

Este error expresado en porcentaje comparado con la elipse será:

$$p_2 = \frac{A_2 - A}{A} * 100$$

$$p_2 = \frac{\frac{\pi}{16}(D-d)^2}{\frac{\pi}{4}Dd} * 100 = \frac{(D-d)^2}{2Dd} * 100 \quad (3.24)$$

Comparando  $p_1$  con  $p_2$  se ve que  $p_2 = 2p_1$ , o sea, que el error que se comete cuando se usa la media de los diámetros para el cálculo del área transversal del árbol y la mitad del error cometido cuando se usa la media de las áreas transversales. Siendo así el método del diámetro medio es preferible al del área media.

## **CAPITULO 4. MEDIDAS DE LA ALTURA DEL ÁRBOL E INSTRUMENTO**

### **4.1. Generalidades**

La altura total de un árbol es la longitud del segmento de recta que une el pie del árbol a su yema terminal. Teniendo en cuenta esta definición se comprende que las medidas de alturas sobre árboles derribados no rectilíneos corren el riesgo de ser sobre estimadas

La medida de altura de árboles de latifolias plantea un problema particular según muestra la figura 4.1. Si el operador procede sin precaución, tendrá tendencia a visar, en lugar del punto H el punto A que proporciona un ángulo visual máximo, sobrestimándose la altura del árbol en la longitud BH.

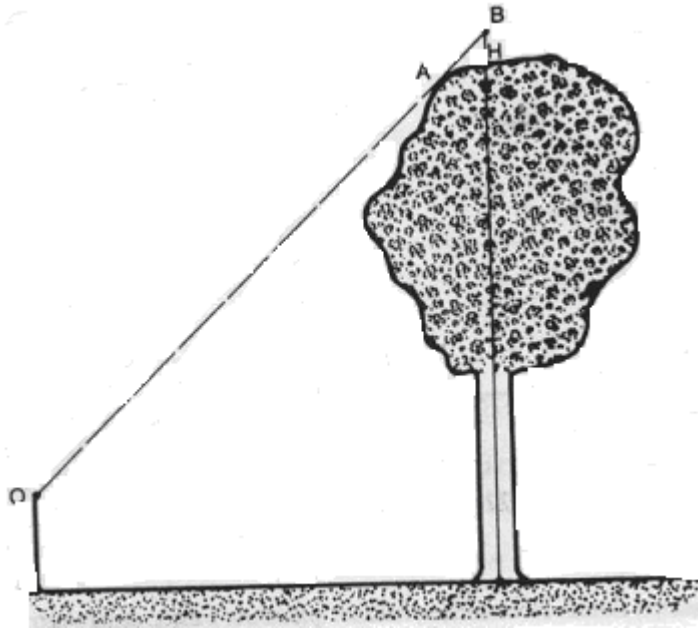


Figura 4.1: Error frecuente en la medición de altura en árboles de latifolias

Esta es otra variable fundamental a ser obtenida de la población forestal. La altura es importante para el cálculo del volumen y para la clasificación de los sitios forestales en cuanto a su productividad.

Existen dos maneras principales para cuantificar la altura del árbol, es decir; a través de mediciones directas con hipsómetros y/o subiendo en el árbol para cubicación en bosques naturales y con cadenas en el caso de árboles derribados; a través de estimaciones, que consiste en realizar relaciones hipsométricas (relación entre altura y diámetro), cuando haya habido el inconveniente de medir la altura de todos los árboles que componen la población.

La altura es una variable usada en el análisis del desarrollo de una especie, en determinado sitio forestal ya que esta es la variable que presenta el comportamiento de la referida especie en el transcurso de los años.

Dos árboles pueden tener el mismo DAP difiriendo significativamente en la altura, lo que afectará el volumen en proporción directa.

La técnica de medición de altura de un árbol, sin derribarlo, utiliza diversos recursos, que van desde el uso de aparatos de simple construcción, hasta el empleo de fotografías aéreas. En este epígrafe se incluirá sólo las técnicas más adecuadas y empleadas para nuestras condiciones, ya sea en plantaciones o bosques naturales, ofreciendo de esa manera informaciones fundamentales para el manoseo de los principales aparatos y la construcción de otros, en caso de que haya necesidad.

El método y el instrumento de medición deben ser económicos, y el instrumento debe ser ligero, portátil, y suficientemente preciso, de fácil manoseo, y viable en las condiciones del bosque.

Como se explicó anteriormente la altura puede ser obtenida por medición directa o por estimaciones.

#### **4.1.1. Importancia de su conocimiento**

El conocimiento de la altura de los árboles es muy importante ya que:

- a) sirve para indicar la calidad de sitio de la localidad (en inglés: site index y/o quality) cuando se relaciona con la edad del rodal; y
- b) constituye una variable básica en estimaciones del volumen actual o del incremento del mismo.

#### **4.1.2. Cuidados en las Mediciones de alturas**

Tanto para la determinación de la altura total como en la estimación de la altura comercial, hay necesidad de que sean tomados ciertos cuidados, para evitar errores graves en los resultados.

En las mediciones de alturas, árboles excesivamente inclinados deben ser descartados. Sin embargo, habiendo necesidad de medirlos, el error puede ser minimizado observándose en vez de la base del árbol, la proyección vertical de la punta (ápice).

Las lecturas deben ser evitadas en los días de vientos fuertes y la visibilidad tiene que ser buena, tanto de la base como del ápice del árbol.

Cuando las mediciones son realizadas partiendo de la distancia del observador al árbol, se evitan errores procurándose efectuar las lecturas a partir de un punto situado en el mismo nivel del cuello.

Empleándose aparatos para medir la altura, la línea de visión a los puntos de interés en el árbol no debe formar ángulo superior a  $45^\circ$  con la horizontal.

#### 4.1.3. Conceptos de diferentes tipos de alturas

Dependiendo del punto que se considere para leer la altura se pueden derivar diferentes conceptos de las mismas (Figura 4.2).

##### a) *Alturas Total (h)*

Es la distancia vertical a lo largo del eje del árbol comprendido entre el nivel del suelo y su ápice, o la extremidad superior de la copa.

##### c) *Altura del fuste ( $h_f$ )*

Es la distancia vertical a lo largo del eje del árbol definida entre la superficie del suelo y la base de la copa.

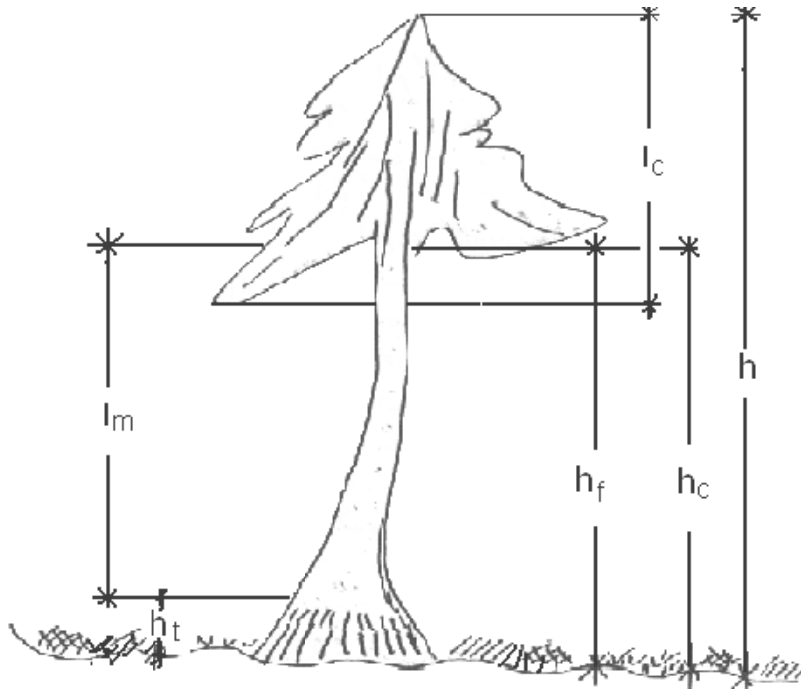


Figura 4.2: Muestra de la forma esquemática de los conceptos de alturas.

**d)            *Altura comercial ( $h_c$ )***

Es la distancia vertical a lo largo del eje del árbol, entre el nivel del suelo y la porción superior utilizable del fuste. Esta porción está determinada por bifurcación del fuste, gajos de gran porte, tortuosidad, forma irregular, defectos o por un diámetro mínimo utilizable.

El diámetro mínimo utilizable es la variable utilizada de acuerdo con el objetivo (uso) de la madera – por ejemplo: para carbón,  $d_{c/c}$  = de 5 a 3 cm.; para celulosa,  $d_{c/c}$  = de 8 a 7 cm.; para aserrio,  $d_{c/c} \geq 18$  cm. y para laminado,  $d_{c/c} \geq 25$  cm. –, con las condiciones de mercado y con el tipo de equipamiento disponible en la industria.

**e)            *Altura del tocón ( $h_t$ )***

Es la distancia entre la superficie del suelo y la porción del tronco dejado en el campo después de la tala del árbol.

**f)            *Longitud comercial ( $l_m$ )***

Es la distancia a lo largo del árbol, entre la altura del tocón y la última porción utilizable del fuste.

**g)            *Longitud de la copa ( $l_c$ )***

Es la distancia a lo largo del eje del árbol, entre el punto de inserción y el extremo superior de la copa.

## **4.2. Instrumentos para medir alturas**

Los instrumentos para medir alturas son denominados hipsómetros. Dos son los principios a partir de los cuales son construidos los hipsómetros:

### **a) Principios Geométricos**

Consisten en la relación entre triángulos semejantes, y

### **b) Principios trigonométricos**

Consisten en las relaciones angulares de triángulos rectángulos.

## **4.2.1. Instrumentos con base en el principio geométrico**

### **4.2.1.1. Plancheta Hipsométrica**

Consiste en una regla de madera, aluminio o acrílico, con dimensiones de 30 cm. de longitud, 10 a 15 de ancho y más o menos 3 mm. de grueso, graduada en milímetros.

La lectura de las alturas es determinada por un péndulo colocado en el centro de la plancheta, fijado en su borde superior. El borde inferior está graduado en mm., a partir del centro, donde se sitúa el punto cero de la escala. Cuando la plancheta está en la posición horizontal el péndulo sobrepone el punto cero de la escala.

Para estimar la altura de un árbol el observador se coloca a una distancia ( $L$ ) equivalente a la altura que, aproximadamente, juzgue al árbol a presentar. Se hace la primera visada en la parte superior del árbol - en el ápice, en caso que el interés sea la determinación de la altura total, o en el punto de bifurcación, en caso que se pretenda conocer la altura útil para aserrío – y sin retirar el aparato de la posición, se verifica la lectura ( $l_1$ ) mostrada, por el péndulo, en la escala. Se repite la operación, visando ahora la base del árbol se obtiene la lectura ( $l_2$ ).

Se anota las lecturas y con la cadena se mide la distancia hasta el árbol. Se debe resaltar. Se debe resaltar que la posición del operador sea tal que elimine problema de declive del terreno ya que el defecto de esta altere las lecturas, debiendo ser corregido.

La figura 4.3 siguiente muestra cómo graduar la plancheta hipsométrica y las lecturas del ápice y de la base del árbol.

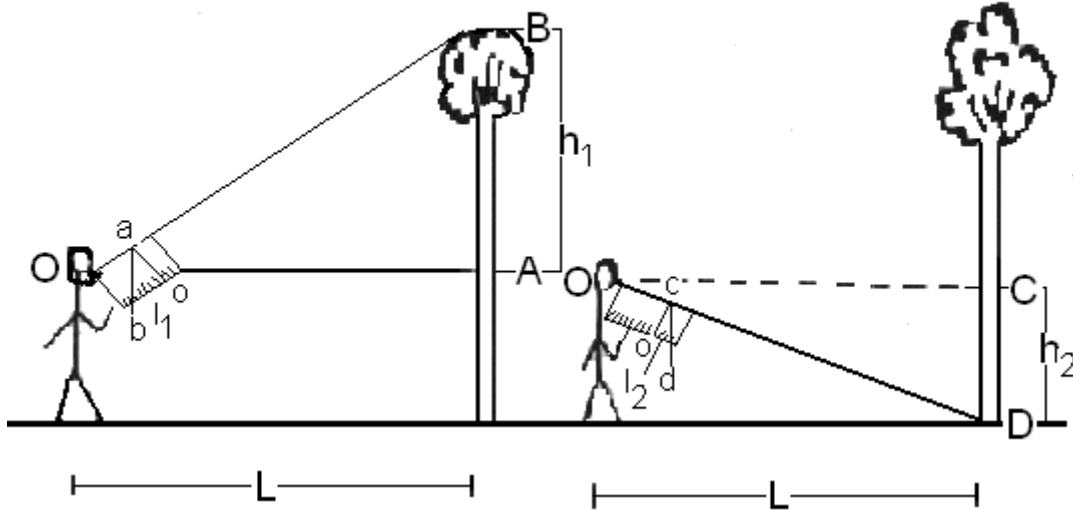


Figura 4.3: Medición de altura con la plancheta hipsométrica

$L$  = distancia del observador al árbol

$ob$  = lectura del ápice del árbol; y

$od$  = lectura de la base del árbol

La altura  $h_1$  es obtenida como:

$$\frac{ob}{oa} = \frac{AB}{OA} \therefore AB = \frac{ob * OA}{oa} = \frac{l_1 * L}{0,1}$$

La altura  $h_2$  es obtenida como:

$$\frac{od}{oc} = \frac{CD}{OC} \therefore CD = \frac{od * OC}{oc} = \frac{l_2 * L}{0,1}$$

Así la altura  $H$  del árbol estará dada por:



$$h = AB + CD \quad \text{ó} \quad h = \frac{L}{0,1} * l_1 + \frac{L}{0,1} * l_2$$

$$h = \frac{L}{0,1}(l_1 + l_2) \quad (4.1)$$

Si el operador estuviera posicionado a 25 metros del árbol la altura está dada por :

$$h = 250(l_1 + l_2) \quad (4.2)$$

#### 4.2.1.1.1. Ventaja y desventaja de la plancheta hipsométrica

- Como ventaja se tiene que ofrece precisión en la medida de altura y es un instrumento similar en uso al BLUME – Leiss.
- Tiene como desventaja que la medida de altura es afectada por la inclinación del terreno, pero si el operador se posiciona a nivel del árbol, se elimina esta desventaja.

#### 4.2.1.2. Método de la vara

Consiste en utilizar una vara cualquiera, de modo que la porción de encima de la mano tenga la longitud igual a la distancia del operador hasta la mano.

Durante el procedimiento de uso el operador se va a alejar o aproximar al árbol hasta que la línea de visada, pasando por la base inferior de la vara coincida con la base del árbol y la línea de visada, pasando por el extremo superior de de la vara coincida con el ápice del árbol. En esta situación basta estirar la cadena o cinta métrica del operador hasta el árbol que se tendrá la altura del árbol, como muestra la figura 4.4.

de donde se desprende que:

$$\text{el } \triangle Oab \approx \triangle OAB$$

$$AB = H \quad \therefore \quad OA = L$$

$$\frac{ab}{Oa} = \frac{AB}{OA} \quad \therefore \quad AB = \frac{ab * OA}{Oa}$$

Como  $ab = Oa$

Entonces:  $AB = OA$ , o sea,  $H = L$

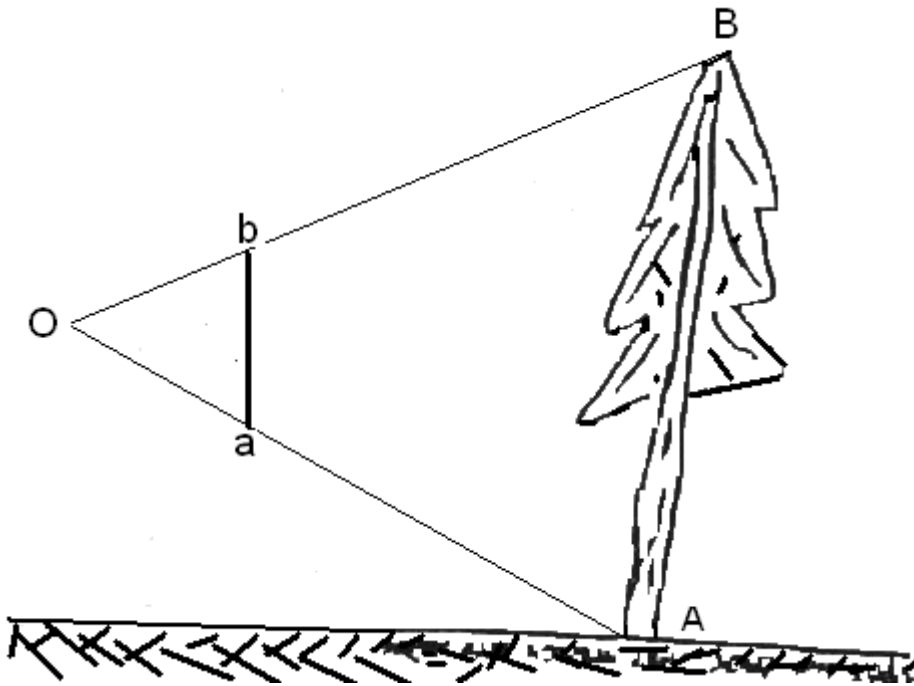


Figura 4.4: Medición de altura con la vara

#### 4.2.1.3. Hipsómetro de CHRISTEN

Este instrumento consiste en una regla de metal, madera o acrílico, con longitud total variable y está provista de una entalladura lateral de 30 cm. de longitud y de un pequeño agujero en su parte superior que permite tenerla suspendida verticalmente entre los dedos en el momento de realizar la operación (ver figura 4.5)

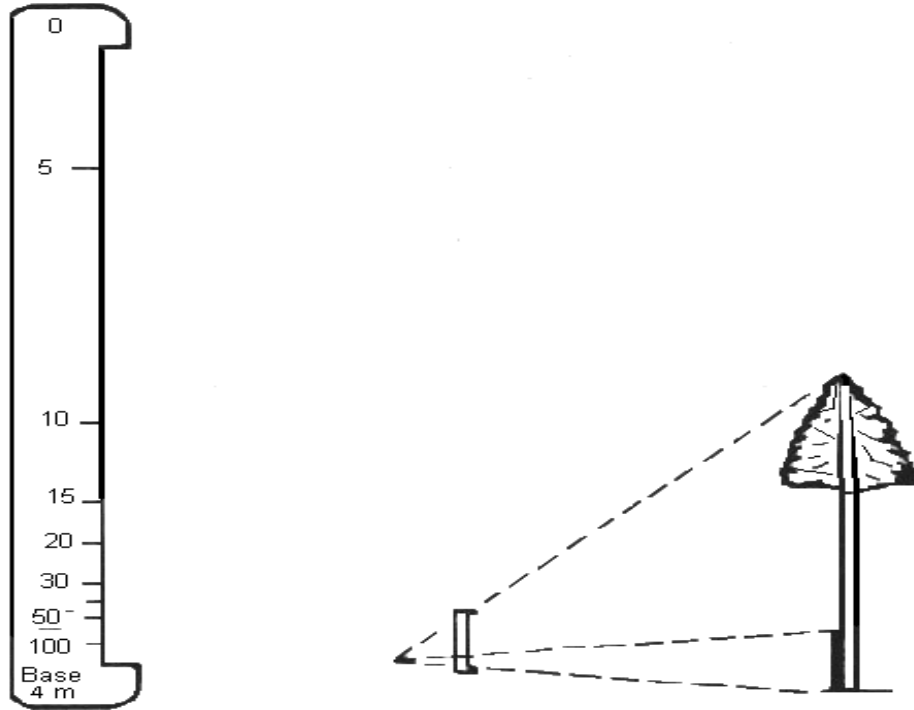


Figura 4.5: Hipsómetro de CHRISTIEN y modo de uso

La utilización del Hipsómetro de CHRISTEN en la medición de altura de un árbol se muestra en la figura 4.6.

Como se observa en la figura este instrumento requiere del empleo de una baliza de 4 metros de longitud que se coloca junto al árbol cuya altura se desea medir.

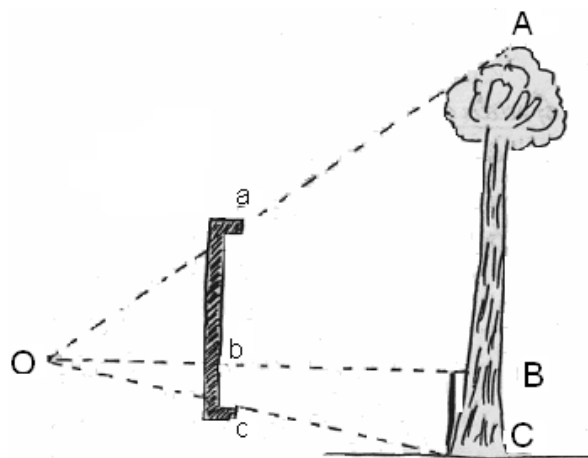


Figura 4.6: Medición de altura con el Hipsómetro de CHRISTEN

#### 4.2.1.3.1. Procedimiento para medir altura con el hipsómetro de CHRISTEN

Consiste en encuadrar el árbol, alejándose o aproximándose a éste, de modo que la visual pasando por **a** y **b** comprendan la cima y la base del árbol respectivamente. La línea de visada que coincide con el extremo superior de la baliza, indicará en el Hipsómetro de CHRISTEN la altura del árbol.

Considerándose en la figura los triángulos:  $\Delta Oab$ ,  $\Delta OAB$ ,  $\Delta Obc$ ,  $\Delta OBC$ ,  $\Delta Oac$ ,  $\Delta OAC$  y sus semejanzas, se permite llegar a la siguiente proporcionalidad:

$$\frac{ac}{bc} = \frac{AC}{BC}$$

donde:

$AC = H$  (altura del árbol=;

$BC =$  altura de la baliza (balizas entre 2 a 4 metros son las más comunes);

$ac =$  longitud de la entalladura (para árboles entorno a 12 m y 25 m,  $ac = 30$  cm. y para árboles con más de 25 m,  $ac = 60$  cm. o más).

En el caso de árboles altos y esta entalladura sea aumentada a 50 cm., 60 cm. ó más, posibilita que el operador se posicione a una distancia correspondiente a la altura del árbol, además de disminuir el adensamiento de la escala del instrumento. En caso que el operador use entalladura de 30 cm. en árboles mayores, él se va a posicionar tan distante del árbol que tendrá dificultad de efectuar la lectura de la altura.

Así se puede graduar el hipsómetro a través de la siguiente relación:

#### 4.2.1.3.2. Graduación del instrumento

Consiste en establecer valores de altura para el bosque a partir del valor mínimo, según se muestra en la tabla que se presenta a continuación:

bc ( en cm.)	H (alturas posibles)
18	5
15	6
12,8	7
11,2	8
.	.
.	.
.	.
4,5	20
3,0	30
2,57	35

Basta ahora graduar en el hipsómetro con valor igual a 18 cm. y allí marcar el valor correspondiente en altura, o sea, 5 m y así sucesivamente para el resto de los valores de bc.

#### 4.2.1.3.3. Ventajas del instrumento

- es de fácil construcción;
- la medida de altura es directa en el instrumento, prescindiendo de la medida de la distancia del observador hasta el árbol;
- la obtención de la altura es a partir de una única lectura; y
- la medida de la altura no es afectada por la inclinación del terreno, ya que la medida de distancia no es efectuada.

#### **4.2.1.3.4. Desventajas del instrumento**

- adensamiento de la escala para árboles de mayor porte, lo que genera imprecisión (observar que el aumento de la entalladura de la regla para 50 a 60 cm. reduce sensiblemente esta desventaja);
- solamente con la mano completamente inmóvil, en el acto de medición de la altura, podrá ser evitado errores de lectura;
- en rodales densos es extremadamente difícil de encontrar un punto apropiado desde el cual se podrá encajar el árbol en el instrumento; y
- es molesto cargar una baliza de 2 a 4 metros en el bosque.

#### **4.2.1.4. Método de las dos balizas**

Consiste en utilizar dos balizas, una menor y una segunda mayor, clavadas en el suelo y distante 1 metro una de otra, en la cual se marcará las líneas de visada correspondiente a la base y al ápice del árbol.

##### **4.2.1.4.1. Procedimiento de medición**

En el punto superior de la baliza **a** (la baliza menor) se mira la base del árbol a través de la baliza **b** (la baliza mayor), marcando en esta con un trazo el lugar de coincidencia. Después se repite la operación visando en la parte superior del árbol y marcando nuevamente el punto de coincidencia en la otra baliza – se procura hacer la línea de visada sobre el extremo de la otra baliza para evitar dos marcas -.

Midiéndose la distancia entre los dos puntos marcados y multiplicándola por la relación de la distancia entre las dos balizas – usarse siempre números enteros – se tiene la altura del árbol. La figura 4.7 que aparece abajo ilustra el procedimiento de medida.

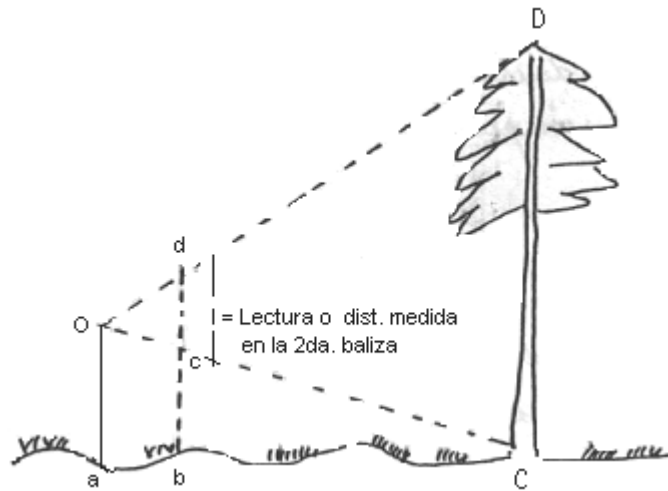


Figura 4.7: Medición de altura por el método de las dos balizas

el  $\triangle OCD \approx \triangle Ocd$

$$\frac{cd}{Oc} = \frac{CD}{OC} \quad \therefore \quad CD = \frac{cd * OC}{Oc}$$

$$H = l_1 * L \quad (4.3)$$

Siendo:

$$Oc = 1 m$$

$$CD = H$$

$$OC = L \text{ (distancia del operador al árbol)}$$

$dc =$  distancia entre los puntos marcados.

#### 4.2.1.5. Método de superposición de ángulos iguales

Consiste en utilizar un objeto alargado cualquiera o un lápiz para conseguir estimar la altura del árbol.

El procedimiento de medida consiste en colocar junto al árbol una baliza, de tal manera que el operador, utilizando un lápiz o algo similar, se aproxime o se aleje del árbol hasta que la línea de visada, pasando por la parte inferior del lápiz, coincida con la parte inferior de la baliza y la línea de visada, pasando por la parte superior del lápiz, coincida con la parte superior de la baliza. Después de esta operación, el observador moverá el brazo para arriba de modo que la línea de visada, pasando por la parte inferior del lápiz, coincida con el extremo superior de la baliza, y la línea de visada, pasando por la parte superior del lápiz, coincida con algún punto de referencia del árbol, y así sucesivamente. La figura 4.8 representada abajo ilustra el procedimiento de medida del árbol.

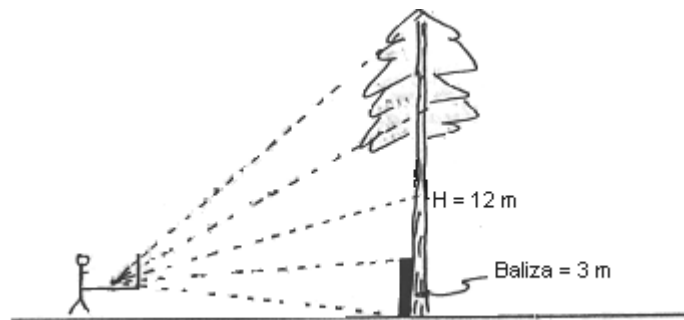


Figura 4.8: Medición de altura por superposición de ángulos iguales

#### **4.2.1.6. Medición de altura por la proyección de sombra**

Consiste en determinar la altura del árbol por la sombra proyectada al suelo, con el auxilio de una vara de longitud determinada, según se ilustra en la figura 4,9.



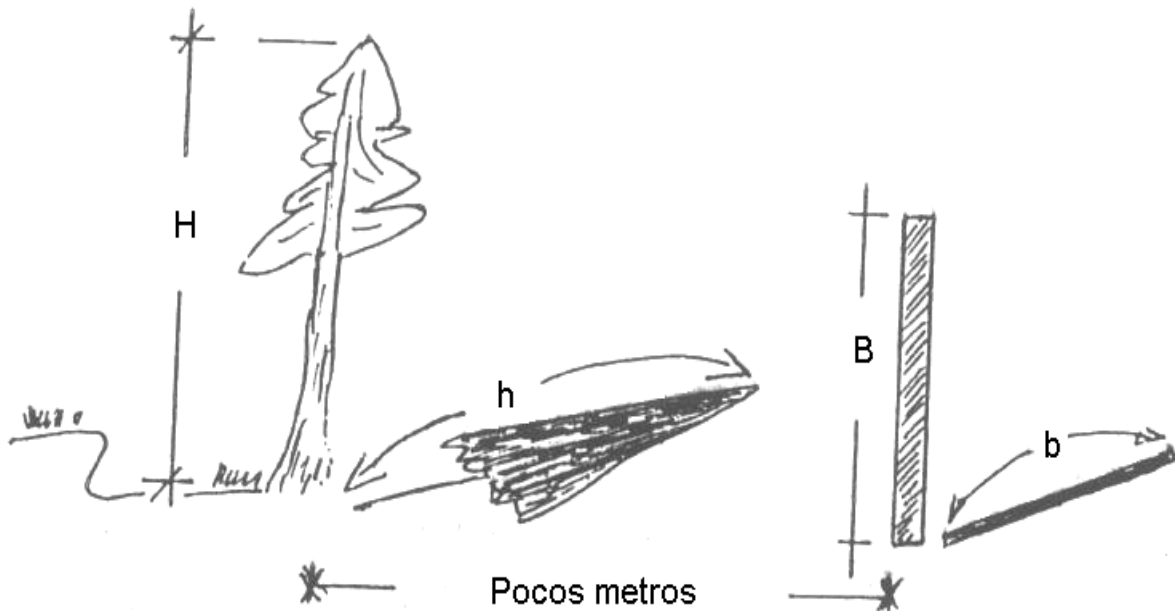


Figura 4.9: Medición de la altura por la proyección de la sombra

Por semejanza de triángulos se deduce que:

$$\frac{H}{h} = \frac{B}{b} \quad \therefore \quad H = \frac{B \cdot h}{b} \quad (4.4)$$

donde  $B$ ,  $b$  y  $h$  son fácilmente de medir con una cinta métrica o una cadena.

El árbol a ser medido debe estar perfectamente en posición vertical, sino habrá un gran error en la determinación de la altura.

#### 4.2.2. Instrumentos con base en el principio trigonométrico

##### 4.2.2.1. Generalidades

De una manera general, estos instrumentos al ser usado en la medición de altura, se acepta como errores máximos de alturas valores entre 50 y 80 cm., dependiendo del porte del árbol.

Cuando se mide la altura de árboles con instrumentos basados en el principio trigonométrico, son necesaria dos lecturas, una en el ápice del árbol y otra en la base, para obtener la altura del árbol a una distancia horizontal conocida (ver figura 4.10).

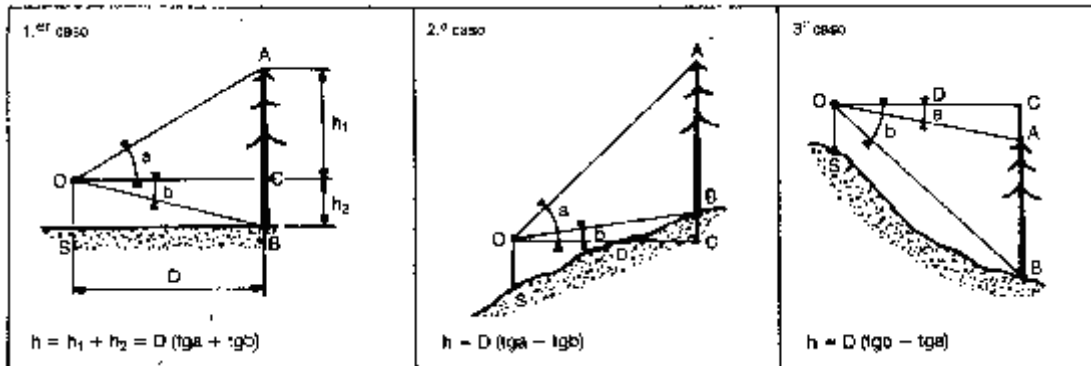


Figura 4.10: Casos que se presentan en la medición de altura

En la siguiente tabla se muestra cómo proceder para obtener la altura de un árbol

Lectura superior	Lectura inferior	Altura del árbol	Ubicación del árbol en el terreno
+	-	$H = l_i + l_s$	En terreno llano
-	-	$H = l_s - l_i$	Pendiente arriba
+	+	$H = l_i - l_s$	Pendiente abajo

Como se puede observar en la figura 4.10, las situaciones que se pueden presenta en la medición de las alturas de los árboles son:

**Primer caso:** Si el terreno presenta inclinación inferior a 4° ó 7%, entonces el valor de la altura es obtenido mediante la suma de la lectura a la base y a la cima del árbol.

**Segundo caso:** Si el terreno está inclinado de manera que el operador está posicionado en desnivel, es decir pendiente abajo con relación al árbol, entonces el valor de la altura es obtenido restando la lectura a la base de la lectura a la cima.

**Tercer caso:** Si el terreno está inclinado de manera que el operador está posicionado en desnivel, es decir pendiente arriba con relación al árbol, el valor de la altura es obtenido restando la lectura a la cima de la lectura a la base.

#### 4.2.2.2. Principio de graduación de los instrumentos

En correspondencia con los tres casos que se presentan en la medición de alturas con instrumentos basados en principios trigonométricos, se explica a continuación el procedimiento de cálculo para leer la altura directamente en el instrumento.

##### 4.2.2.2.1. En terreno llano o ligeramente inclinado

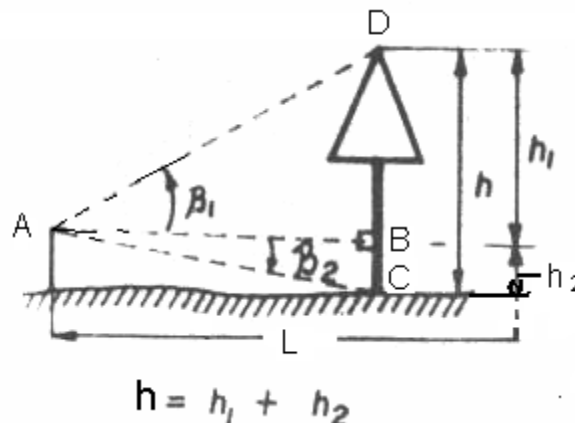


Figura 4.11: Medición de la altura en terrenos llanos

$$h = BD + BC = h_1 + h_2$$

$$\tan g(\beta_2) = \frac{BC}{AB} \Rightarrow \tan g(\beta_2) = \frac{BC}{L} \Rightarrow BC = L * \tan g(\beta_2) = h_2$$

$$\tan g(\beta_1) = \frac{BD}{AB} \Rightarrow \tan g(\beta_1) = \frac{BD}{L} \Rightarrow BD = L * \tan g(\beta_1) = h_1$$

$$h = L * \tan g(\beta_1) + L * \tan g(\beta_2)$$

$$h = L(\tan g(\alpha) + \tan g(\beta)) = h_{11} + h_2 \quad (4.5)$$

#### 4.2.2.2. En terrenos inclinados y el operador ubicado pendiente debajo de la base del árbol

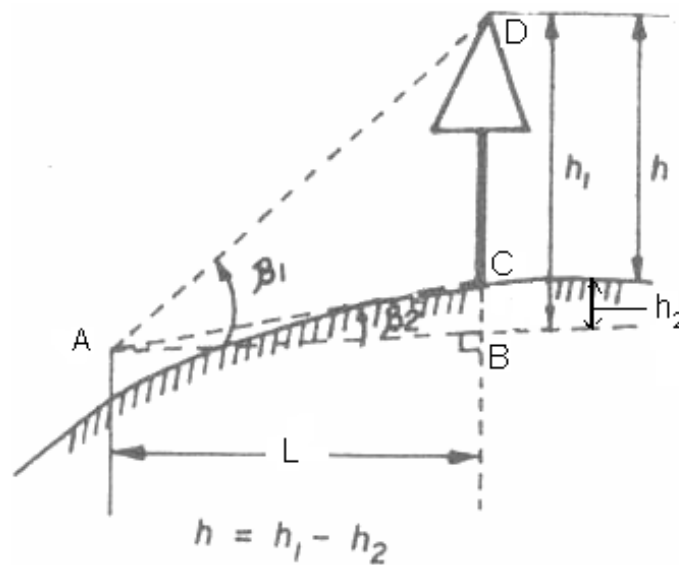


Figura 4.12: Medición de la altura en terrenos inclinados con el observador ubicado pendiente debajo de la base del árbol.

$$h = BD - CB$$

$$\tan g(\beta_2) = \frac{CB}{AB} \Rightarrow \tan g(\beta_2) = \frac{CB}{L} \Rightarrow CB = L * \tan g(\beta_2) = h_2$$

$$\tan g(\beta_1) = \frac{BD}{AB} \Rightarrow \tan g(\beta_1) = \frac{BD}{L} \Rightarrow BD = L * \tan g(\beta_1) = h_1$$

$$h = L * \tan g(\beta_1) - L * \tan g(\beta_2)$$

$$h = L(\tan g\beta_1 - \tan g(\beta_2)) \quad (4.6)$$

#### 4.2.2.2.3. En terrenos inclinados y el operador ubicado pendiente Arriba de la cima del árbol

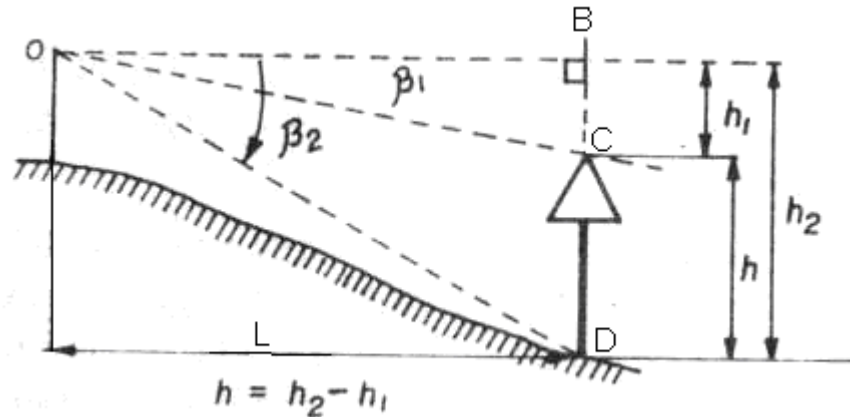


Figura 4.13: : Medición de la altura en terrenos inclinados con el observador ubicado pendiente arriba de la cima del árbol.

$$h = BD - BC$$

$$\tan g(\beta_2) = \frac{BD}{AB} \Rightarrow \tan g(\beta_2) = \frac{BD}{L} \Rightarrow BD = L * \tan g(\beta_2) = h_2$$

$$\tan g(\beta_1) = \frac{BC}{AB} \Rightarrow \tan g(\beta_1) = \frac{BC}{L} \Rightarrow BC = L * \tan g(\beta_1) = h_1$$

$$h = L * \tan g(\beta_2) - L * \tan g(\beta_1)$$

$$h = L(\tan g(\beta_2) - \tan g(\beta_1)) \quad (4.7)$$

En instrumentos como el clinómetro (nivel de ABNEY, SUUNTO) se obtiene la altura a partir de un ángulo  $\beta_2$  correspondiente a la base del árbol y un ángulo  $\beta_1$  correspondiente a la cima del árbol, además de la distancia ( $L$ ) del observador hasta el árbol; luego:  $h = L(\tan g \beta_2 + \tan g \beta_1)$ , si el terreno llano o con pendiente que no exceda los 4° ó 7%.

Ya en instrumentos como el BLUME – LEISS y el HAGA se obtiene la altura a través de la lectura de números que ya expresan el producto  $L \cdot \tan \beta_2$  y  $L \cdot \tan \beta_1$  utilizándose, para esto, las escalas definidas y los instrumentos.

#### **4.2.2.3. Hipsómetros usados en la medición de altura de los árboles**

##### **4.2.2.3.1. Hipsómetro BLUME- LEISS**

Este es uno de los instrumentos que más se utiliza en el mundo y tiene las siguientes características (ver figura 4.15):

- tiene dos péndulos que estabilizan por gravedad, uno de ellos mide la altura y el otro mide la inclinación del terreno en grados y en porcentajes;
- la escala está graduada para distancia de 15, 20, 30 y 40 m;
- consta de dos botones, uno para trabar y el otro para destrabar los péndulos, los cuales cuando se accionan traban o destraban simultáneamente los dos péndulos;
- tiene un sistema óptico (o prisma de doble refracción) para determinar distancia horizontal (telémetro), complementado por una mira prieta con plaquitas blancas para distancias de 0; 15 y 30 m de un lado y 0; 20 y 40 m del otro lado (ver figura 4.16); y
- tiene una escala en grados para medir la inclinación del terreno o pendiente, la cual es necesario conocer para la corrección de la distancia horizontal en terrenos inclinados.



Figura 4.15: Hipsómetro MLUME-LEISS

Donde:

1 = Visor que funciona como telémetro;

2 = ocular;

3 = objetivo para trazar las visuales;

4 = Perpendículo de las escalas es liberado (suelto) por el accionamiento de un botón;

5= Dispositivo que traba los péndulos; y

6 = Escalas del hipsómetro.

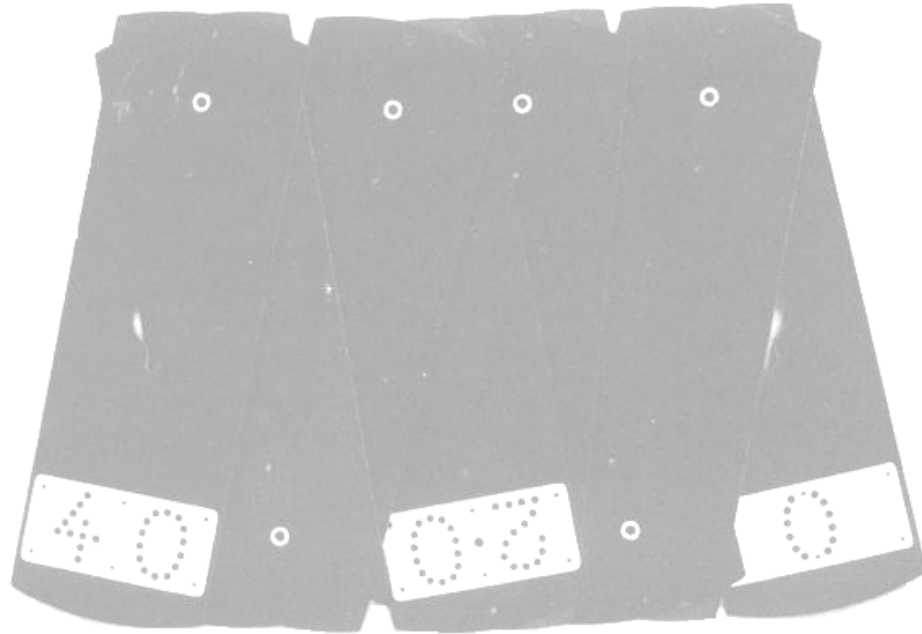


Figura 4.16: Mira plegable que complementa al hipsómetro BLUME\_LEISS PARA determinar distancia horizontal

El procedimiento o pasos para la medición de las alturas con el hipsómetro de BLUME-LEISS es el siguiente:

- escoger la distancia conveniente, posicionándose como mínimo a una distancia igual a la altura del árbol;
- tratar siempre de eliminar el efecto de la inclinación del terreno y visualizar bien la base y el ápice del árbol;
- con el telémetro, aproximarse o alejarse del árbol hasta que la distancia deseada sea alcanzada. Este hecho sucede cuando la faja blanca con la distancia deseada superpone la faja blanca con el cero. Otra opción es medir la distancia con la cadena o con la cinta métrica;



- Mide la distancia horizontal, visualiza la base y el ápice del árbol y suma o resta estas lecturas, según se corresponda con algunos de los de la figura 4.10 y ejemplificados en los epígrafes 4.2.2.2.1 al 4.2.2.2.3; y
- En terrenos con inclinación mayor que 4° ó 7% de pendiente, se debe corregir el efecto de la inclinación o pendiente del terreno.

En **un terreno llano**, una vez escogida la escala de la distancia en la cual se efectuarán las lecturas de la base y del ápice del árbol, se posiciona a esta distancia del árbol y se efectúan las lecturas.

En la situación en que no se pueda estar posicionado del árbol a una distancia correspondiente a las escalas del BLUME-LEISS, en este caso se lee la altura en la escala del instrumento más próxima a la distancia del operador al árbol y se corrige la altura leída a través de la fórmula:

$$h_c = \frac{h_1 * L}{L_1} \quad (4.8)$$

Donde:

$h_c$  = altura corregida;

$h_1$  = altura leída en el instrumento utilizado;

$L$  = distancia del operador hasta el árbol; y

$L_1$  = distancia en que se efectuó la medida, es decir, la lectura.

Cuando el árbol que se desea medir está situado en un terreno inclinado y la lectura del ápice y a la base fueran del mismo lado en relación al cero de la escala, basta

substraer el menor del mayor valor y hacer la corrección del efecto de la inclinación, a través de la fórmula:

$$h_c = h - (h * f) \quad (4.9)$$

#### **4.2.2.3.2. Hipsómetro HAGA**

El hipsómetro Haga se caracteriza por los siguientes aspectos:

- tiene un péndulo oscilante que se estabiliza por gravedad;
- está graduado para distancias de 15, 20, 25, 30 m y 66 pies;
- tiene escala en porcentaje para medición de la inclinación, necesaria para la corrección de la distancia horizontal en terrenos inclinados;
- Las escalas son visibles una de cada vez – sistema de rosca sin fin;
- Tiene botones para trabar y liberar el péndulo; y
- El telémetro es opcional, así como la mira.

El procedimiento para la medición es idéntico al usado anteriormente para el BLUME-LEISS.

La figura 4.17 muestra un esquema de este instrumento con sus partes esenciales.

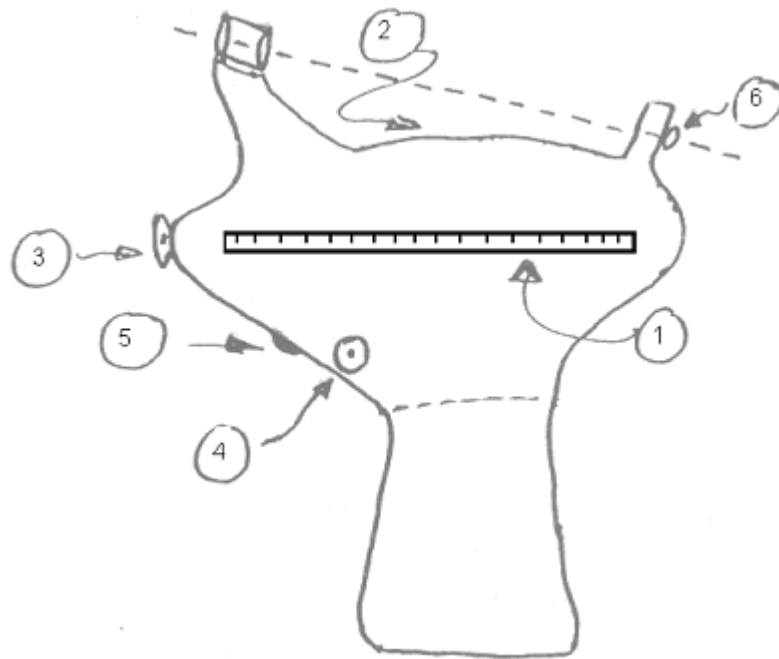


Figura 4.17: Esquema del Hipsómetro HAGA

Donde:

1 = visor de la escala;

2 = telémetro acoplado al aparato con funcionamiento dependiente de la mira;

3 = dispositivo que desplaza las escalas;

4 = botón para trabar el péndulo;

5 = dispositivo para destrabar el péndulo indicador de la lectura; y

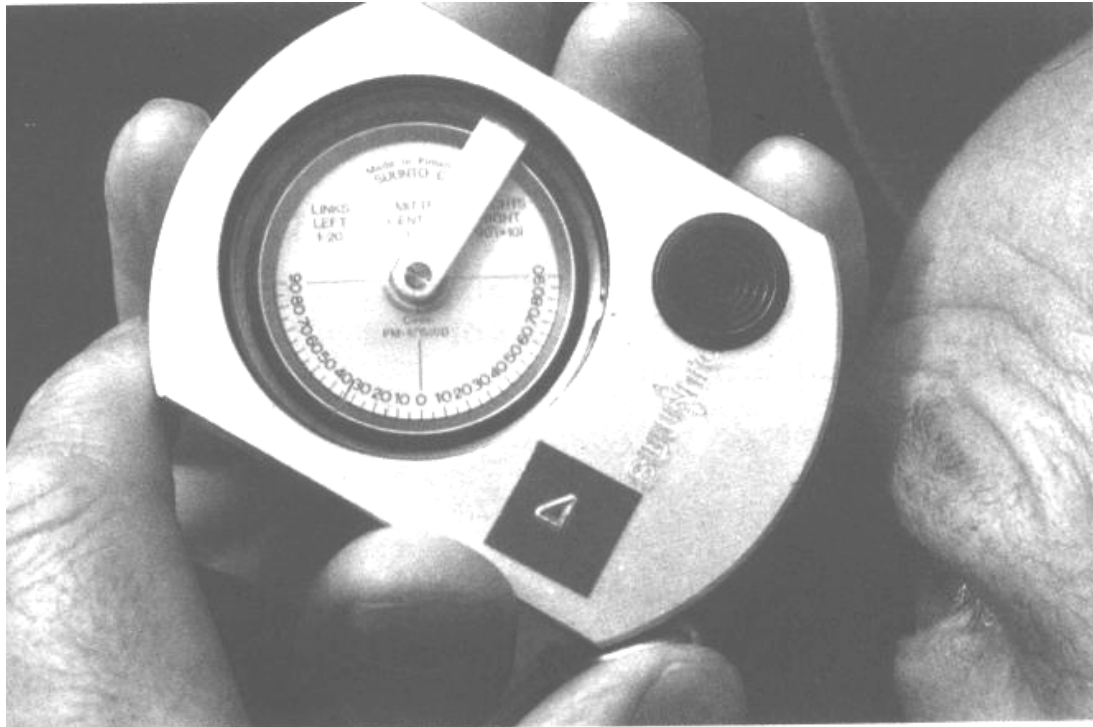
6 = ocular para visualizar el lugar de la lectura superior e inferior.

#### 4.2.2.2.3. Clinómetro SUUNTO

El Clinómetro SUUNTO tiene las siguientes características:

- presenta dos escalas, una en por ciento y la otra en grados;

- presenta escalas métricas y telémetro que posibilita verificar distancia de operador al árbol; y
- es un instrumento, según muestra la figura 4,18, en que el operador necesita trabajar con los dos ojos abiertos, uno visualizando las escalas donde se efectúa las lecturas y el otro visualizando la base y el ápice del árbol.



**Figura 4.18: Clinómetro SUUNTO**

El procedimiento para la medición de alturas con este instrumento es idéntico al usado para el HAGA y el BLUME-LEISS.

#### **4.2.2.2.4. Medición de altura a distancias diferentes de las utilizadas en la escala del instrumento**

Para el hipsómetro HAGA y los demás hipsómetros, existe la posibilidad que se calcule la altura, incluso cuando la distancia es diferente de la utilizada en la escala.

La altura está dada de la siguiente manera:

$$h = \frac{l_1 + l_2}{e} * L \quad (4.10)$$

Ejemplo:  $l_1 = 36$  ;  $l_2 = 9$  ;  $e = 30$  ;  $L = 20$  m

$$h = \frac{36 + 9}{30} * 20 = 30,0 \text{ m}$$

donde:

$l_1$  = medida superior, es decir al ápice;

$l_2$  = Medida inferior, o sea a la base del árbol;

$e$  = escala usada en las lecturas; y

$L$  = distancia usada (20 m).

En la tabla que se muestra más abajo aparece un ejemplo de las alturas estimadas según los instrumentos usados y de acuerdo con la inclinación del terreno.

Árbol	Dist. (m)	Inclinación		Lectura		$H_i$	Factor	$h_c$	Instrum.
		Grados	%	Super. Ápice	Infer. Base				
1	15	3	-	+14	-2	16	-	16	B. LEISS
2	20	15	-	+25	+6	19	0,07	17,6	B. LEISS
3	20	-	-	+18	+4	14	-	14	HAGA
4	30	-	-	+17	+2	15	-	15	B. LEISS

#### 4.2.2.2.5. Medición de la altura con el clinómetro o nivel de ABNEY

Si se utiliza el clinómetro o nivel de ABNEY, entonces las lecturas obtenidas en el instrumento no son directamente la altura del árbol. Esta se obtiene por la fórmula:

$$h = L(\text{tong} \alpha \pm \text{tang} \beta) \quad (4.11)$$

0

$$h = \frac{L}{100}(l_i \pm l_s) \quad (4.12)$$

El nivel de ABNEY (ver figura 4.19) da la posibilidad de obtener la altura utilizando una escala en grados (fórmula 4.11) o una escala en por ciento mediante la fórmula 4.12.



Figura 4.19: Nivel de ABNEY

Supongamos algunas situaciones:

##### a) Si se desea la altura de un árbol en un terreno llano

Con este instrumento se obtiene la lectura de un ángulo hacia la base del árbol,  $5^\circ$  por ejemplo y otro hacia el ápice del árbol, o sea  $20^\circ$ , conforme se ilustra en la figura 4.20.

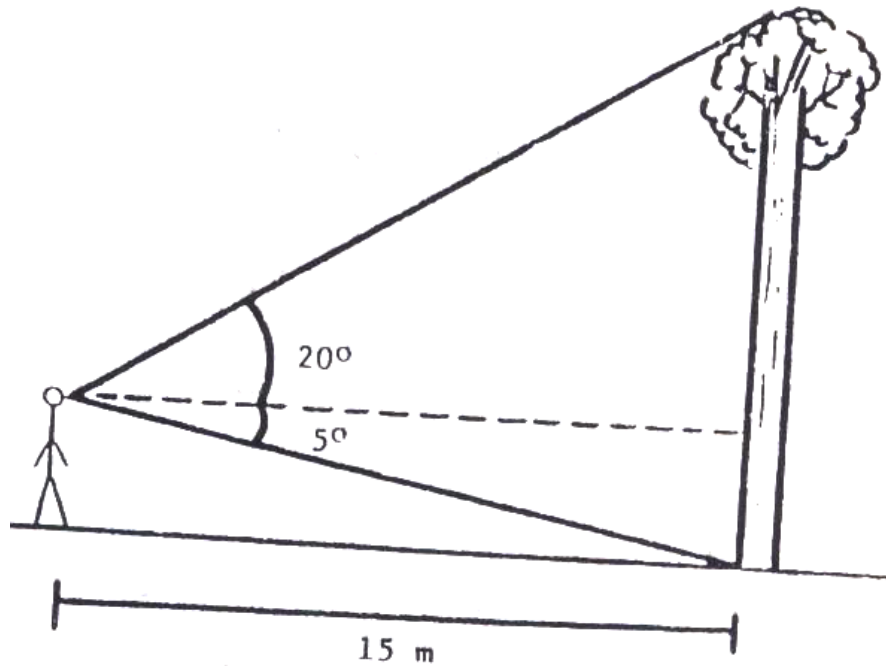
Luego, aplicando la fórmula 4.11 la altura será:

$$h = L(\text{tang}\alpha + \text{tang}\beta)$$

$$h = 15(\text{tang}5^\circ + \text{tang}20^\circ)$$

$$h = 15(0,0874 + 0,3639)$$

$$h = 6,8 \text{ m}$$



**Figura 4.20: Cómo obtener lectura de la base y el ápice de un árbol**

En el caso de desear trabajar con porcentaje, se tiene que obtener la inclinación. Estos valores de inclinación pueden obtenerse de los instrumentos, como son las medidas en grados o a través de relaciones matemática. Si son efectuadas medidas en grados:

$$d = 100 * \text{tang}\alpha \quad (4.13)$$

donde:

$d$  = declive o inclinación del terreno.

Así, para el ejemplo presentado, se tiene que las medidas en porcentaje son:

$$d_1 = 100 * 0,0874 = 8,74\%$$

$$d_2 = 100 * 0,36,39 = 36,39\%$$

$$h = \frac{L}{100}(8,74 + 36,39) = 6,8 \text{ m}$$

O también, por regla de tres simple:

8,74-----100 m (es el desnivel en 100 M)

x ----- 15 m (cuál es el desnivel en 15 m)

$$x = 1,31 \text{ m}$$

36,39 ----- 100 m

x ----- 15 m

$$x = 5,46 \text{ m}$$

$$h = 1,31 + 5,46 = 6,8 \text{ m}$$

#### **b) Si se desea la altura en un terreno inclinado**

Consideremos un terreno cuyo declive es 18% donde, como muestra la figura 4.21, fueron hechas las lecturas de un árbol que estaba distante 20 m del operador.

Aquí, aplicando la fórmula 4.12 se tiene que:

$$h = \frac{L}{100}(l_s - l_i)$$

donde:

$l_s$  = lectura al ápice del árbol; y



$l_i$  = lectura hacia la base del árbol

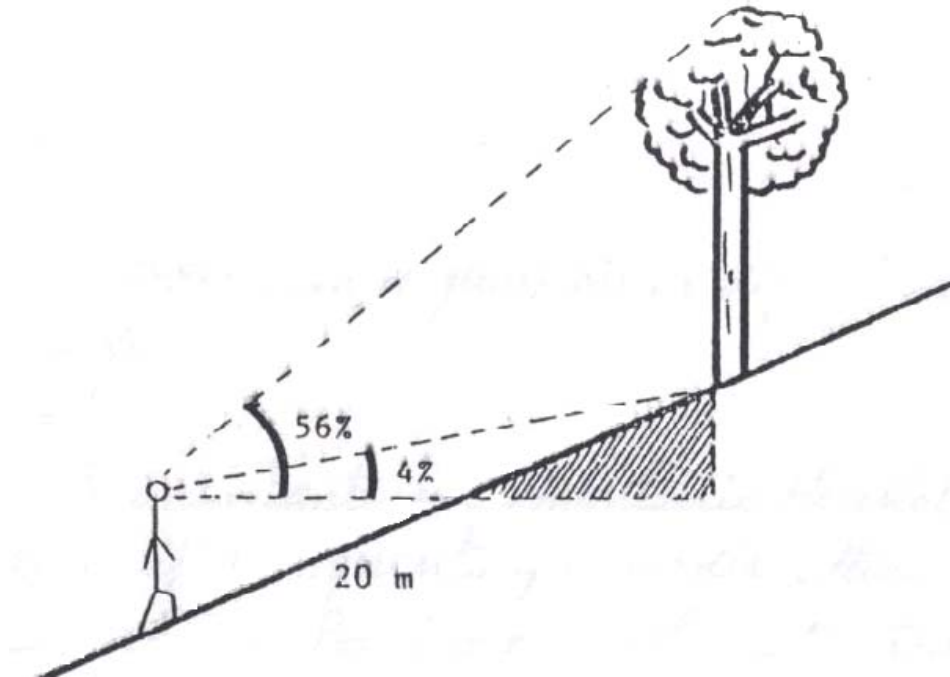


Figura 4.21: Lectura de la base y del ápice de un árbol en un terreno inclinado

$$h = \frac{20}{100}(56 - 4)$$

$$h = 10,4 \text{ m}$$

Sin embargo, es necesario corregir la distancia horizontal a causa de la inclinación de 18%. De manera práctica, se hace la corrección de la altura conforme cualquiera de las siguientes posibilidades que se presentan.

- $h_c = h * \cos^2 \alpha$  (4.14)

18% de pendiente equivale a  $8^\circ 10'$ , cuyo coseno es 0,989859.

Por tanto  $\cos^2(8,1^\circ) = 0,989859^2 = 0,97982$ , luego:

$$h_c = 10,4 * 0,97982 = 10,19 \approx 10,2 \text{ m}$$

donde:

$h_c$  = altura corregida del árbol

- $h_c$  también se puede obtener por la fórmula :

$$h_c = h - (h * f) \quad (4.15)$$

Por tanto:  $h_c = 10,4 - (10,4 * 0,02) = 10,4 - 0,208 = 10,19 \approx 10,2$

Donde:

$h_c$  = altura corregida

f = factor de corrección. Este factor se puede obtener por:

$$f = 1 - \cos^2\alpha \quad \text{ó} \quad f = \sin^2\alpha$$

Este factor (f) puede ser obtenido directamente de la tabla abajo representada

Tabla 4.2: Factores de corrección de altura en función de la pendiente

Grados	Tangentes	Porcentaje	Factor
4	0,0699	6,99	0,005
5	0,0875	8,75	0,01
6	0,1051	10,51	0,01
7	0,1228	12,28	0,01
8	0,1405	14,05	0,02
9	0,1583	15,83	0,02
10	0,1763	17,63	0,03
11	0,1944	19,44	0,04
12	0,2126	21,26	0,04
13	0,2309	23,09	0,05
14	0,2493	24,93	0,06
15	0,2679	26,79	0,07
16	0,2867	28,67	0,08
17	0,3057	30,57	0,09
18	0,3249	32,49	0,10
19	0,3443	34,43	0,11
20	0,3640	36,40	0,12
21	0,3839	38,39	0,13
22	0,4040	40,40	0,14
23	0,4245	42,45	0,15
24	0,4452	44,52	0,17
25	0,4663	46,63	0,18
26	0,4877	48,77	0,19
27	0,5095	50,95	0,21
28	0,5317	53,17	0,22

## CAPITULO 5. VOLUMETRÍA

### 5.1. Generalidades

**Volumen** es la magnitud tridimensional de un objeto, expresado en unidades cúbicas, las cuales son derivadas de alguna unidad de longitud.

En término de aprovechamiento comercial el tranco (fuste) es la parte más importante del árbol, y por esta razón en él está basado el volumen del árbol.

En la determinación del volumen de árboles, se quiere conocer principalmente diferentes tipos de surtidos (ver figura 5.1):

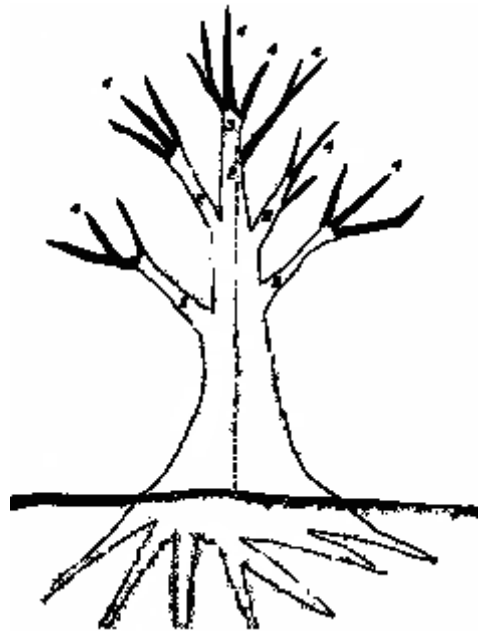


Figura 5.1: tipos de surtidos de madera de un árbol