

La estabilidad estructural de los árboles

José Mejía Lacayo

Resumen: Los árboles no se comportan como un poste abatido por el viento y sobrecargado por ramas. De hecho, las ramas son mecidas por el viento, batidas de manera desordenada, actuando como amortiguadores múltiples, que contribuyen substancialmente a la estabilidad estructural del árbol. Podar las ramas, pueden afectar seriamente la estabilidad del árbol.

Palabras claves: árboles, viento, volcado, oscilación, amplitud, frecuencia

Abstract: The trees do not behave like a post felled by wind and overloaded by branches. In fact, the branches are swayed by the wind, beating in a disordered way, acting as multiple dampers, which contribute substantially to the structural stability of the tree. Pruning the branches can seriously affect the stability of the tree.

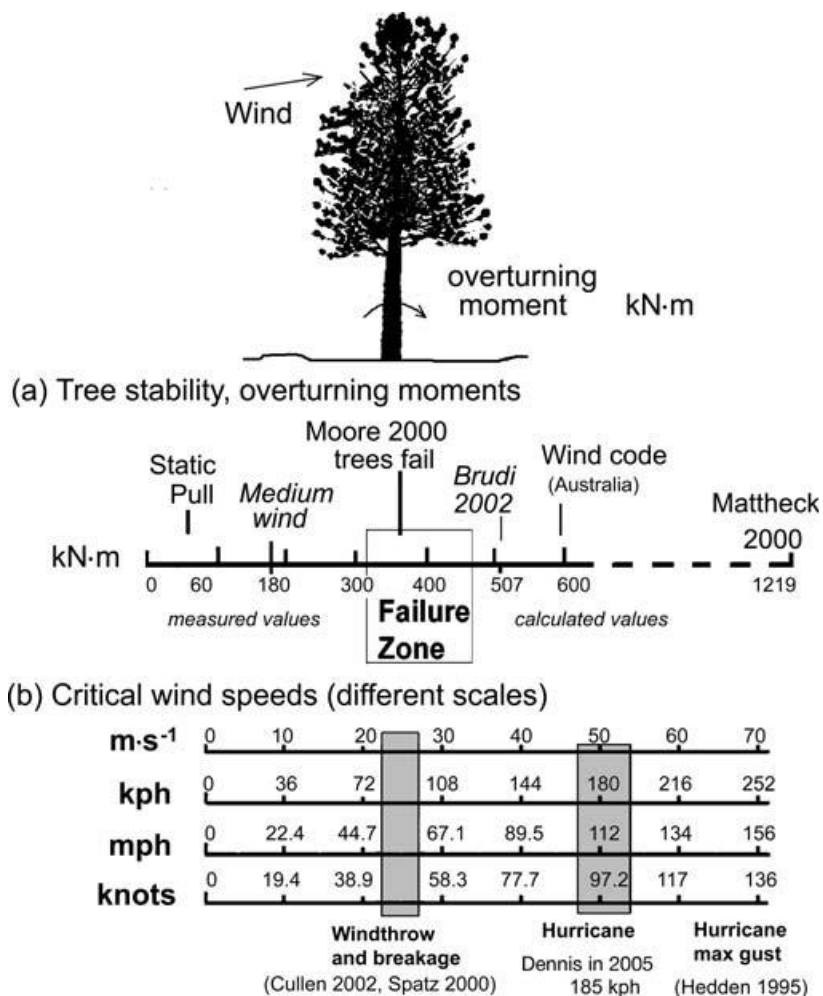
Keywords: Trees, wind, everturning, oscillation, amplitude, frequency

Desde joven me sentí intrigado por la estabilidad estructural de los árboles, porque su sistema de raíces es muy superficial y su altura puede alcanzar varias decenas de metros. Los cocoteros tienen un tronco sin ramas, y la copa de palmas cargados de cocos. ¿Cómo es posible soportar esa carga de cocos en el extremo de un poste tan delgado?

El problema interesó a Galileo en 1638 quien incluyó el tema de la estabilidad estructural de los árboles en su *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze*. En su *Discurso y demostración matemática, en torno a dos nuevas ciencias* establece los fundamentos de la mecánica como una ciencia y marca así el fin de la física aristotélica y el inicio de la ciencia moderna. El formato del Discurso es un diálogo entre tres personajes, poco atractivo para un lector académico moderno. Sin embargo, es muy interesante por la fecha de 1638 y su interés en la estabilidad de los árboles.

Veamos cómo se comporta un árbol de muchas ramas sujeto a la fuerza del viento:

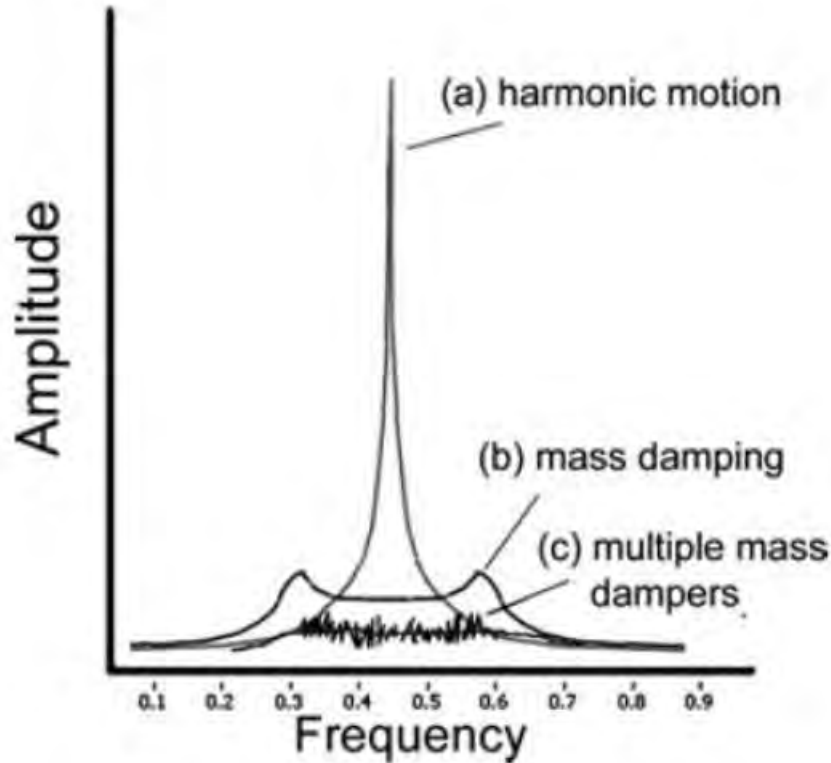
El tema de la estabilidad estructural de los árboles es muy importante porque afecta nuestros bosques y hasta nuestras casas de habitación rodeadas de árboles. Muchos de nosotros desramamos los árboles para prevenir daños a nuestras viviendas, y las municipalidades en nuestras ciudades cortan ramas que interfieran con los cables eléctricos aéreos. En los países desarrollados, los cables eléctricos son subterráneos y los árboles crecen sin podas desfigurantes.



La figura anterior muestra los momentos de volcado (en kilo newton por metro kN.m) y su efecto en un árbol. La escala (a) está en kN.m y la escala (b) en velocidades de viento. El huracán Félix tuvo vientos de 260 kph (72.2 m/seg), que está fuera de escala, más allá el extremo derecho. La figura que sigue muestra gráficamente los movimientos de la copa y un gráfico de frecuencia-amplitud del movimiento.

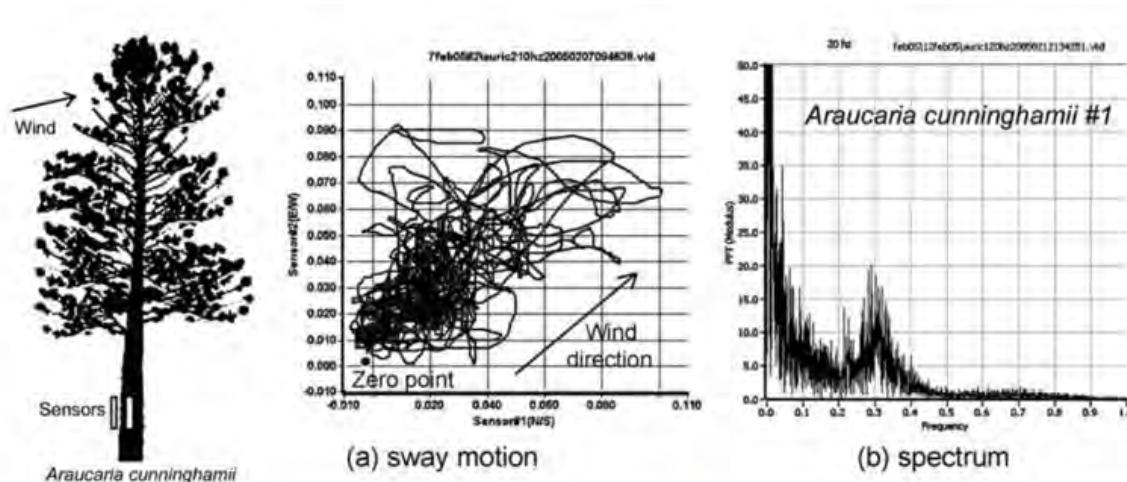
La amplitud es la distancia entre el punto más alejado del movimiento y el punto de equilibrio o medio. La frecuencia es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. El Hertz (símbolo Hz) es la unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades, representa un ciclo por cada segundo, entendiéndose por ciclo como la repetición de un suceso.

Arrancar árboles depende de su diámetro a la altura del pecho, su altura total, el largo del tronco, el ancho de la copa, el ancho de la placa raíz-suelo y la profundidad de las raíces, y el tamaño del hueco.



Efecto de la amortiguación de masa sobre el movimiento dinámico del movimiento del tronco.
Sin amortiguamiento de masa y pico de amplitud grande, (b) una ramificación (amortiguador masa) con dos pequeños picos de amplitud, (c) muchos amortiguadores de masa que no muestran picos de amplitud.

Investigaciones recientes sobre la medición de las cargas dinámicas del viento y el efecto sobre la estabilidad del árbol, permiten una mejor comprensión de cómo los diferentes árboles responden frente a los vientos. Las cargas dinámicas se han medido en árboles con diferentes formas de dosel y estructuras de ramificación incluyendo una palma (*Washingtonia robusta*), un delgado ciprés italiano (*Cupressus sempervirens*) y árboles con muchas ramas y copas anchas incluyendo el pino cerrado (*Araucaria cunninghamii*) y dos especies de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *E. teretecornis*). Los resultados indican que el balanceo no es armónico, sino que es muy complejo debido a la interacción dinámica de las ramas. Se describe un nuevo modelo dinámico de un árbol que incorpora las propiedades estructurales dinámicas del tronco y las ramas. La masa de las ramas contribuye con un amortiguamiento dinámico, denominado amortiguación de



Movimiento de balanceo de *Araucaria cunninghamii* (velocidad del viento promedio de 12 m/seg) que muestra (a) complejo movimiento de oscilación del tronco del árbol (viento abajo desde el punto de rejero) y (b) espectro que muestra la frecuencia de oscilación con pico único a 0,29 Hz.

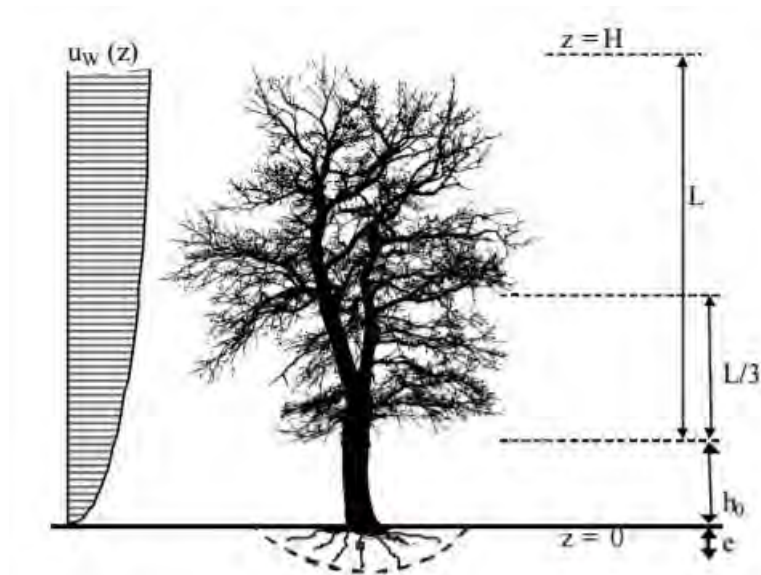
masa, que actúa para reducir el peligroso movimiento de balanceo armónico del tronco y minimiza así las cargas y aumenta la estabilidad mecánica del árbol.¹

La amortiguación dinámica de masa tiende a reducir la transferencia de energía y minimizar la ocurrencia de frecuencias de oscilación armónica o resonante y desafinar la estructura. El proceso de desafinamiento es una estrategia de supervivencia que minimiza la transferencia de energía eólica al tronco y al sistema de raíz y así resulta en una mayor estabilidad. La fuente inicial de energía es una masa de aire que se mueve rápidamente. El viento que aplica cargas dinámicas a la copa del árbol y hace que todas las ramas, sub-ramas y el movimiento de las hojas, a menudo con gran rapidez. Las fuerzas viscosas entre el aire y la interfaz de las hojas pueden transferir cantidades significativas de energía.²

El 3 de septiembre, el huracán se desplazaba directamente hacia Honduras, pero inesperadamente hizo un giro hacia la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN), la costa noreste de Nicaragua, entrando al país con categoría 5 a las 5:55 a.m. Tiempo del Centro del martes 4 afectando primero a los Cayos Miskitos (islas frente a la RACCN causando los primeros muertos) y después a la ciudad de Bilwi (también llamada Puerto Cabezas) capital de dicha región. En ese lugar, Félix causó destrucción en las casas de madera arrancando láminas de los

¹ Kenneth R. James, Nicholas Haritos, y Peter K. Ades. Mechanical Stability Of Trees Under Dynamic Loads. *American Journal of Botany* 93(10): 1522–1530. 2006

² Kenneth R. James, Nicholas Haritos, y Peter K. Ades. Mechanical Stability Of Trees Under Dynamic Loads. *American Journal of Botany* 93(10): 1522–1530. 2006



Presión dinámica sobre un árbol

techos de zinc y dejando incomunicada a la ciudad, excepto la comunicación por celular. Destruyó las instalaciones de la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe de Nicaragua (URACCAN), las cuales servían de refugio a la gente. También causó daños en el municipio de Waspán a orillas del río Coco, fronterizo con Honduras; en la RAAN hubo un reporte preliminar de 159 muertos, decenas de heridos y más de 600 desaparecidos. También, Félix pasó por el Cabo Gracias a Dios. El huracán embistió el martes el Caribe norte nicaragüense con vientos de 260 km/h y categoría cinco en la escala Saffir-Simpson.



El paso del huracán Félix por Bilwi y la RACCN afectó el 4 de septiembre del 2007, un total de 1.1 millones de hectáreas, de las cuales, 512,165 hectáreas **se identificaron como "área de alta afectación"**. El valor comercial, podría llegar a unos 10.7 millones de metros cúbicos, la gran mayoría proveniente de bosques latifoliados afectados de la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN).

La evaluación de daños al ecosistema forestal, efectuado por el Gobierno Regional Autónomo de la Costa Caribe Norte, ha estimado que el volumen comercial para bosques latifoliados afectados suma 10,706,073 m³ con DAP arriba de los 40 centímetros y; en bosques de pinares suman 6,086 m³, lo que hace un volumen total aprovechable de 10,712,159 m³ (10.7 millones de metros cúbicos).



El huracán Félix arrancó árboles de muchas ramas, cocoteros, y dejó algunas palmeras en pie (esquira inferior derecha)

En particular son ocho especies maderables con valor comercial, las que llaman la atención de las autoridades y de los especialistas, por ser las de mayor demanda local e internacional. Se trata de las especies conocidas por los nombres comunes de: María (*Calophyllum brasiliense*), Cedro macho (*Carapa guianensis*), Nancitón (*Hyeronima alchorneoides*), Leche María (*Symphonia globulifera*), Sebo

(*Virola multiflora*), Ojoche blanco, Caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*) y Cortes del Atlántico (*Tabebuia* sp.).

En cuanto a los volúmenes de madera caída de las ocho especies comerciales, se estimó un total de 2.9 millones de metros cúbicos y un volumen comercial de 1.5 millones de metros cúbicos (52,7%), correspondientes a un DAP mayor o igual a 30 centímetros. Ese volumen se ubica en los nuevos bosques secundarios remanentes post-huracán Félix.

El volumen comercial de la madera caída, según estimaciones del INF, serían alrededor de 5.1 millones de metros cúbicos, cifra que representaría 55.1% del volumen total aprovechable. También es importante destacar que dentro del área afectada, el volumen total en pie estimado es de unos 47.9 millones de metros cúbicos, de los que 27.7 millones corresponden a valor comercial en pie.

Antiguamente la madera se medía en pies tablares. El pie tabla es la unidad de medida de volumen utilizada en los Estados Unidos y Canadá para medir la madera aserrada. El volumen de un pie tabla corresponde a una tabla de 1 pie de ancho por 1 pie de largo y 1 pulgada de espesor, equivalente a 144 pulgadas cúbicas. En el sistema internacional de unidades (antes sistema métrico), mil pies tabla equivalen a 2.3597 metros cúbicos. Valga la clarificación para aquellos que todavía piensan en pies tablares.

«El balanceo dinámico del árbol en los vientos parece estar muy influenciado por el balanceo dinámico de las ramas. A medida que aumenta la proporción de masa de rama a masa de tronco, la frecuencia natural del tronco se vuelve menos dominante. Las ramas actúan para amortiguar o desafinar toda la estructura. Esto apoya el modelo conceptual presentado e indica que las especies de árboles, con diferente arquitectura del dosel, pueden necesitar ser tratados diferentemente. La forma en que las ramas y, por consiguiente, la remoción de las ramas afecta a los árboles necesitará un estudio más detenido. Esto podría influir los métodos de poda y técnicas de remoción de árboles para que la masa de la remoción de ramas se convierta en una consideración importante, así como el área de la vela y la forma del dosel».³■

³ Kenneth R. James, Nicholas Haritos, y Peter K. Ades. Mechanical Stability Of Trees Under Dynamic Loads. *American Journal of Botany* 93(10): 1522–1530. 2006