronco.**

Las estructuras huecas no son necesariamente inseguras, el mástil de un barco moderno y la antena telescópica del coche son también estructuras huecas, diseñadas para aguantar un cierto grado de presión del viento. Para tener una estructura estable y ligera ha de encontrarse un punto óptimo entre la capacidad de carga y el grosor de la pared del material. La fuerza que soporta la carga se denomina módulo de sección. Expresado como  $M_{crsec} = d^3 \times \pi/32$ . Un breve ejemplo demuestra la influencia del diámetro del tronco como estructura que soporta la carga.

Un roble con un diámetro de 100 cm. ( $100^3 \times 3,1415/32 = 98.174,8 \text{ cm}^3$ ) tiene un valor de sección de resistencia a la fuerza de inclinación de 98.175. Un roble cercano más protegido cuenta tan solo con un diámetro de tronco de 75 cm y por tanto da un valor de sección de 41.416 ( $75^3 \times 3,1415.../32 = 41.416,26 \text{ cm}^3$ ). Los 25 cm de diferencia reducen a la mitad su nivel de seguridad. Los troncos gruesos son más seguros porque cuentan con mayor resistencia ante las fuerzas de inclinación y por tanto mayores recursos de seguridad.

Si los cálculos de pérdida de resistencia tienen una base puramente geométrica (Matheny; Clark) es importante tener como referencia la resistencia del tronco.

### **3.1 Crecimiento del diámetro y podredumbre por hongos.**

Si los árboles están sanos, su diámetro aumentará un poco anualmente. El aumento de diámetro incrementa la resistencia contra las tensiones de fractura incrementando los módulos de sección y favoreciendo la seguridad del árbol. Un aumento de 5 mm (0,2) de crecimiento radial puede compensar una cavidad en el centro del tronco de 30 cm. Especialmente si hablamos de árboles ejemplares es muy importante no alterar el frágil balance entre los elementos que causan la podredumbre en el interior de la madera y el crecimiento de la madera en la parte exterior del tronco.

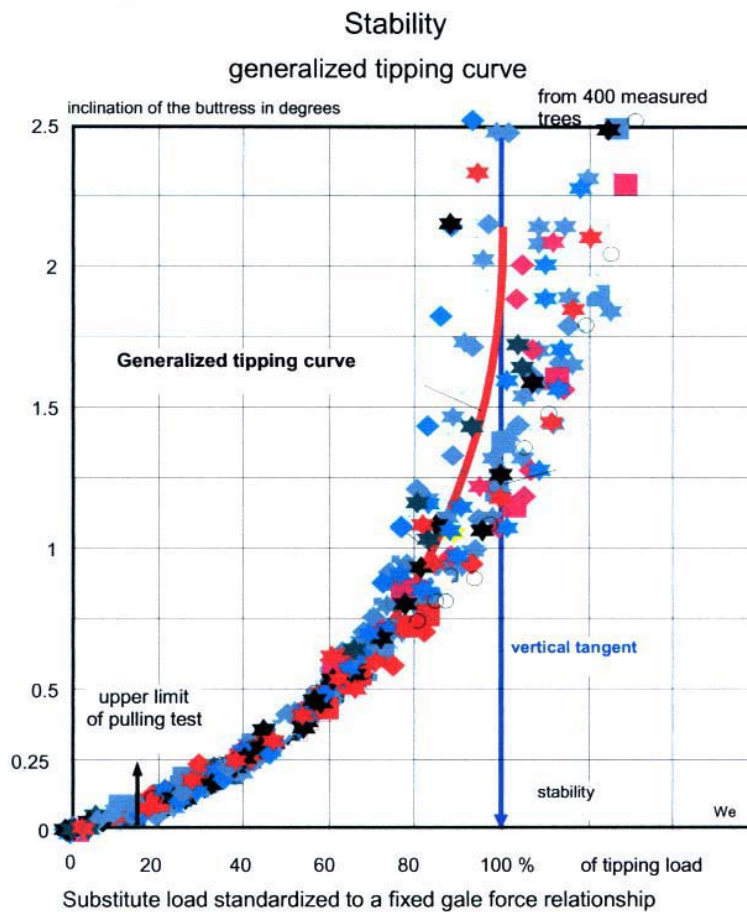
### **4.0 Riesgo de caída.**

Al principio los cálculos eran bastante complicados debido a las diversas fuerzas de cizalla de los diferentes tipos de suelos, sistemas radiculares y especies de árboles. Pero tras haber experimentado en más de 400 árboles se descubrió por casualidad que todas las curvas son similares. Se había encontrado una curva media de caída.

La curva media indica que la ruptura primaria del proceso de caída se alcanza entre los 2,5 a 4° de inclinación del tronco.

Por ejemplo a una inclinación del tronco de 2,5° un árbol puede estirarse hasta una inclinación de 45-60° sin aumentar la fuerza de estiramiento, antes de que el peso neto del árbol soporte el proceso de caída. Esto lleva a la conclusión de que si a un árbol se le estira hasta una posición de 0,25° ya se habrá alcanzado un 40% de la carga de caída. Por tanto es posible determinar la estabilidad midiendo la inclinación del tronco cerca de la base de las raíces. La influencia en la estabilidad del árbol de la podredumbre y la pérdida de raíces se pueden determinar empleando esta curva.

**Fig. 5. extraído del : Handbuch der Baumstatik, WESSOLLY 1998. Estabilidad, Curva general de caída.**



### 5.0 Análisis de cargas.

Para establecer el área de superficie de la copa, se toma una imagen digital. Otros factores que influyen son: la velocidad del viento, la densidad del aire a cierta temperatura, la rugosidad del terreno, el coeficiente aerodinámico, la altura del árbol y el diámetro del tronco.

$$\text{Fuerza del viento en el árbol: } F = f \times C_w \times \rho / 2 \times \sum u_z^2 \times \sum A(h_z).$$

$$\text{Momentos de caída/fractura } M_k = M_{b \max} = f \times C_w \times \rho / 2 \times \sum (u(z)^2 \times h(z) \times \sum A(h(z)))$$

## **6.0 Elasto-Inclinometro (pruebas de carga).**

El Elasto-Inclinometro permite determinar la seguridad en la fractura y la caída de un árbol al estirarlo mediante un cable de acero y una polea, registrando su reacción bajo una carga medible (Dinamómetro). El método sigue los principios estrictos empleados en ingeniería, incorporando la información de carga, propiedades de los materiales y la geometría portadora de carga en todos los cálculos sobre seguridad de los árboles.

### **Análisis de cargas.**

La velocidad del viento y las condiciones del lugar así como la flexibilidad de las ramas (comportamiento aerodinámico) en toda la área de exposición son factores importantes para los cálculos de seguridad.

El primer paso es tomar una foto de todo el árbol y digitalizarla para determinar la superficie de exposición que ha de resistir durante los vendavales. Los datos de las fuerzas de impacto y los momentos efectivos pueden extraerse de un modelo de ordenador que simula las fuerzas de viento que pueden ocurrir durante un vendaval de 32,5m/s (fuerza 12 acc. BEAUFORT). Simultáneamente los datos obtenidos de las pruebas de carga y los de detección de la sección del tronco, estos se ajustan y comparan con las cargas resultando en un factor de seguridad.

Los árboles deben de tener al menos un 100% de seguridad pero los ingenieros siempre tienden a calcular de más, aplicando unos márgenes de seguridad de al menos un 150%. Un árbol con un 150% de seguridad cuenta con suficientes reservas y se le puede calificar como seguro.

### **Riesgo de Fractura (Elastómetro).**

El Elastómetro mide las alteraciones longitudinales, con una precisión de 1/1000 mm. Los clavos del Elastómetro se localizan en las fibras periféricas del tronco ya sea en el lado de extensión o de compresión. Si se estira al árbol con cierta fuerza causa una extensión (lado de tensión) o una compresión (lado de compresión) en las fibras periféricas y esta se registra. En los troncos de los árboles bajo una fuerza de inclinación las fibras exteriores deben soportar las mayores tensiones y deformaciones. Por tanto era lógico utilizar un aparato que midiera la deformación. Si los hongos descomponen las fibras que llevan la carga o las grandes cavidades en los troncos disminuyen las resistencias de los movimientos de inclinación, aumentaran las alteraciones de las fibras periféricas. Ya que todas las medidas están basadas en un comportamiento elástico de la madera verde, al método se le denomina Elastómetro.

Se pueden detectar las cavidades escondidas en el tronco aumentando la deformación de la fibra dando como resultado lecturas más altas en el Elastómetro. Para evitar el daño en las fibras las pruebas de alargamiento se detendrán al límite de elasticidad específico de cada especie.

### **Riesgo de caída.**

Los clavos del inclinómetro se sitúan en la base del tronco, para eliminar la influencia de la inclinación. Debido a su precisión de medición de 1/100 ° puede registrarse la reacción estática del tronco cerca del sistema radicular. Se puede

averiguar mediante los registros de inclinación la existencia de pudrición en el sistema radicular, raíces estranguladas o un pobre desarrollo radicular.

Para evitar el daño en el sistema radical las pruebas de carga se detienen a un valor máximo de  $25/100^\circ$ , ya que en este punto es cuando se alcanza el 40% de la carga durante un vendaval, independientemente de la fuerza aplicada.

### **Limitaciones del Elasto – Inclinómetro.**

El Elasto-Inclinómetro sólo puede aplicarse sobre árboles aislados, por ejemplo: árboles en parques o carreteras etc. Todavía no se ha desarrollado un análisis de cargas para árboles en los bosques.

Sin un análisis de cargas sólo puede determinarse relativamente el riesgo de caída de ramas aisladas