

1.3. Mediciones lineales

1.3.1. Medición del Dap y otros diámetros

La medición de diámetros es la operación más corriente y sencilla en mensura forestal. En árboles en pie, la altura normal para medir el diámetro representativo o Dap¹ (diámetro a la altura del pecho) es de 1,3 m desde el nivel del suelo.

Otros puntos de medición de diámetros en el fuste en árboles en pie son a la altura del tocón (0,3 m) y a alturas variables en el fuste.

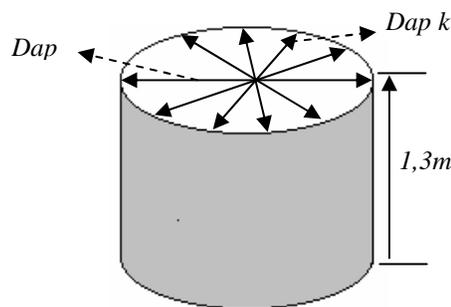
La definición de la manera en como el diámetro será medido debe ser consistente con el objetivo de la medición (estimación de volumen, conocer la distribución diamétrica, estimar crecimiento). Por ejemplo, en la estimación del volumen, un pequeño error en la medición del diámetro incide fuertemente (al cuadrado) en el resultado final dado que:

$$v = (\pi / 4) \cdot D^2 \cdot H \cdot f$$

Donde v es el volumen total del fuste.

En general, se indica si el Dap corresponde a una medición considerando la corteza (c/c) o sin ella (s/c), lo cual es de suma importancia en la estimación del volumen debido a que el volumen de la misma puede representar tanto como un 10-15 % del volumen total del fuste.

En una sección cualquiera del fuste, siempre existen infinitos diámetros medibles y es necesario considerar el efecto de la excentricidad para obtener una medida representativa.



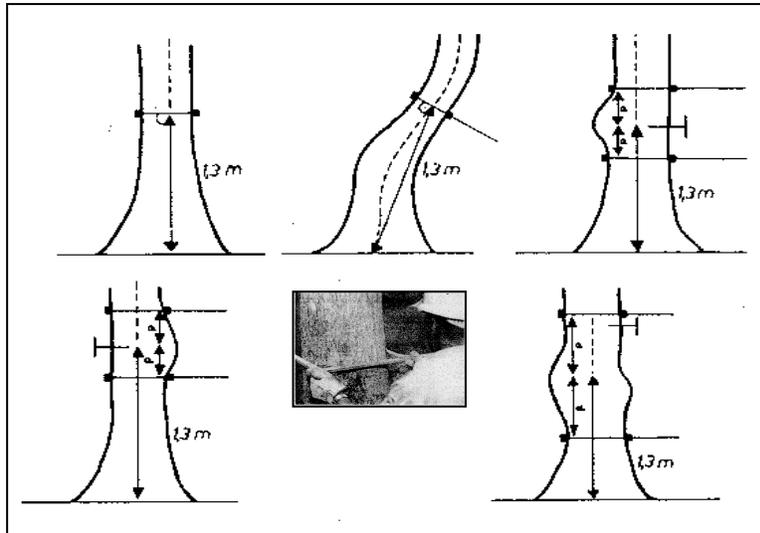
Sección del fuste a 1,3 m con k posibilidades de medir el Dap.

Para enfrentar este problema se recurre a estimar el Dap usando formas de cálculo alternativas. Por ejemplo:

$$\bar{D} = \sqrt{D_1 * D_2} \quad \bar{D} = \frac{(D_1 + D_2)}{2}$$

donde D_1 y D_2 son el diámetro mayor y menor de la sección.

¹ En inglés se denomina Dbh (*diameter at breast height*).



Reglas básicas para la medición del Dap.

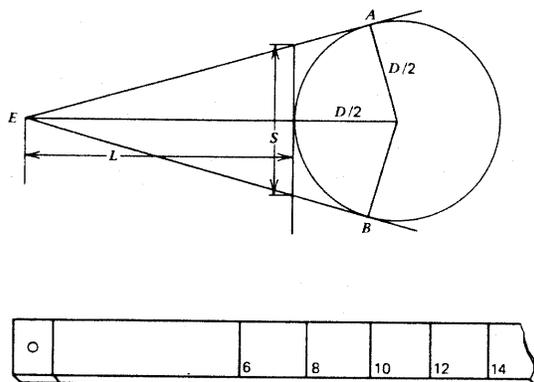
1.3.1.1. Instrumentos para medir diámetros

Para la medición directa o indirecta de diámetros de árboles en pie o de trozas hay varios instrumentos disponibles basados en principios diferentes:

Vara Biltmore

Un medio práctico para la medición rápida y cómoda de diámetros en árboles en pie es la vara Biltmore, cuyo principio óptico es simple.

Para secciones que difieren fuertemente de una circunferencia, los errores de medición pueden ser muy grandes. Sin embargo, trabajando en forma correcta, con la longitud de brazo correspondiente y realizando varias mediciones es posible una compensación de dichos errores.



$$\frac{D/2}{H} = \frac{S/2}{L} \quad (D/2)^2 + H^2 = (L + (D/2))^2$$

$$H = \sqrt{L^2 + L \cdot D}$$

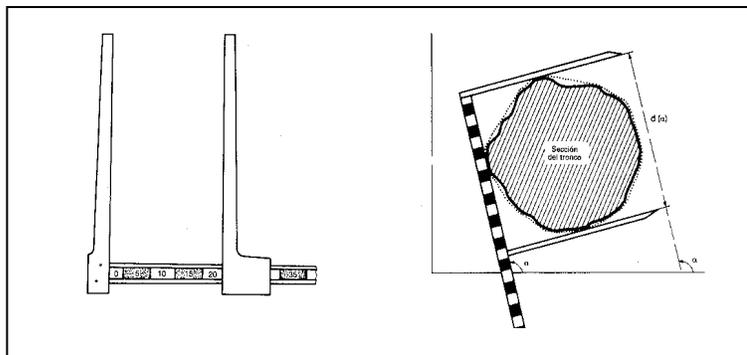
$$H = L\sqrt{1 + D/L}$$

$$\frac{D/2}{L\sqrt{1 + D/L}} = \frac{S/2}{L} \rightarrow S = \frac{D}{\sqrt{1 + D/L}}$$

Descripción teórica de la vara Biltmore (L es el largo de brazo).

Forcípula

Instrumento básico en medición forestal que se compone de una barra graduada y dos brazos paralelos. Uno de los brazos es fijo, mientras que el otro se desplaza libremente sobre la barra.



Forcípula, medición de diámetros fustales.

Una forcípula debe cumplir las siguientes condiciones:

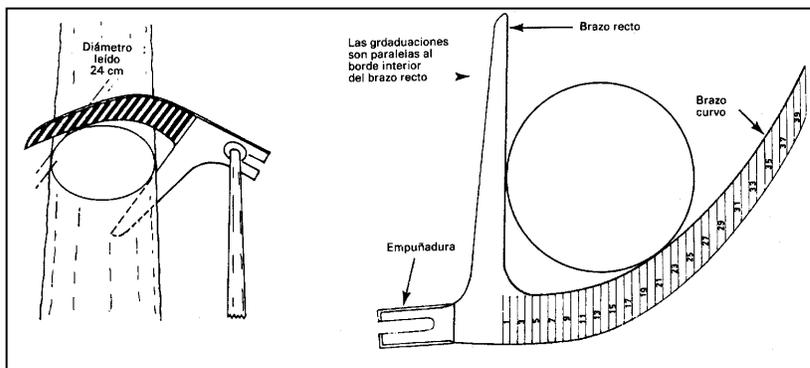
- La barra debe ser recta, suficientemente larga y estable, con una graduación precisa y legible.
- Los brazos deben estar en un mismo plano, ser perpendiculares a la barra y paralelos entre sí.
- El movimiento del brazo debe realizarse con facilidad, pero en ningún caso debe estar suelto.

Los errores que se cometen con mayor frecuencia son al medir diámetros son:

- La forcípula no se mantiene perpendicular al eje longitudinal del árbol; los errores son en este caso de signo positivo (sobre-medición).
- El brazo móvil suelto ha perdido su paralelismo con el brazo fijo, en cuyo caso el error de medición es sistemático y de signo negativo (sub-medición).

Forcípula finlandesa

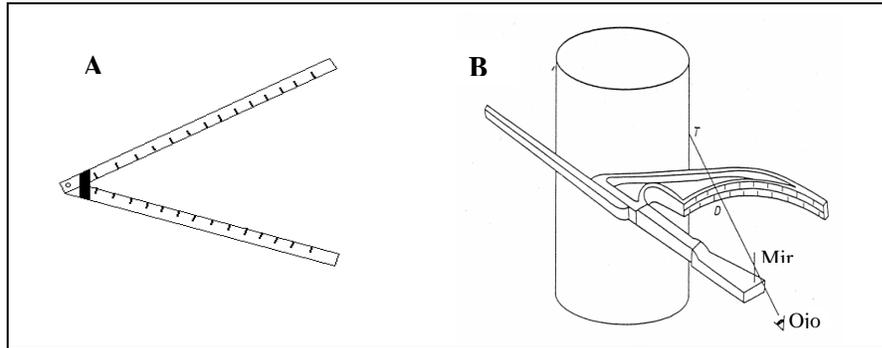
Es de especial utilidad para mediciones de diámetros en altura mayores a 1,3 m. Consta de un brazo recto y otro parabólico y la lectura se hace en el punto de contacto con el árbol, en general hasta hasta 8 m de altura.



Forcípula finlandesa, medición de diámetros superiores.

Forcípula de horcaja

Este instrumento tiene dos brazos rectos en ángulo y es adecuada solamente para diámetros pequeños.

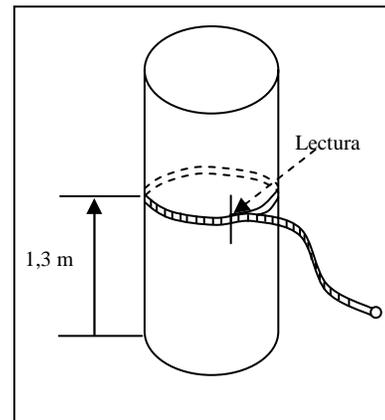


Forcípula de horcaja (a) y sector de diámetro Bitterlich (b).

Huincha o cinta diamétrica

Este instrumento es de acero, material plástico o fibra de vidrio altamente estable y está graduada en unidades π . Permite medir directamente el diámetro, al rodear el tronco a la altura deseada, cuidando que ella se ubique en un plano exactamente perpendicular al eje longitudinal del fuste.

Las grandes ventajas de este instrumento son su facilidad de transporte y de comprobación de estado, el amplio rango de dimensiones para las cuales es útil y la precisión con que permite efectuar las mediciones. Su principal desventaja es que, en secciones no circulares sobrestima sistemáticamente el diámetro (sesgo).



Utilización de la cinta diamétrica.

Sector de diámetro de Bitterlich

Corresponde a una mejoría sustancial del principio de la vara Biltmore. Consiste en dos brazos que subtienden un ángulo de 135° . Ambos brazos deben encontrarse en contacto con el fuste. Por construcción, estos brazos captan mejor la sección transversal del árbol, y los errores por irregularidades disminuyen. El brazo curvo está graduado en cm para diámetros, dm^2 para área basal y en m^3 para volumen.

Dendrómetros ópticos

Existe una serie de instrumentos ópticos basados en el principio taquimétrico diseñados para medir diámetros. Son aptos para mediciones a distancia y especialmente adecuados para efectuar mediciones a diferentes alturas sobre el suelo. Inspirados en este principio, hay desde instrumentos muy sencillos hasta muy complejos.

Los dendrómetros más importantes son:

- Pentaprisma Wheeler:** Basado en prismas pentagonales diseñados para obtener errores máximos de 0,25 cm desde 15 metros de distancia. Su diseño permite que pueda ser montado sobre un trípode y a menudo se usa en conjunto con un clinómetro que se instala en uno de sus costados (ver fotografía).

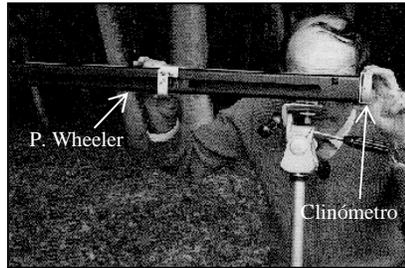
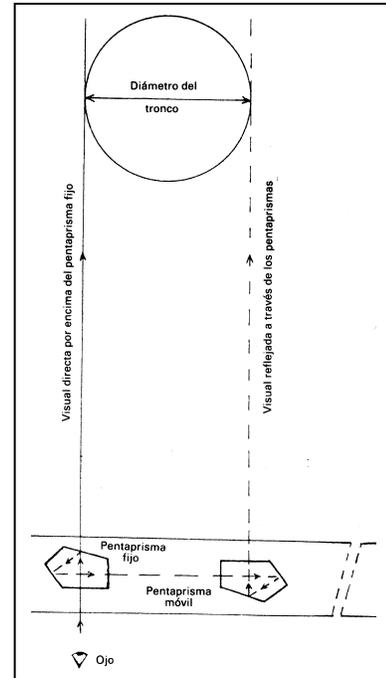


Figura 8 (a la derecha): Esquema de funcionamiento del Pentaprisma Wheeler.



- Reloscopio de Bitterlich:** Este dendrómetro presenta las mayores ventajas, ya que permite corregir el efecto de los ángulos verticales ajustándolos automáticamente. Lo anterior permite usar el instrumento para medir diámetros a distintas alturas en el fuste en forma independiente de los ángulos de observación y del terreno.



Principios trigonométricos de los dendrómetros

Si consideramos las relaciones de la figura, se tiene que:

$$d = 2r = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$$

Dado que: $\sin \frac{\alpha}{2} = \tan \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$

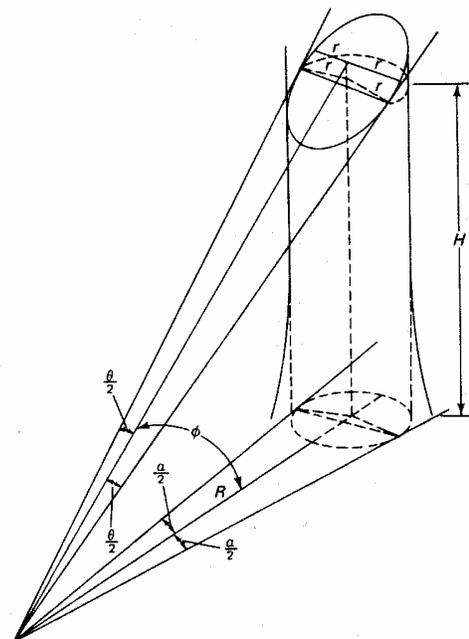
Entonces, $d = 2R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$

además $\tan \frac{\alpha}{2}$ puede expresarse en términos de ϕ y $\theta/2$ dado que:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \sec \phi \tan \frac{\theta}{2}$$

y entonces:

$$d = 2R \cdot \sec \phi \tan \frac{\theta}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$$



1.3.2. Medición de corteza

La corteza tiene una importante participación en el volumen fustal. Sands (1975) concluyó que para en árboles de pino insigne de distintas edades la corteza aportaba, en promedio, un 10,2 % del volumen total del fuste.

Gran proporción del volumen de corteza se concentra bajo el 15 % de la altura total del árbol debido al engrosamiento cerca del tocón (Gordon, 1983). Sobre el 50 % de la altura la relación $d_{s/c}/d_{c/c}$ decrece debido a que el espesor de corteza se mantiene relativamente constante y los diámetros fustales van disminuyendo. En general el espesor de corteza queda definido por la diferencia entre diámetros con y sin corteza:

$$2 \cdot B_i = d_{i_{c/c}} - d_{i_{e/c}} \quad \text{Donde } i \text{ indica que los diámetros están a la altura } h=i.$$

La medición de la corteza se hace en forma directa con un calibrador de corteza o cuando se realiza un análisis de tallo.

Existen una variedad de modelos que predicen el espesor de corteza en función de alguna de las siguientes variables: Dap , altura en el fuste h_i y diámetro con corteza a esa altura $d_{c/c}$. Algunos de esos modelos se resumen a continuación:

$$\text{Brickell (1970)} \quad 2B_i = 2B_{Dap} * \left(\frac{d_{i_{c/c}}}{Dap} \right)^{b_1} * \left[\frac{(b_2 - 1)}{b_2 - (d_{i_{c/c}} / Dap)^{b_3}} \right]^{b_4}$$

$$\text{Sands (1975)} \quad ERC = b_0 + \frac{b_1}{(b_2 + h_i)}$$

$$\text{Penman (1988)} \quad 2B_i = 2B_{Dap} * \left[a + b * \left(\frac{d_{i_{c/c}}}{Dap} \right)^c \right]$$

$$\text{Zapata (1998)} \quad 2B_i = a + b * 2B_{Dap} * \left(\frac{H - h_i}{H - 1,3} \right)^c$$

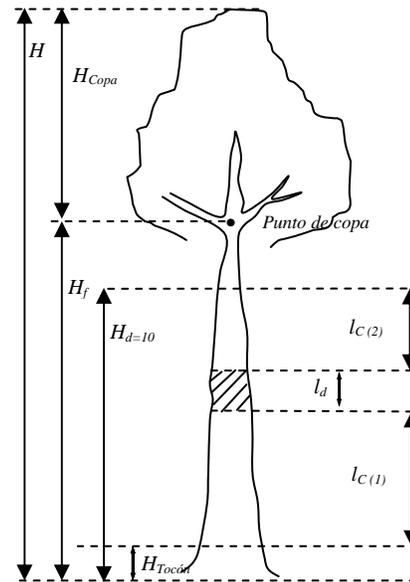
Donde: $2B_i$ = doble espesor de corteza a la i -ésima altura del fuste, $2B_{Dap}$ = doble espesor de corteza en el Dap , ERC = espesor radial de corteza, h_i = altura i -ésima. Y $a, b, c, b_0, b_1, b_2, b_3$ son parámetros de los modelos.

1.3.3. Mediciones de alturas

Medición de alturas

La altura total (H) de un árbol es uno de sus parámetros descriptivos más importantes pero no el único. Además, son de importancia:

- La altura del fuste hasta la primera rama (H_f)
- Alturas comerciales: se definen como la altura hasta algún diámetro límite de utilización en el fuste. Por ejemplo: $H_{d=10}$ / $H_{d=20}$ = altura hasta donde el fuste tiene 10/20 cm de diámetro.
- Altura del tocón ($H_{Tocón}$)
- Altura de la copa (H_{Copa})
- Largo comerciales (l_c)
- Largos de defectos (l_d)



Alturas y largos en el árbol.

Dada la dificultad de emplear instrumentos de contacto o de medición directa, tales como reglas o varas, cuando las alturas de los árboles sobrepasan los 8 ó 10 metros, se han desarrollado una serie de instrumentos de tipo óptico basados en principios geométricos y/o trigonométricos.

Hipsómetro Christen

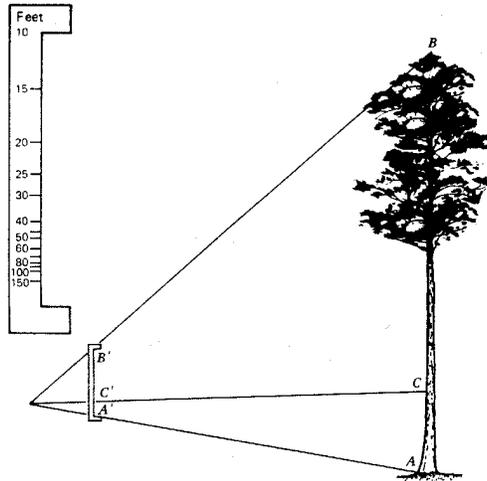
Para medir, el observador debe elegir una posición desde la cual pueda ver, sin moverse, la base del árbol en el extremo inferior de la regla y el ápice en el extremo superior. El hipsómetro debe estar en posición vertical. Simultáneamente se visualiza el listón y se hace la lectura de la altura correspondiente en la regla.

Ventajas:

- No se requieren mediciones adicionales de distancia.
- Utiliza todo el campo visual, de modo que se requiere sólo una lectura en el instrumento.

Desventajas

- Es difícil encontrar dentro del rodal cerrado una posición adecuada para la medición. Por lo tanto, el margen de libertad en el terreno es muy pequeño.
- Por el menor movimiento se pueden producir mediciones erróneas.
- Debido a la disminución de los intervalos de graduación, la medición de alturas se hace muy imprecisa.
- Trabajando prolijamente el hipsómetro de Christen tiene un error de $\pm 5-6\%$ de la altura.



$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'C'}{AC}$$

Si A'B' es 0,3 m

Y AC es 2 m

Entonces:

$$AB = 0,6/A'C'$$

Donde A'C' = lectura

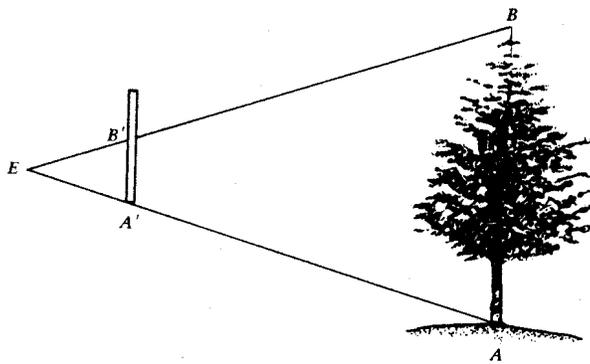
A'C'	0,3	0,12	0,06	0,03
H	2	5	10	20

A'C' y H en metros

Hipsómetro Merritt

Consiste en una vara graduada, generalmente usada en conjunto con la vara Biltmore. La vara se mantiene vertical, a una distancia fija del ojo del observador y paralela al eje del árbol. Su graduación, habitualmente en términos de número de trozas de un tamaño determinados está relacionada con el largo del brazo y la distancia al árbol.

La mayor dificultad en el uso de este hipsómetro es mantenerlo vertical y a una distancia fija del observador. Cualquier desviación en su verticalidad y distancia al ojo genera importantes errores. Usualmente se gradúa para mediciones a 15 y 20 metros de distancia.



$$\frac{E'A'}{A'B'} = \frac{EA}{AB}$$

Así:

$$A'B' = \frac{E'A' \cdot AB}{EA}$$

Donde:

A'B' = lectura

E'A' = largo de brazo

EA = distancia conocida

Hipsómetros basados en principios trigonométricos

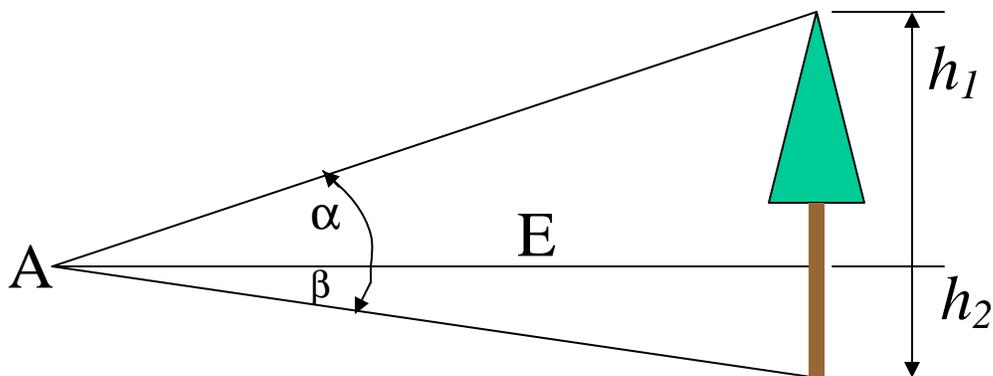
Los más comunes son los hipsómetros Blume-Leiss y Haga, el nivel Abney y el clinómetro Suunto, variando sólo los mecanismos y el aspecto externo. Para todos estos instrumentos se deben realizar dos mediciones. Si ambas mediciones se encuentran al mismo lado de la horizontal, ellas se deben restar.

Las ventajas de este tipo de instrumentos son:

- Gran precisión
- Condiciones de trabajo relativamente cómodas

Como desventajas, se pueden señalar:

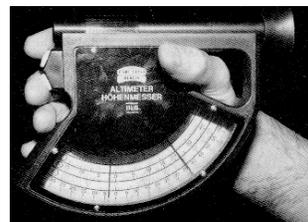
- Difícil visibilidad para el telémetro, en especial dentro del rodal
- Se requieren dos observaciones
- Es necesaria la medición de distancias.



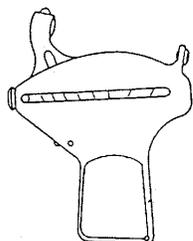
Blume-Leiss

Sistema pendular para medir los ángulos α y β :

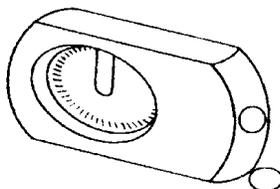
$$h_1 = E \operatorname{tg}(\alpha)$$
$$h_2 = E \operatorname{tg}(\beta)$$



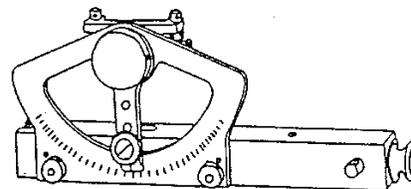
Pistola Haga



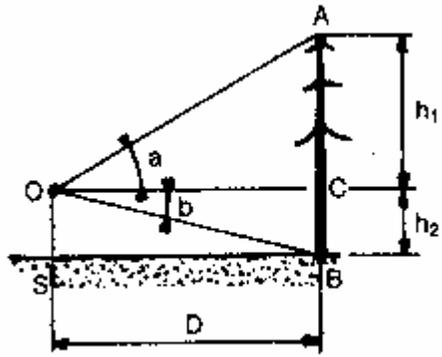
Clinómetro Suunto



Nivel Abney

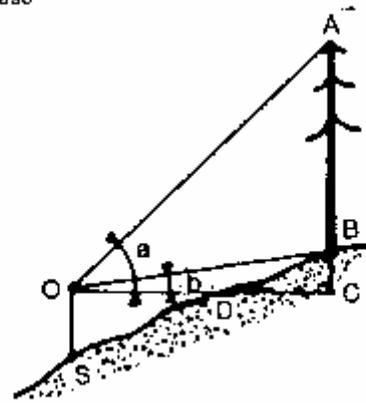


1.º caso



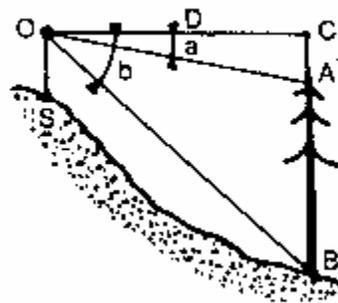
$$h = h_1 + h_2 = D (\operatorname{tga} + \operatorname{tgb})$$

2.º caso



$$h = D (\operatorname{tga} - \operatorname{tgb})$$

3.º caso



$$h = D (\operatorname{tgb} - \operatorname{tga})$$