

MÉTODOS ESTÁTICOS INTEGRADOS: RESULTADOS DE LOS TEST DE TRACCIÓN EN LAS DÉCADAS PASADAS

Andreas Detter.

Brudi & Partner TreeConsult

Traducción de su intervención en el 9º Congreso de Arboricultura, figuras de las publicaciones del Dr. L. Wessolly

Expertos efectuaron más de 4800 pruebas de tracción con el Elasto-inclinómetro. Los datos derivados de estas evaluaciones permiten profundizar en el entendimiento de potenciales fallos en árboles ornamentales viejos y maduros. La integración de biología y de aspectos mecánicos cuestiona la conveniencia de las formulas que, para valorar el riesgo de los árboles tienen en cuenta sólo la geometría del tronco.

La estática de los árboles fue introducida en 1985 cuando Dr. Wessolly, un destacado científico de la universidad de Stuttgart y G. Sinn un arquitecto paisajista trabajaron en un método de evaluación del árbol de un amigo.

El Dr. Wessolly y su equipo basaron sus cálculos en la ingeniería aplicada para valorar la estabilidad de estructuras diseñadas para soportar carga.

Al contrario de otros métodos, la estática del árbol considera tres principales componentes: carga, forma y material. Los árboles sufren carga ante todo por el viento y este es una de las causas más comunes de sus fallos.

La forma y el diámetro de tronco junto con el grado de pudrición identifican la forma en que la carga actúa sobre la estructura.

El diseño de evaluación, se basa en si la carga del viento causa o no deformaciones críticas en las fibras exteriores de los troncos o en el sistema de anclaje de las raíces. Por lo tanto, las propiedades específicas de los materiales (resistencia a la compresión, módulos jóvenes, límite de elasticidad) de la madera verde fueron identificadas por Wessolly. El proceso de vuelco, fue testado en numerosas pruebas que abarcan diferentes especies y sitios. Como el tronco se mueve en una tormenta, las fibras marginales trabajan en tensión en un lado del tronco y en compresión en el lado opuesto. Esta tensión, puede medirse con el Elastómetro (resolución 1/1000 mm). Aplicando carga a un tronco las raíces de anclaje se acercan a él, permitiendo que el tronco y el sistema radicular se apoyen. Sólo algunos instrumentos especiales (Inclinómetro resolución 1/100 gradas) pueden sentir esta invisible reacción.

Una vez que un árbol es considerado peligroso en una evalua-

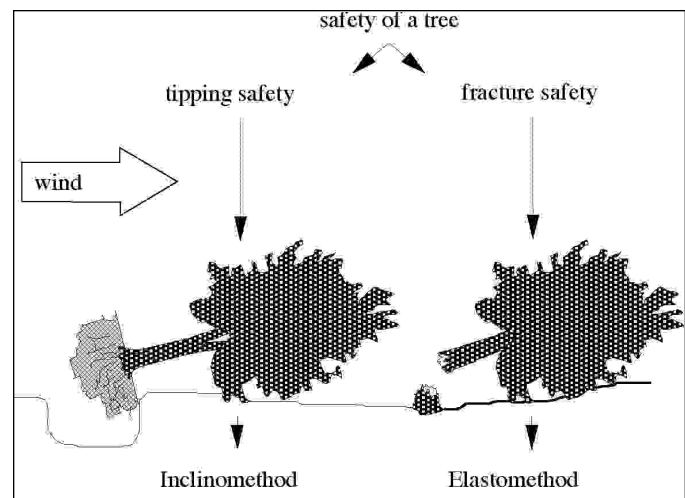


Figura 1: El método estático integrado distingue dos importantes riesgos: vuelco y fractura del tronco.

La mayoría de los potenciales fallos mecánicos (rotura de ramas, apertura de horquillas) pueden detectarse visualmente y pueden ser prevenidos con medidas de arboricultura (cableado o podando), sin afectar substancialmente a la biología del árbol.

ción visual, puede probarse su estabilidad con una prueba de tensión estática también conocida como prueba de tracción. El proceso se enfoca en dos importantes tipos de fallo. La seguridad de fractura en el tronco, se obtiene registrando la tensión ejercida en sus fibras (Elastómetro). La seguridad contra el vuelco, puede ser determinada analizando la inclinación de las raíces aplicando una carga (Inclinómetro).

Ambos métodos requieren un análisis de carga según el diseño standard DIN 1055, DIN 1056 modificado para los árboles. Brudi (2002) contiene una descripción detallada de los métodos estáticos integrados (SIM) y el proceso de la prueba de tracción según Elasto-Inclinómetro en España.

Desde el principio los resultados de las pruebas de tracción de la estática de los árboles son llevados a cabo por miembros del SAG Baumstatik eV., y son recopiladas y procesadas estadísti-

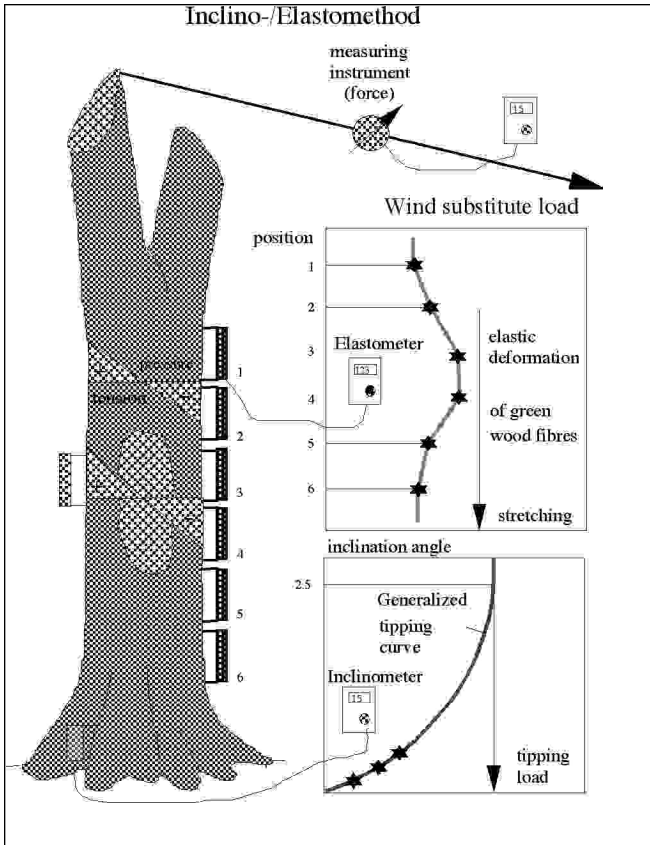


Figura 2: Inclino-Elastómetro. Las pruebas de carga estática son un proceso común en ingeniería, cuando la estabilidad de una estructura que tiene que soportar una carga no puede ser determinada solo con el diseño de la construcción.

Esto es también en los prototipos de aeroplanos que tiene que sufrir pruebas de carga. Esta evaluación no es fiable desde un cálculo estático puro. Por lo tanto, la carga es aplicada a sus alas y la deformación del material es medido con un calibre de alta sensibilidad a la tensión.

En la prueba de tracción, el árbol es sometido a una carga sustitutiva y su reacción es medida con sensores de alta resolución para la tensión en las fibras marginales del tronco (elastómetro) y la inclinación de las raíces (Inclinómetro).

camente. Más de 4800 árboles, fueron probados por su estabilidad. El Dr. Wessolly y su equipo evaluaron los datos y procesaron diagramas y tablas.

Este texto, representa una selección de los resultados de las publicaciones del Dr. Wessolly y las conclusiones derivadas de una exacta valoración, integrando aspectos biológicos y mecánicos.

La carga del viento y su influencia en la estabilidad del árbol

En general, la carga del viento se acentúa exponencialmente con la altura del árbol. A mayor nivel, el viento gana más velocidad debido a la menor resistencia del terreno y menor flujo de turbulencia. Para árboles solitarios, la velocidad del viento puede ser simulada usando los perfiles propuestos por Davenport (1965). Este modelo es adaptado a áreas urbanas usando los factores de corrección que incorporan las turbulencias alrededor de los edificios según Zuranski (1966) y Kamei (1979).

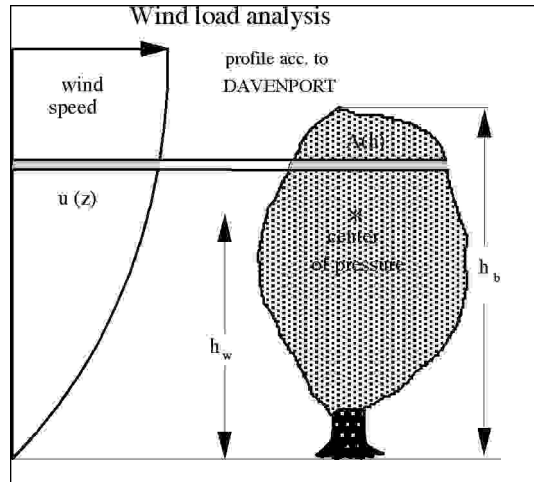


Figura 3. La velocidad del viento, se incrementa con la altura; por lo tanto la presión del aire es calculada separadamente por áreas de la copa a determinadas alturas. Sumando fuerzas y niveles resulta una presión total del viento y se determina una carga centrada.

Para ajustar este proceso estándar, los factores específicos de los árboles (factor aerodinámico en la copa de los árboles, aumento de los efectos debido a la oscilación), son incorporados en las ecuaciones originales.

La visión general de la evaluación de carga en más de 4500 árboles de gran follaje, muestra un incremento de la carga del viento en los árboles más altos. Al mismo tiempo, el momento resultante en tormentas (nivel 12 de la escala de Beaufort con una velocidad de viento de 32.5 m/s) varía significativamente

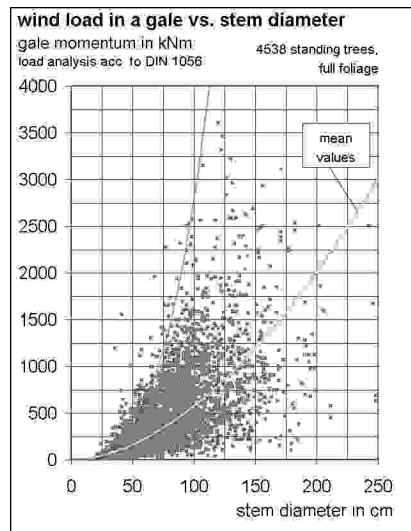


Figura 4: La carga del viento en un vendaval contra el diámetro de su tronco. Debido a la gran variabilidad, se requiere una evaluación apropiada de la carga del viento. Los procedimientos estándares de la ingeniería, consideran factores importantes tales como altura, área superficial, densidad del aire, factores aerodinámicos, fricción del terreno y exposición. Obviamente, el diámetro del tronco del árbol, no indica que su copa este expuesta a la carga. Esto es debido a que la biología del árbol, es la que regula el incremento del diámetro más allá de la influencia de los factores mecánicos.

Especialmente, los árboles más viejos, forman nuevas capas de madera, no en respuesta al estímulo mecánico como el descrito en las plantas jóvenes (thigmomorphogenesis).

en proporción al diámetro del tronco. Para árboles de un metro de diámetro, el rango entre la carga del viento debe estar entre un factor 12, por consiguiente la carga del viento no puede ser deducida desde el incremento del diámetro del tronco.

Seguridad básica y fallos potenciales

Según los actuales modelos el crecimiento de un árbol en altura, parece estar limitado por motivos biológicos e hidráulicos. Por que entonces la biología del árbol nunca cesa realmente de crecer en diámetro. Si el tronco de un árbol ornamental es sólido y grande, podría resistir cargas mucho mayores del viento. La seguridad básica de un árbol, compara la valoración de carga de la copa en una ráfaga de un huracán (nivel 12 en la escala Beaufort, 32.5 m/s) con la capacidad de soporte de carga del tronco si este es sólido. De ahí que una simple medición del crecimiento en grosor sea el inicio de la valoración de seguridad ante rotura

Los árboles envejecidos, son más susceptibles a la pudrición causada por los hongos y la posibilidad de un tronco hueco es muy común. Pero desde una base mecánica parece claro que un tronco delgado puede soportar mucha mas carga del viento por su flexibilidad. Por lo tanto se puede tolerar una mayor pudrición y madera muerta teniendo paredes residuales más finas. Si las evaluaciones de seguridad se basan en la pérdida de fuerza debida a su pudrición, es esencial considerar la fuerza de sustentación del tronco y la carga que realmente resiste.

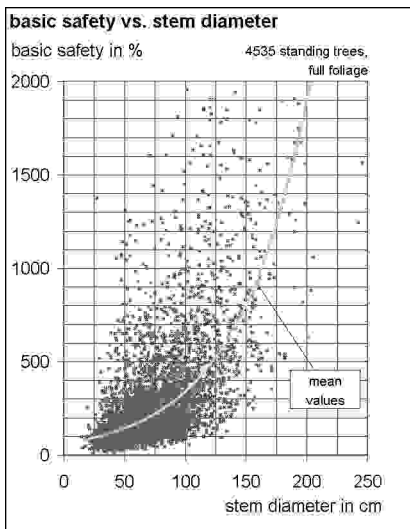


Figura 5. La figura 5, muestra un incremento exponencial de seguridad con un mayor diámetro del tronco. Los efectos fisiológicos, explican esta tendencia.

Los árboles jóvenes, han limitado capacidades fotosintéticas y por lo tanto su enfoque es ganar altura. Su estabilidad depende principalmente de pretender la solidez del tronco. Después una mayor superficie foliar, expuesta a la luz puede producir una cantidad sufi-

ciente de fibras para ganar espesor y compensar el decaimiento. El crecimiento en altura, termina después de la maduración, mientras la carga continua siendo constante. Pero incluso los árboles viejos, continúan creciendo cada año. Por lo tanto, mientras aumentan su diámetro puede que experimenten una pérdida de fuerza debido a la pudrición, y sin embargo, a la larga su vigor no se vera afectado.

En el ejemplo siguiente, cargas y tamaños críticos son aplicados para la evaluación de riesgo en tres diferentes tipos de hayas europeas de altura y copa similar (figura 6). Al crecer en terrenos comparables (parques), la carga del viento es casi igual. Estas, sólo difieren en el diámetro del tronco.

*La regla del 70% y su conveniencia para los árboles ornamentales.

El árbol nº 1 tiene un diámetro de 113 cm, mientras que el árbol nº 3 ha conseguido un diámetro de casi 2 metros, por lo tanto, su seguridad básica es muy diferente. Su rango varía desde 210% a 1300% indicando un alto potencial en los árboles nº 2 y nº 3 para compensar posibles pudriciones.

Si el criterio de que la cavidad es del 70% o 1/3 del radio fuese valido, el árbol nº 3 requeriría una pared residual de 30 cm. El árbol más delgado (nº 1) sería seguro, con una pared residual de 17 cm, aunque realmente es menos resistente al viento debido a su menor diámetro. Por lo tanto la presunción de que un árbol con mayor diámetro requeriría paredes más gruesas para soportar la misma carga sería absurda. El sentido común y la experiencia práctica indican lo contrario.

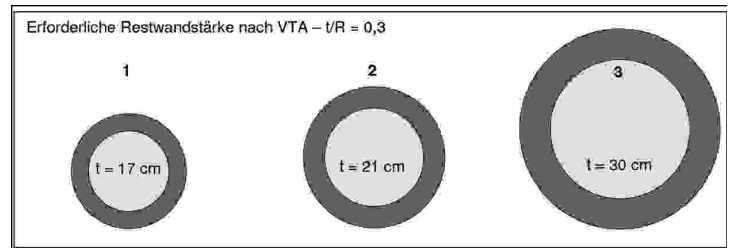


Figura 7. La pared residual requerida para el espesor de la pared es $t/r = 0,3$ para VTA.

Con un grado de pudrición del 70%, solo el margen de seguridad del árbol nº 1 sería bajo (140%). La seguridad de los otros dos árboles (325% y 860%) son significativamente mayores que el porcentaje deseado del 150%. En ingeniería estándar deberían ser considerados seguros ante rotura del tronco.

*La regla del 70% fue descrita por WAGENER (1963) para coníferas forestales. MATTHECK (1994) dio validez a la regla para angiospermas y árboles ornamentales fuera del medio forestal.

La valoración de riesgo, trata principalmente a árboles maduros, viejos e incluso seniles. La mayoría de estos árboles están en jardines, parques o a los lados de la carretera. La edad, tamaño, fuerza y la carga del viento varían en una amplia gama. Por lo tanto, no es posible evaluar su estabilidad simplemente con criterios basados en la geometría de su tronco.

El test de tracción con el elasto-inclinómetro, incorpora algunos parámetros específicos que afectan a la seguridad del árbol contra un posible incidente debido al viento. También permiten determinar el espesor de las paredes residuales sin el uso de instrumentos invasivos. El cuadro 8, muestra el resultado sobre más de 4800 árboles probados para comprobar su estabilidad. Cada test es documentado en una ficha diseñada específicamente. Esta gran cantidad de datos contradice cualquier regla general para clasificar un árbol como peligroso solamente por la geometría de su tronco.

CONCLUSIÓN.

La valoración apropiada del riesgo de un árbol, no requiere generalmente un test de tracción. Pero se deben incorporar los tres elementos de la estática en el diagnóstico de un posible fallo: carga, forma y material. El centrarse solamente en uno de estos elementos contradice la experiencia práctica. Esto conduce a una tala innecesaria y podría infravalorar el riesgo potencial del fallo.

Los métodos de la Estática integrada, revelan el potencial de un árbol a fallar debido a un vuelco o a la fractura del tronco en un vendaval. Estos aplican estándares internacionales de ingeniería. Esto permite a los propietarios conservar los árboles el mayor tiempo posible y detectar el riesgo real.

Los datos derivados a partir del test de tracción en 4800 árboles confirman que los árboles maduros pueden conseguir altas reservas de seguridad debido al ajuste del área de su copa y del diámetro del tronco.

Los resultados no indican ningún grado crítico de cavidad que sea generalmente válido a lo largo de una amplia variedad de especies, tamaños y lugares.

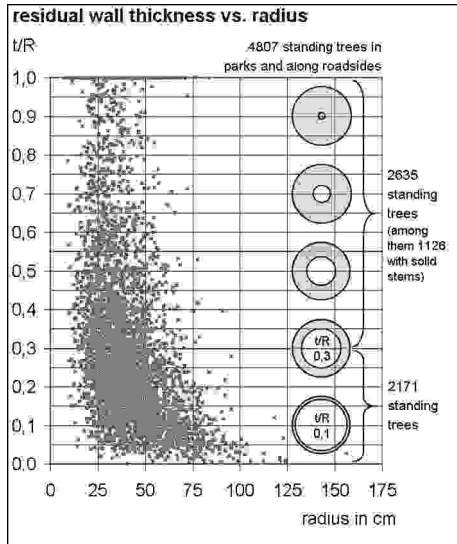


Figura 8. Grado de cavidad.

Grosor de la pared residual y su radio. 4800 tests de tracción de acuerdo al método Elasto-inclinómetro no revelaron ninguna indicación de que para mantener - se en pie un árbol necesite un espesor de pared residual de más del 30% del radio de su tronco.

El grado de cavidad fue conocido, de una forma no destructiva, de las lecturas del elastómetro, durante pruebas de carga estática a árboles en pie.

Los valores varían sobre una amplia gama y no muestran un límite significativo en el ratio t/R .