CAPITULO 3. MEDICIÓN DE DIÁMETROS

3.1. Diámetro a la altura del pecho (DAP), circunferencia a la altura del pecho (CAP) y área basal (g)

En Dendrometría – medición o mensuración de árboles – la variable diámetro o circunferencia es la más fundamental y frecuente medida a ser obtenida del árbol por el técnico forestal, constituyendo la base de cálculo para la **estimación del volumen** y la indicación del **estado de desarrollo del árbol**.

La importancia básica en la medición de esta variable es que:

- afecta el cálculo del volumen, área basal y peso;
- es accesible. Implica gran precisión y mayor economía en la toma de esta medida;
- posibilita conocer la distribución diamétrica del bosque
- posibilita definir el grado de ocupación de un local del bosque a través de la determinación de la densidad.

3.1.1. Consideraciones sobre el diámetro y la circunferencia.

La medición del diámetro es efectuada a 1,30 m en Cuba y Brasil, 1,37 m en los Estados Unidos de Norteamérica y 1,25 m en Japón por simple comodidad.

Es muy Común la medición de la circunferencia (C) y su posterior transformación en diámetro. Para tal transformación basta utilizar la siguiente relación:

$C = 2\pi R$ (3.1)

Donde: C = Circunferencia

R = Radio

$\pi = 3{,}1415927$

El radio a su vez corresponde a la mitad del diámetro (D), luego:

$R = \frac{D}{2}$ (3.2)

Substituyendo (3.2) en (3.1) se tiene:

$$C = 2\pi \frac{D}{2}$$

$$C = \pi D \qquad \text{ó} \qquad D = \frac{C}{\pi}$$

3.1.2. Medición de los diámetros y/o de las circunferencias.

Al efectuar mediciones de diámetros y/o circunferencias es Común que surjan una serie de dudas debido a la forma de cómo se presentan los árboles, pudiéndose encontrar las siguientes situaciones en los árboles, como se muestra a continuación:

a) árboles situados en un plano horizontal (terreno llano)

b) árboles situados en un terreno inclinado

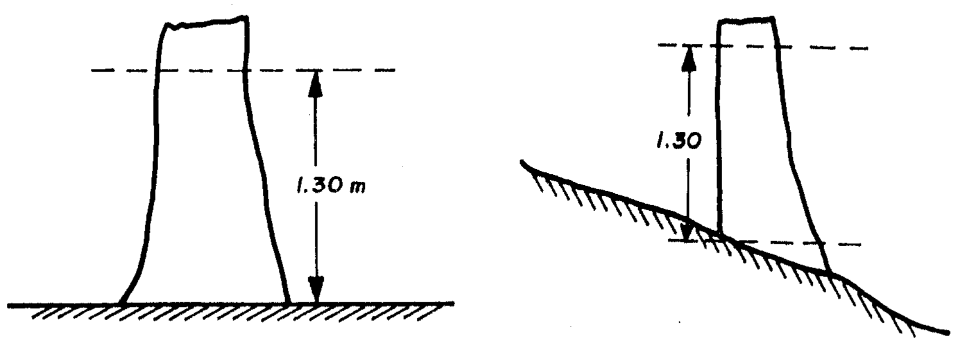
c) árboles inclinados

d) árboles con deformaciones en la base (aletones, etc.)

e) árboles con deformaciones a la altura de 1,30 m del suelo (altura del pecho)

f) árboles bifurcados encima del DAP

g) árboles bifurcados abajo del DAP.



(a) (b)

Figura 3.1: Medición del diámetro: a) en terreno llano; b) en terreno inclinado.

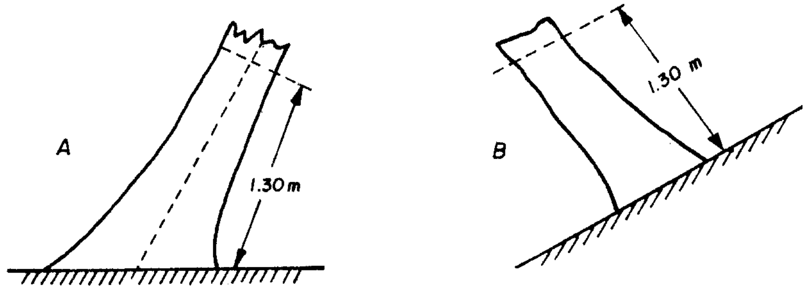


Figura 3.2: Medición del diámetro en árboles inclinados: A) en terreno llano; B) en terreno inclinado.

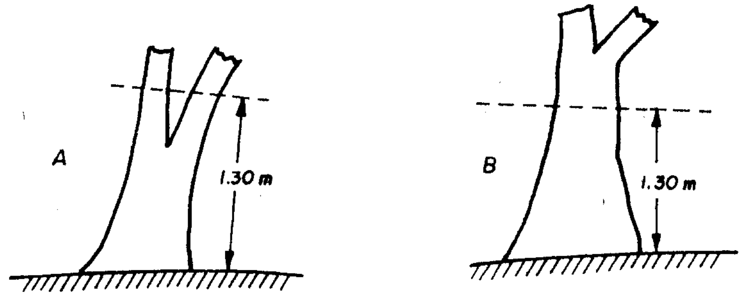


Figura 3.3: Medición del diámetro en árboles bifurcados: A) debajo de 1.30 m; B) encima de 1.30 m.

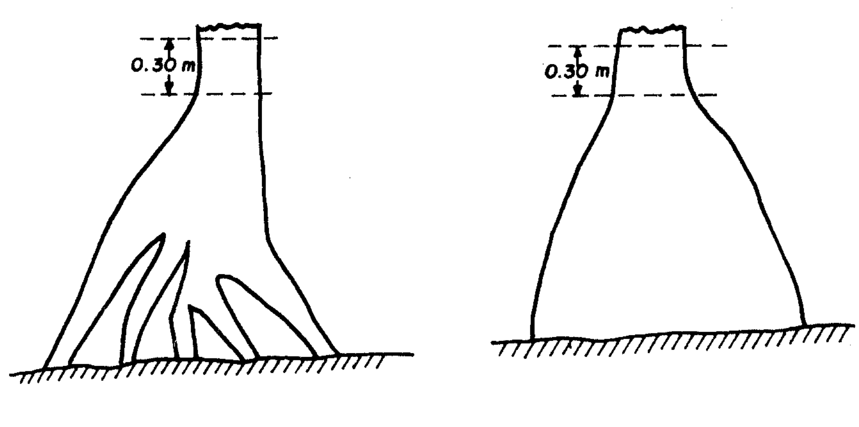


Figura 3.4: Medición del diámetro en árboles con aletones, gamba y raíces tubulares

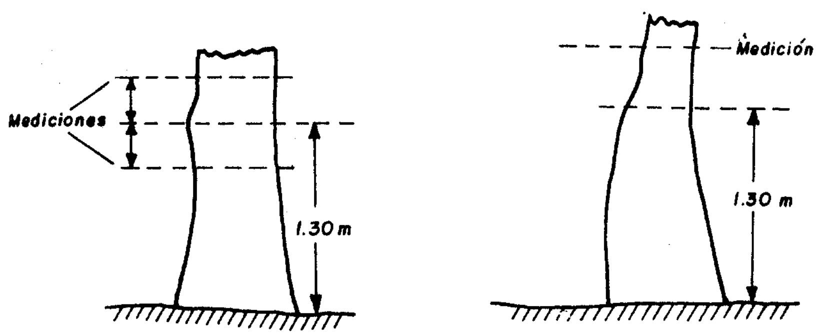


Figura 3.5: Medición del diámetro en árboles con deformaciones a 1.30 m

La medición del diámetro y/o la circunferencia a la altura del pecho fue convencionalmente adoptada como referencia por las siguientes razones:

- es la altura en que el operador encuentra más facilidad para manejar los instrumentos para medir diámetros y/o circunferencias; y
- la mayoría de los árboles adultos de zonas tropicales y templadas poseen "aletones" y otras deformaciones y la influencia de estos, en la forma del tronco, a 1,30 m es bastante reducidas.

¿Para objetivos de investigación es preferible medir el diámetro o la circunferencia? La respuesta a esta pregunta es afirmativa a favor de la circunferencia, es decir, debido a la mayor sensibilidad se mide la circunferencia, sino veamos:

- se hacen dos mediciones de DAP y CAP en dos años consecutivos, obteniéndose los siguientes resultados:

1960----- DAP = 30,0 cm.

CAP = 94,2 cm.

1961----- DAP = 31,0 cm.

CAP = 97,3 cm.

Un error de 1 cm. en el DAP resulta en más de 3,0 cm. de error en la CAP, al paso que un error de 1 cm. en la CAP resulta en un valor inferior a 0,3 cm. en el DAP.

En el vaso en que los árboles e presenten bifurcados, se debe medir el diámetro de la rama 1, obtener su volumen; medir el diámetro de la rama 2 y obtener su volumen también. Después sumar los dos volúmenes. En la ficha (formulario) de campo se debe colocar como observación "**árbol bifurcado**", para que no se tenga la impresión de ser una pieza única. En el caso de que la altura de ambas ramas de la bifurcación sea la misma, se puede calcular un único volumen para el árbol a partir del diámetro obtenido de la siguiente forma:

D = $\sqrt{D_1^2 + D_2^2}$

3.2. Instrumentos usuales para la medición de diámetro.

Hay diversos instrumentos para medición de diámetros. Sin embargo, comentaremos apenas los más prácticos y usuales. Los más prácticos y usuales son:

a) Forcípula o Calibre

b) Cinta métrica o Diamétrica

c) Vara de Biltimore

d) Visor de Diámetro de BITTERLICH

e) Regla

f) Tenedor de Diámetro

g) Forcípula Finlandesa

h) Dendrómetro Friedrich

i) Pentaprisma WHEELER.

j) Dendrómetro BARR-STROUD

k) Relascopio de BITTERLICH.

3.2.1. La forcípula o calibre

3.2.1.1. Características.

Presenta las siguientes características:

- Tiene una regla graduada que posee un brazo fijo y otro móvil, perpendiculares ambos a la escala o regla graduada;
- puede ser de aluminio, hierro o madera;
- está graduada de 1 en 1 cm. o de 0,5 en 0,5 cm.. En los países de lengua inglesa la graduación es hecha en pulgadas enteras; y
- su dimensión debe variar en función de la población forestal en que se va a hacer el levantamiento.

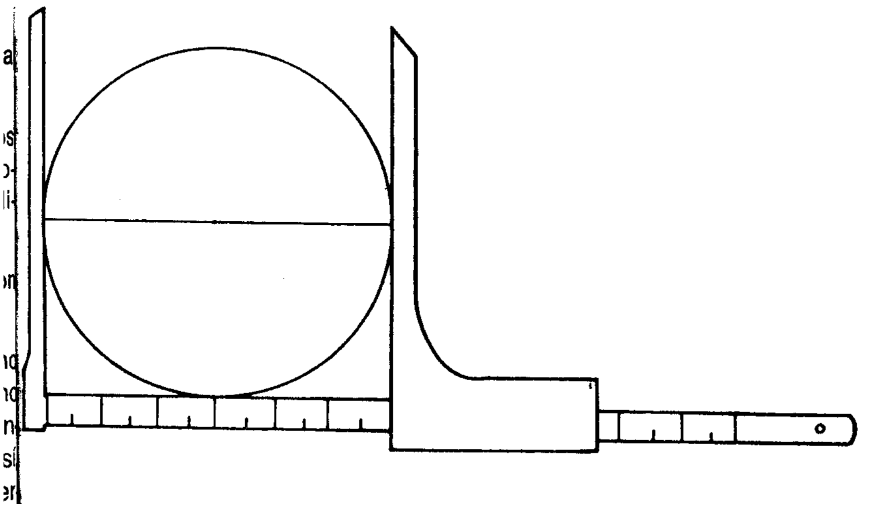


Figura. 3.6: Esquema de una forcípula

b) Cuidados en la toma de las mediciones

Para que la forcípula trabaje en buenas condiciones en el momento de la toma de las mediciones, hay que tener los siguientes cuidados (Figura 3.7):

- que el brazo fijo esté perpendicular a la regla graduada;
- que los dos brazos y la regla estén situados en un mismo plano;
- que el brazo móvil, en la medición, esté paralelo al brazo fijo. Condición esencial para hacer lecturas correctas;

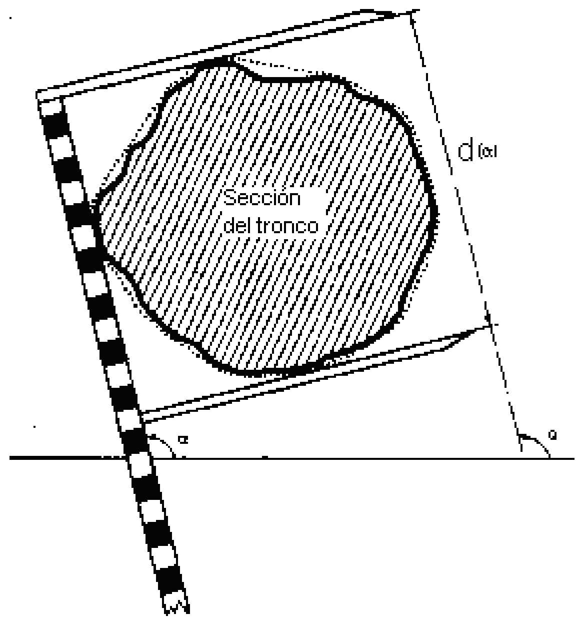
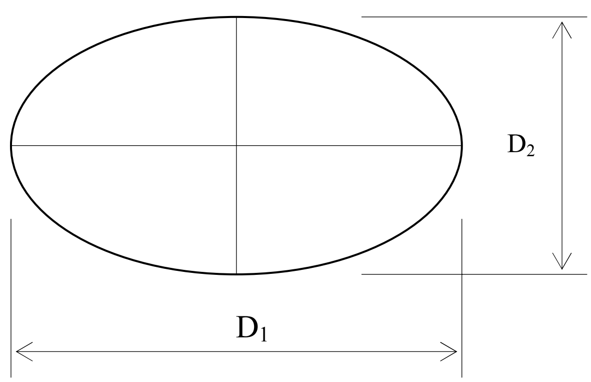


Figura 3.7: Cuidados a tener en cuenta al tomar las mediciones con la forcípula

- que al tomar dos medidas, si las secciones no fueran circulares, estas deben ser tomadas ortogonalmente una a otra. El diámetro del árbol será obtenido por la media aritmética de D_1 y D_2 (Figura 3.8).



.

Figura 3.8: Obtención del diámetro del árbol cuando las secciones no son circulares.

D_1 = Diámetro en el eje mayor

D_2 = Diámetro en el eje menor

Los errores que se producen por la forma excéntrica de la sección transversal del fuste se compensan mediante la medición de dos diámetros en el mismo árbol como se indicó en la figura 3.8. Esto es particularmente importante para árboles derribados, ya que casi siempre los árboles al caer se voltean hacia el lado más ancho.

En la medición de un conjunto de árboles en pie puede lograrse una Compensación de los errores, cuando la dirección de la forcipulación se selecciona al azar, pues la excentricidad de la sección transversal del fuste que se origina por la influencia lateral de la copa, por el viento o la pendiente esta más desarrollada hacia una misma dirección, generalmente, en todos los árboles de un rodal. Es por eso que cuando se realiza una forcipulación total o una medición en parcelas permanente de pruebas es suficiente, para los intereses de la práctica, una sola medición de los diámetros cuando la dirección de la forcipulación se selecciona al azar mediante cambio durante la medición. Esto puede lograrse de tal modo que la regla graduada (regla guía) de la forcípula siempre esté dirigida hacia el centro del rodal o punto medio de la parcela de prueba (Figura 3.9).

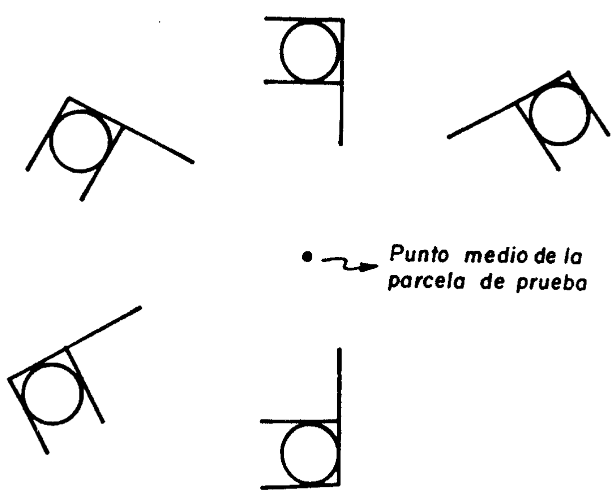


Figura 3.9: Cambio permanente de la dirección de la forcipulación en la medición simple con forcípula.

3.2.1.2. Procedimiento de uso

La medición se hace colocando la forcípula en el tronco del árbol, a 1,30 m del suelo, de modo que al comprimir los brazos contra el tronco se obtiene la lectura – al leerse – directamente en la escala graduada. El brazo fijo, el brazo móvil y la regla graduada deben estar en contacto tangencialmente con la sección transversal del árbol (Figura 3.7).

3.2.1.3. Desventaja

La forcípula presenta las siguientes desventajas:

- imprecisión cuando está desajustada;
- para medir árboles muy gruesos, es necesario el uso de forcípulas grandes, las cuales son difíciles de cargar y de manejar
- a veces ocurre que la humedad y residuos se depositan sobre la barra graduada, dificultando el deslizamiento del brazo móvil.

3.2.1.4. Errores.

Durante la medición con la forcípula se puede incurrir en dos tipos de errores, debido:

1. al uso o colocación de la forcípula en posición inclinada
2. al no paralelismo de los brazos en el acto de la medición.

A continuación explicaremos cada uno de estos tipos de errores>

3.2.1.4.1. Errores debido al uso o colocación de la forcípula en posición inclinada.

La colocación de la forcípula en posición inclinada está en relación con el eje longitudinal del fuste del árbol. Este error depende directamente del operador (Figura 3.10).

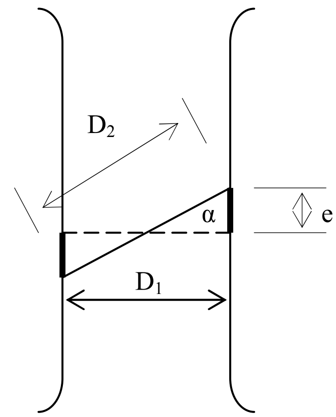


Figura 3.10: Error por la colocación inclinada de la forcípula

Donde:

D_1 = Diámetro verdadero

D_2 = Diámetro medido por la forcípula

e = Error de medición

El error contenido en esta situación es del tipo sistemático por exceso, en función del ángulo y del grueso de los brazos de la forcípula.

$$e = D_2 - D_1 \quad \therefore \quad D_2 = e + D_1 \qquad (3.3)$$

$$Cos\alpha = \frac{D_1}{D_2} \quad \therefore \quad D_2 = \frac{D_1}{Cos\alpha} \qquad (3.4)$$

Sustituyendo (3.4) en (3.3) se tiene

$$D_2 = e + D_1$$

$$\frac{D_1}{Cos\alpha} = e + D_1$$

$$e = \frac{D_1}{Cos\alpha} - D_1$$

El error en porcentaje es:

e % = $\left(\dfrac{D_1}{D_1 Cos\alpha} - \dfrac{D_1}{D_1}\right) * 100$

e = $\left(\dfrac{1}{Cos\alpha} - 1\right) * 100 \;\therefore$ e % = $\left(\dfrac{1}{Cos\alpha} - 1\right) * 100$ (3.5)

3.2.1.4.2. Errores debido al no-paralelismo de los brazos en el acto de la medición.

El no-paralelismo de los brazos de la forcípula es la principal fuente de errores en la medición de diámetro (Figura 3.11).

Es muy Común este tipo de error en las forcípulas de madera, siendo del tipo sistemático por defecto porque el diámetro medido siempre será menor que el real.

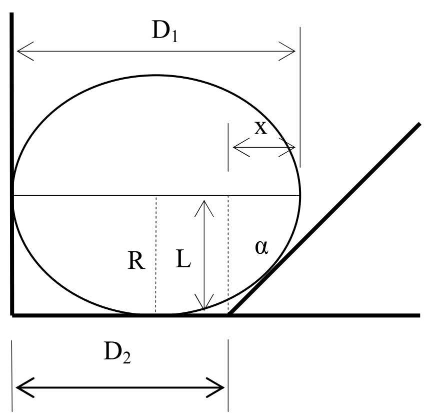


Figura 3.11: Error por el no-paralelismo de los brazos de la forcípula

$D_1 - D_2$ = L tg α $\longrightarrow$ ERROR

= R tg α

tg α = $\dfrac{X(e)}{L(R)}$ $\therefore$ $L(R)$ tg α = X (e)

$D_1 = D_2$ + X (e) = D_2 + L(R)tg α

$D_1 - D_2 = L\ (R)\text{tg}\ \alpha$

El error en porcentaje es:

$D_1 : 100 :: D_1 - D_2 : e$

$$e\ \% = \frac{D_1 - D_2}{D_1} * 100$$

$$e\ \% = \frac{L(R)\text{tg}\,\alpha}{D_1} * 100 \qquad (3.6)$$

El error es inversamente proporcional al diámetro real (D_1) y directamente proporcional al ángulo α y al radio (R), o sea, a la distancia L.

3.2.2. Cinta métrica o diamétrica.

3.2.2.1. Característica.

La cinta métrica o diamétrica tiene las siguientes características:

- puede ser de acero o de lona;
- está graduada en una de las caras en centímetros y en la otra en diámetro del círculo (cada 1 cm. corresponde al perímetro del círculo que está multiplicado por 3,1416);
- su dimensión es de 5,0 m; y
- es el más simple instrumento para medir diámetro o circunferencia.

3.2.2.1.1. Ventajas.

Las ventajas son:

- facilidad de transportación;
- poco peso; y
- no necesita de ajustes constantes.

3.2.2.1.2. Desventajas.

Entre las principales desventajas tenemos:

- la lentitud en la medición;
- las lecturas sólo son exactas para secciones circulares; y
- el aumento de los errores en las lecturas de secciones no circulares.

3.2.2.2. Cuidados.

En la medición con la cinta métrica o la cinta diamétrica hay que tener precaución:

- con los árboles que tienen deformaciones (barrigas)
- con la inclinación, en el acto de la medición, de la cinta que propicia superestimación del diámetro o de la circunferencia.

3.2.3. Comparación de la forcípula con la cinta

La cinta diamétrica está graduada en intervalos, luego ella mide directamente el diámetro y sólo es precisa cuando los árboles tienen las secciones perfectamente circulares. Para árboles con secciones excéntricas (no circulares), las medidas hechas con la cinta diamétrica presentan un error sistemático por exceso, afectando consecuentemente el **"área transversal"** proveniente que será mayor que la real.

Esta afirmación está apoyada en el hecho de que: **"para un mismo perímetro, la sección circular es la que posee mayor área"** (Figura 3.12). Ejemplo: amarrando entre sí los extremos de un hilo, se consiguen tres figuras diferentes del mismo perímetro, conforme se verifica en las tres figuras abajo representadas:

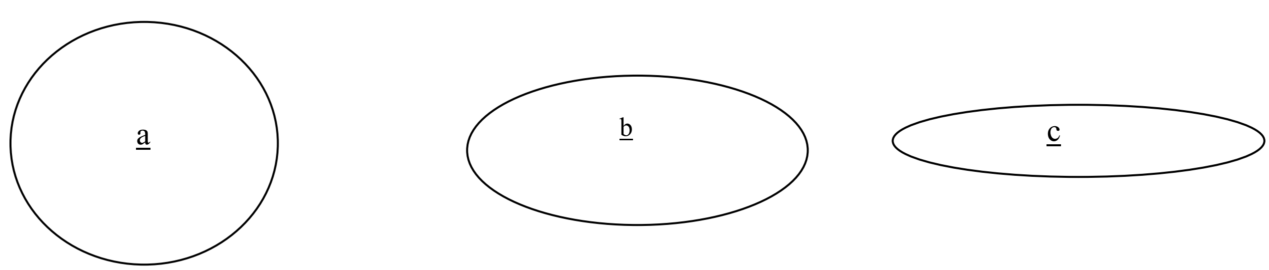


Figura 3.12: El perímetro de **a**, **b** y **c** es el mismo, mas **a** posee mayor área.

La cinta métrica fue hecha para medir circunferencia o perímetro del círculo, es decir, al usarla se mide el perímetro de una sección y expresarla en término de diámetro. Cuando se trata de una sección no circular, se supone que el área contenida dentro de ese perímetro es la máxima posible y en realidad no lo es; ejemplificando: midiéndose la figura c con una cinta diamétrica se supone para esta un área igual que la de la figura a. Está claro que este caso extremo no se verifica, pero sirve para ilustrar cómo el grado de excentricidad influye en la magnitud del error.

En secciones no circulares tampoco es posible la determinación exacta del diámetro con la forcípula. Como sucede con la cinta, los resultados son siempre superiores a los reales.

Ejemplo de una sección elíptica:

Datos:

D_2 (diámetro menor) = 14,0 cm. y 22,0 cm.

D_1 (diámetro mayor) = 20,0 cm. y 32,0 cm.

Determinar:

- ¿Perímetro?
- ¿Área?

Perímetro

$$S = \pi \frac{r_1 + r_2}{4}\left[3(1+X)\right] + \frac{1}{1-\lambda} \qquad (3.7)$$

$$\lambda = \left|\frac{r_1 - r_2}{2(r + r_2)}\right|^2 \qquad (3.8)$$

donde: r = radio

$$\lambda_1 = \left|\frac{10-7}{2(10+7)}\right|^2 = 0{,}0078$$

$\lambda_2 = \left| \frac{16-11}{2(16+11)} \right|^2$ = 0,0085

S$_1$ = 3, 141592 $* \frac{10+7}{4} [3(1+0,0078)] + \frac{1}{1-0,0078}$

S$_1$ = 53,6 cm..

S$_2$ = 3,141592 $* \frac{16+11}{4} [3(1+0,0085)] + \frac{1}{1-0,0085}$

S$_2$] 85,52 cm..

<u>Área</u>

A$_2$ = $\pi * r_1 * r_2$

A$_2$ = 3,141592 $*16*11$

A$_2$ = 552,92 cm.^{2}

A$_1$ = $\pi * r_1 * r_2$

A$_1$ = 3,141592 $*10*7$

A$_1$ = 220 cm.^{2}

3.2.3. Aplicación de la forcípula y de la cinta.

- Para la cubicación rigurosa, se debe usar la forcípula;
- En poblaciones m donde se busca evaluar la existencia o reserva de madera presente, da lo mismo el uso de la forcípula o de la cinta;
- En investigaciones, usar la cinta; y
- En estudio de crecimiento y producción, preferentemente usar la cinta.

3.2.3.1. Aplicación de la cinta y de la forcípula en función de sus errores.

Cuando personas diferentes, usando la forcípula, miden un mismo árbol de sección transversal irregular, se espera una cierta diferencia de lectura, pues los diámetros – mayor y menor – no son tomados en la misma dirección. El uso de la cinta evita esa posibilidad porque la lectura es tomada en un solo punto. Esa observación lleva a concluir lo siguiente: **"el error sistemático de la cinta es constante para un mismo árbol, independiente de la persona que haga la medición".**

Para ilustrar que el error sistemático de la cinta no influye en un análisis de crecimiento, se supone que el diámetro medido está compuesto del diámetro real (D), adicionado de un falso diámetro (b) resultante de la irregularidad en la forma del tronco. En el segundo período de medida se supone que la irregularidad será nuevamente envuelta, así se tendrá el mismo diámetro anterior, adicionado al incremento real (c)

$$(D + b + c) - (D + b) = c$$

Esa diferencia es el crecimiento.

El falso diámetro en nada alteró el resultado, pues fue el mismo en la primera y en la Segunda medición debido al uso de la cinta.

El error de la forcípula es menor para secciones excéntricas, pero no es constante, luego su uso no es indicado en mediciones que objetiven el crecimiento pero sí la existencia.

3.2.4. Regla o vara de BILTIMORE.

Consiste de una regla de aproximadamente 70 cm.. de longitud, 3 a.m. de ancho y 3 cm. de grosor.

La medida de diámetro es obtenida al colocarse la regla perpendicular al eje del árbol, a una altura correspondiente al DAP, haciendo que la tangente formada por la línea visual y uno de los lados del árbol coincida con el cero de la graduación de la regla (Figura 3.13). La tangente formada por la línea visual y el otro lado del árbol coincidirá con un valor en la regla de BILTIMORE, que es el propio diámetro conforme ilustra la figura que se presenta a continuación.

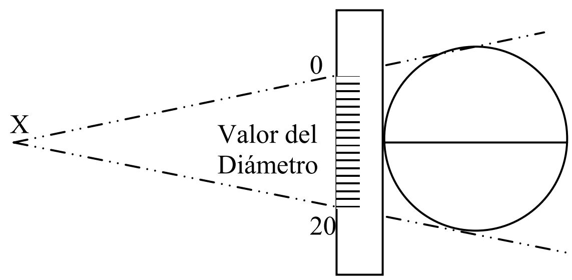


Figura 3.13: Colocación de la Regla de Biltmore para medir diámetro

A continuación será ilustrada la manera de graduar la regla de Biltimore (Figura 3.14).

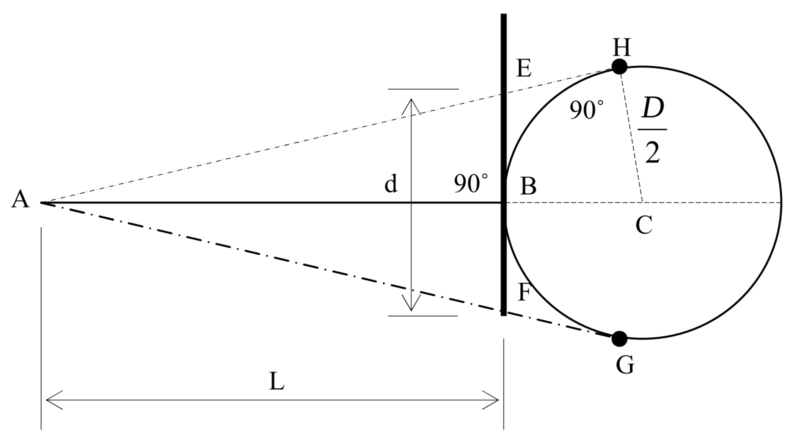


Figura 3.14: Graduación de la Regla de Boltmore

Se puede definir que:

AB = L

EF = d

BF = EB = $\frac{d}{2}$

HC = $\frac{D}{2}$

AH = ?

El ángulo ABE $\cong$ al ángulo AHC

$$\frac{EB}{AB}=\frac{HC}{AH}$$

$$\frac{\frac{d}{2}}{L}=\frac{\frac{D}{2}}{AH} \qquad (3.9)$$

Los triángulos ABE y AHC son rectángulos y semejantes entre si. Por tanto, usando el teorema de Pitágoras se tiene:

$(AC)^2 = (AH)^2 + (HC)^2$

$(AH) = \pm\sqrt{AC^2 - HC^2}$

$$(AH) = \pm\sqrt{\left(L+\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

$$(AH) = \pm\sqrt{L^2 + 2L\frac{D}{2} + (\frac{D}{2})^2 - (\frac{D}{2})}^2$$

$$(AH) = \pm\sqrt{L^2 + 2L\frac{D}{2}}$$

$(AH) = \pm\sqrt{L^2 + LD} \qquad (3.10)$

Substituyendo (3.10) en (3.9) se tiene

$$\frac{\frac{d}{2}}{L}=\frac{\frac{D}{2}}{AH}$$

$$\frac{\frac{d}{2}}{L}=\frac{\frac{D}{2}}{\sqrt{L^2+LD}}$$

$2LD = 2d\sqrt{L^2 + LD}$

$$d = \frac{LD}{\sqrt{L^2+LD}}$$

Dividiendo la expresión anterior por L se tiene:

$$d = \frac{D}{\sqrt{1+\frac{D}{L}}} \qquad (3.11)$$

Con esta expresión se puede graduar la regla de BILTIMOR. Para esto basta establecer valores hipotéticos de diámetros y obtener y obtener su correspondencia en d.

3.2.5. Visor de Diámetro o Forcípula Angula de BITTERLICH

Es una variante del principio de la regla de BILTIMORE. Es un instrumento que posee un brazo fijo adicional sobre un ángulo de 135^0 formando una especie de horquilla (Ver figura 3.15).

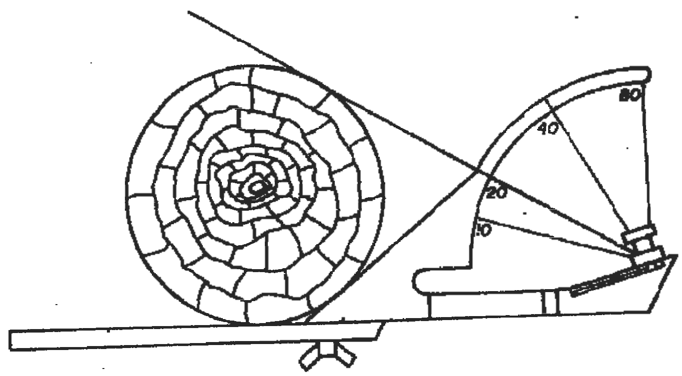


Figura 3.15: Forcípula Angular de BITTERLICH

El brazo fijo no graduado substituye la línea visual de la regla de BILTIMORE que coincide con la marca cero de este instrumento. La otra línea visual es obtenida a través de una aguja fija que coincide con el otro lado del tronco, leyéndose el diámetro en la graduación de la barra curva.

La barra curva graduada está subdividida en dos escalas una superior que mide los diámetros en centímetros y otra inferior que determina el área transversal en dm^2. Para troncos no cilíndricos, se toman dos medidas en sentidos ortogonales y se usa la media. Este aparato permite la medición de diámetros de 6 a 80 cm..

3.2.6. La Regla

Es comúnmente utilizada para medir diámetros de trozas, conforme muestra la figura 3.16 abajo. También es usada en la medición de diámetros y/o radios de coníferas que presentan anillos de crecimiento fácilmente visibles.

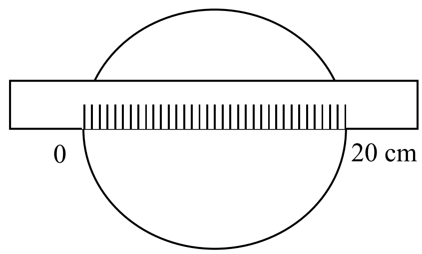


Figura 3.16: Uso de una regla común para medir diámetros de trozas

3.2.7. Tenedor o garfio de Diámetro

Tiene utilidad cuando se desea obtener la estratificación de árboles por clase de diámetro. Posibilita obtener rápidamente frecuencia por clase de diámetro (Figura 3.17). Sus medidas son poco exactas. Sin embargo es un instrumento fácil de manejar y su operación es más rápida que los otros explicados anteriormente.

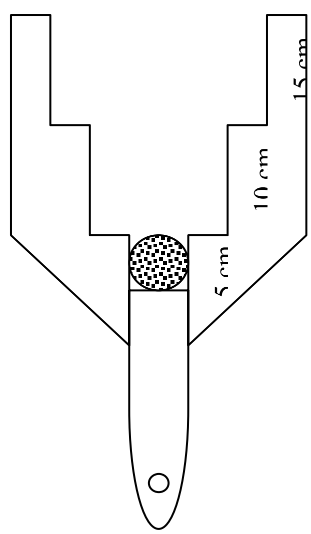


Figura 3.17: Instrumento en forma de garfio o tenedor para medir diámetros

3.2.8. Forcípula Finlandesa o compás Finlandés

Para cubicar los árboles con precisión se pueden medir otros diámetros a alturas diferentes de 1,30 m. Para árboles en pie ha sido preciso inventar aparatos adaptados a este objetivo. El más simple es la ***Forcípula Finlandesa*** que no tiene brazo móvil; las graduaciones existentes en el brazo curvo de la forcípula son paralelas al borde interior del brazo recto; fijada al extremo de pértigas telescópicas graduadas, permite medidas hasta alrededor de 8 m del suelo y aún más alto si se utilizan prismáticos para la lectura (Figura 3.18).

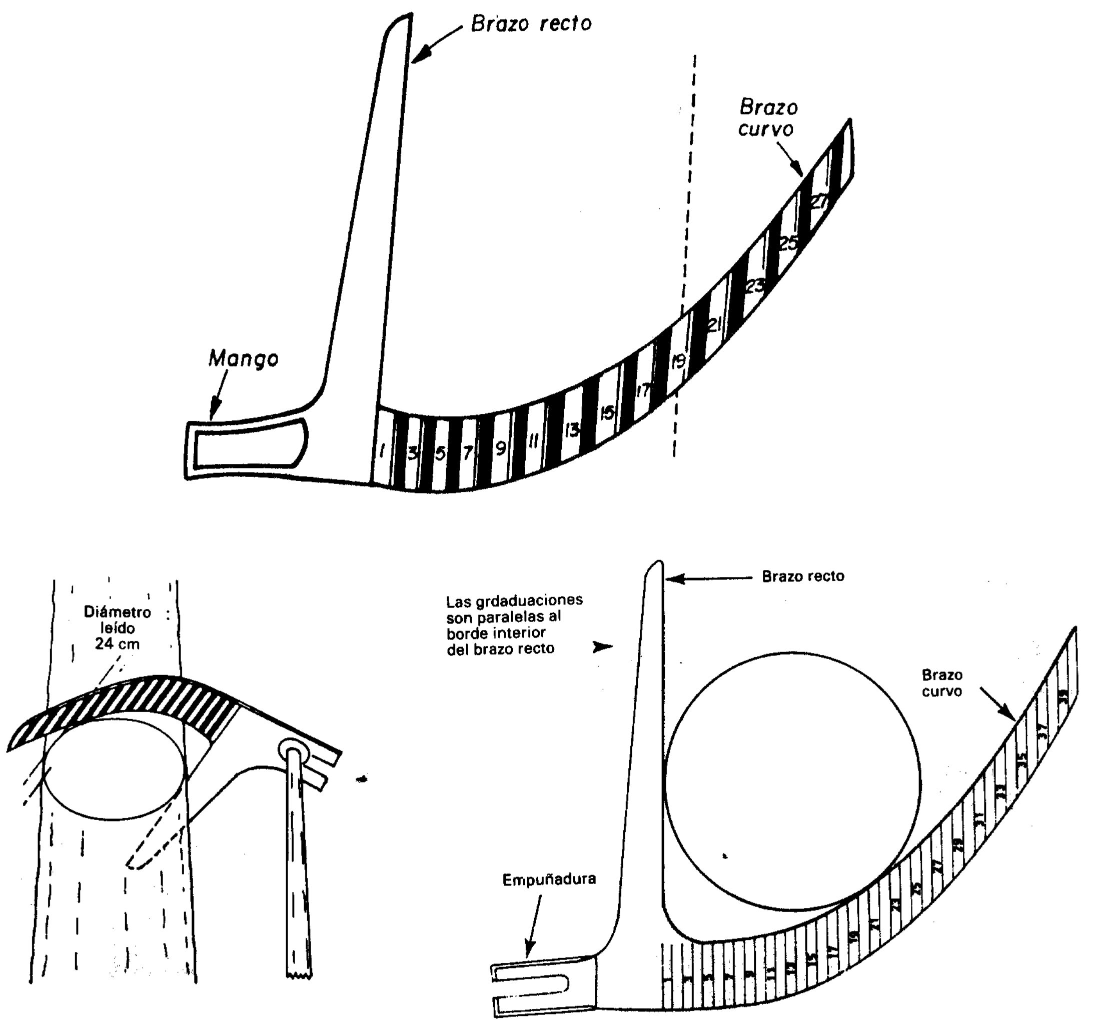


Figura 3.18: Forcípula finlandesa o compás finlandés

3.2.9. Dendrómetro de FRIEDRICH

Este instrumento consiste en una forcípula dendromética, estando su principal diferencia en la existencia de dos visuales de eje óptico, rigurosamente paralelos, coincidiendo un eje con la marca cero del instrumento, y el otro eje óptico está montado en una regla graduada.

En la medición del diámetro del árbol la regla debe quedar en una posición tal que el plano que la contenga sea perpendicular al plano del eje del árbol, de manera que el radio de la visual fija sea tangencial a uno de los extremos del diámetro del árbol a medir y se traslada el otro hasta que el radio visual sea tangente al otro extremo (Figura 3.19). La lectura hecha en la regla graduada es el diámetro del árbol según se muestra en la figura abajo.

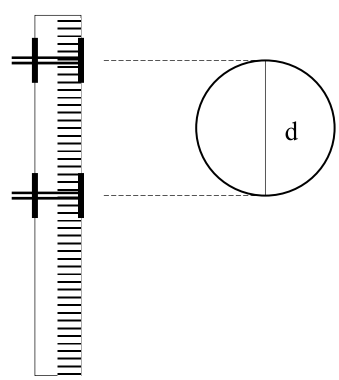


Figura 3.19: Dendrómetro de Friedrich

3.2.10. Pentaprisma o forcípula óptica de WHEELER

Este instrumento, representado en la figura 3.20, tiene como utilidad principal, propiciar la medición de diámetros en diferentes alturas, esto es, en cualquier punto a lo largo del fuste del árbol.

Figura 3.20: Pentaprisma o forcípula óptica de WHEELER

En la figura anterior se puede observar que el operador ha acoplado un Hipsómetro SUUNTO a la forcípula óptica.

Se compone de dos prismas con cinco caras, de ahí el nombre bajo el que es conocido comúnmente: el pentaprisma. Uno de los pentaprismas es fijo y el otro es móvil, que posibilitan que las líneas visuales sean paralelas (ver figura 3.21).

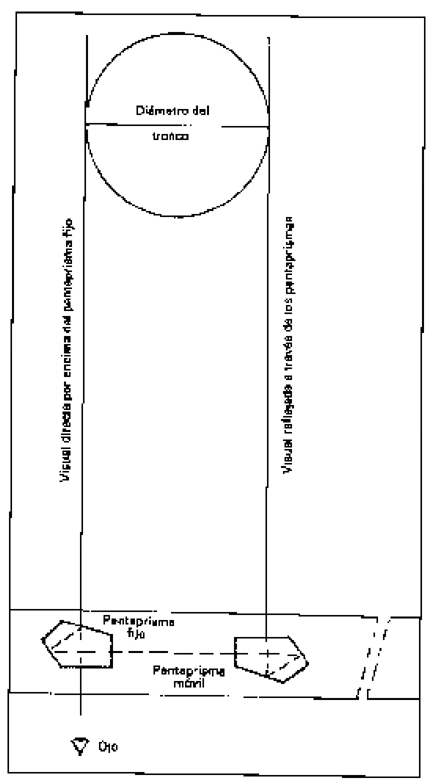


Figura 3.21: Principio del pentaprisma de WHEELER

El observador verifica (observa) a través de un visor el lugar a medir en un campo visual que está dividido horizontalmente en dos mitades; en la mitad superior se tiene una imagen del árbol donde se puede observar, en visión directa, el extremo izquierdo del fuste del mismo, y cuya mitad inferior refleja una imagen desplazada de la del extremo derecho del fuste del árbol en cuestión (ver figura 3.22).

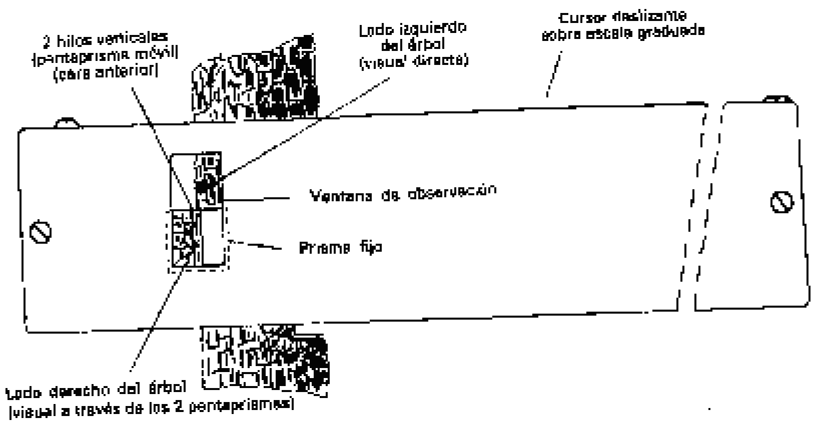


Figura 3.22: El pentaprisma de WHEELER en posición de lectura

El movimiento del prisma es conducido hasta tenerse un alineamiento perfecto entre ambas extremidades del fuste. Cuando tal situación ocurre la medida del diámetro es indicada directamente en la escala del aparato, a través de un puntero que se movió conjuntamente con el prisma.

Cuando se toma diámetros a varias alturas, se debe usar un clinómetro de Abney o un Hipsómetro SUUNTO acoplado al pentaprisma, para determinar las alturas que se quiere medir los respectivos diámetros, así Como cadena o cinta métrica para determinar la distancia en que el observador debe quedar para usar el Clinómetro de Abney o el Hipsómetro SUNNTO.

El aparato procede de los Estados Unidos y existen tres modelos de longitud diferentes, pudiéndose utilizar con o sin trípodes:

- longitud total 44 cm.., medición de diámetros de 7 a 36 cm..,
- longitud total 69 cm.., medición de diámetro hasta 62 cm..,
- longitud total 95 cm., medición de diámetros hasta 86 cm..

Cuando tal situación ocurre, la medida del diámetro es indicada directamente en la escala del aparato a través de un puntero que se mueve conjuntamente con el prisma.

3.2.10. Dendrómetro BARR-STROUD

Este aparato, fabricado en Inglaterra, ha sido ideado principalmente para la cubicación de árboles en pie (Ver figuras 3.23).

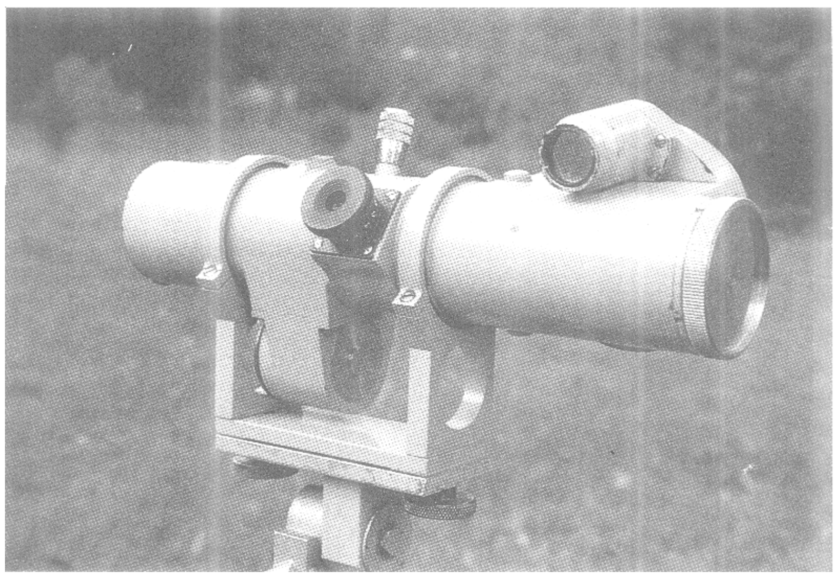


Figura 3.23: El dendrómetro BARR-STROUD, visto del lado del ojo

Las características más interesantes del dendrómetro BARR-STROUD son las siguientes:

- peso 2,5 Kg.; base corta alrededor de 20 centímetros;
- imagen del mismo sentido; aumento 5,5;
- clinómetro graduado en senos;

- visuales regulables por rueda graduada, la posición de la burbuja está controlada en el campo del ocular (lo que es indispensable para el empleo del aparato en el bosque);
- límites de utilización: de 11 a 64 m del árbol a medir.

Su modo de empleo es simple:

- colocarse entre 11 y 64 m del árbol que se desea medir, a una distancia igual al menos a su altura (la escala de los senos no va más que de 0^o a 45^o);
- manipular la rueda de los senos;
- llevar la burbuja entre sus marcas;
- leer entonces la graduación.

Multiplicando el seno del ángulo de la visual por la distancia a la que se encuentra del árbol, el operador obtiene la altura de la visual. Queda por determinar, por doble lectura (Figura 3.24), el diámetro a esa altura.

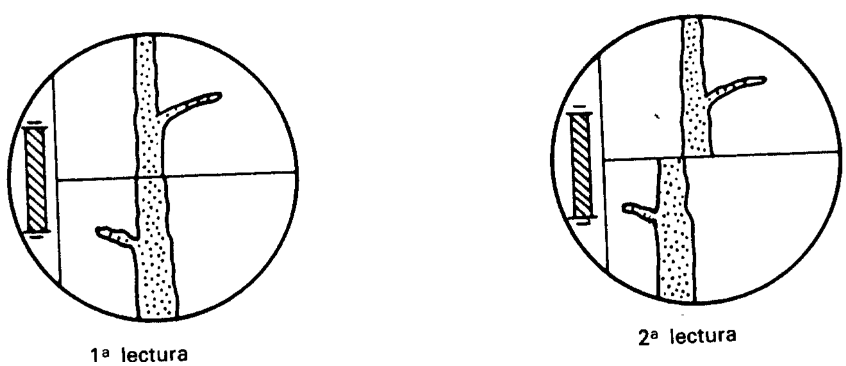


Figura 3.24: Procedimiento para determinar el diámetro con el Dendrómetro BARR-STROUD

El campo de visión ocular está dividido en dos partes iguales por una fina línea horizontal; una parte del árbol se observa por debajo de esta línea, la parte adyacente por encima.

La primera lectura se hace cuando las dos partes del árbol están exactamente en coincidencia, las líneas homólogas se continúan de una parte y otra de la línea horizontal.

Girando un sector ranurado, se desplaza a continuación la parte inferior con relación a la parte superior en sentido transversal. La segunda lectura se hace cuando se obtiene una coincidencia exactamente de calada.

Una tabla suministra entonces el diámetro en función de la diferencia de las dos lecturas, la cual está basada sobre la fórmula siguiente:

$$d = \frac{b(R-r)}{r} \tag{3.12}$$

en la cual: *d* es el diámetro del árbol a la altura visada,

b es la longitud de la base del aparato,

R es la lectura hecha cuando hay coincidencia normal,

r es la lectura hecha cuando hay coincidencia de calada.

En fin de cuenta se puede cubicar los árboles por trozas sucesivas: el operador hace variar los ángulos de los senos de los ángulos de las visuales de 0,1 en 0,1 (Figura 3.25) y descompone el tronco en **«secciones subtendiendo senos iguales»**, lo que tiene además la ventaja de dar un peso más grande (en el sentido matemático del término) a las partes más importantes del fuste; el árbol se cubica finalmente en pie por **«rodajas»** Como si estuviera apeado (JEFFERS, 1956)

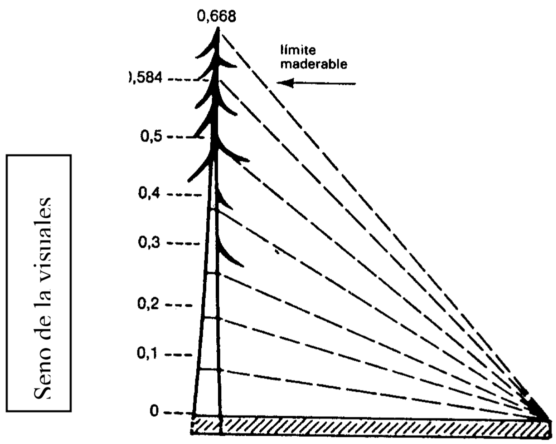


Figura 3.25: Cubicación de un árbol en pie con el Dendrómetro BARR-STROUD

Merece ser remarcada la precisión de las medidas: para árbol de tamaño medio, se determina su altura aproximadamente a ±0,3047 m y sobre todo el o los diámetros medidos aproximadamente a ±0,27 cm..

3.2.11. Relascopio de BITTERLICH

Este aparato de uso múltiples, que será expuesto detalladamente más adelante, puede ser utilizado igualmente para medir los diámetros de los fustes a diferentes alturas. El principio de esta medida es simple: ocho bandas contiguas de longitudes idénticas están materializadas sobre el cilindro del aparato; permiten visuales angulares; colocándose a una distancia del árbol tal que el campo completo de las ocho bandas recubra exactamente el diámetro *d* a 1,30 m, se puede señalar los niveles superiores en los que los diámetros serán sucesivamente iguales a $7d/8$, $6d/8$, ..., $d/8$.

Como el aparato permite también medir las alturas correspondientes, se puede, de la misma manera que con el dendrómetro BARR-STROUD, cubicar un árbol en pie, aunque con una menor precisión (CALLIEZ, 1980).

Para los árboles muy gruesos (por ejemplo en bosques tropicales), BITTERLICH ha puesto a punto un Relascopio de banda ancha que permite cubicaciones más precisas.

En 1972 se puso en venta una última mejora del Relascopio; el telerelascopio: este aparato perfeccionado está dotado de un sistema óptico d calidad y de lentes de aumento, montado sobre un trípode articulado metálico, aumenta significativamente la precisión de las medidas dendrométricas, pero cuesta muy caro (BITTERLICH, 1984).

3.3. Errores en el proceso de cálculo de diámetros

3.3.1. Error por redondeo de los diámetros

El redondeo de los diámetros se aplica cuando no se exige una gran precisión y se trabaja con clases de diámetros, donde los cálculos de volumen y área transversal son provenientes de los valores centrales de cada clase. De este modo se cometen errores en relación a los verdaderos diámetros y consecuentemente para el volumen del árbol ya que el diámetro afecta cuadráticamente del volumen.

Considerándose el diámetro verdadero d_i representado por d que es el centro de clase, se tiene que d_i está desviado de sus verdaderos valores de ± i, donde i es el intervalo de clase.

Luego:

$$d_i = d \pm i$$

El área transversal "g" corresponde a d_i está dado por $g_i = \frac{\pi}{4} * d_i^2$ quedando representada después del agrupamiento en clase por:

$$g_i = \frac{\pi}{4} * d^2 \qquad (3.13)$$

Así el error cometido será:

$e = g_i - g = \frac{\pi}{4}d_i^2 - \frac{\pi}{4}d^2$

$e = \frac{\pi}{4}(d \pm i)^2 - \frac{\pi}{4}d^2$

$e = \frac{\pi}{4}(d^2 \pm 2d_i + i^2) - \frac{\pi}{4}d^2$

$e = \frac{\pi}{4}(i^2 \pm 2d_i)$ (3.14)

Cuando se trata de un gran número de mediciones, las frecuencias dentro de cada clase tienden a distribuirse con relativa simetría, en relación al valor central de la clase. Considerando las dos desviaciones $-i$ y $+i$, correspondientes a los diámetros d_1 y d_2 simétricos en relación a d, el error conjunto estará dado por:

$e = \frac{\pi}{4}(i^2 + 2d_i) + \frac{\pi}{4}(i^2 - 2d_i)$ (3.15)

y que expresado porcentualmente en relación al área transversal del centro de clase, como función de $2g$, resulta:

$$p = \frac{e}{2g} * 100 = \frac{e}{2\frac{\pi}{4}d^2} * 100$$

$$p = \frac{e}{\frac{\pi}{2}d^2} * 100$$

$$p = \frac{\frac{\pi}{4}(i^2 + 2d_i) + \frac{\pi}{4}\left(i^2 - 2d_1\right)}{\frac{\pi}{2}d^2} * 100$$

$$p = \frac{\frac{\pi}{4}2d_i}{\frac{\pi}{2}d^2} * 100 = \frac{\pi}{4}2i^2 * \frac{2}{\pi d^2} * 100$$

$$p = \frac{i^2}{d^2} * 100 \qquad (3.16)$$

como $\pm i$ está representando los límites de la clase, se comete un error porcentual máximo para cada clase, representado por $i_1 = \pm 0{,}5i$, resultando:

$$p = \frac{\left(\frac{1}{2}i\right)^2}{d^2} * 100 = \frac{\frac{1}{4}i^2}{d^2} * 100$$

$$p = \frac{1}{4}i^2 * \frac{1}{d^2} * 100 = \frac{i^2}{d^2} * 25 \qquad (3.17)$$

Se observa que el error es inversamente proporcional al diámetro medio.

3.3.2. Error de área seccional

Las especies forestales presentan formas seccionales que pueden ser comparadas con la forma circular o elíptica. En el caso de forma perfectamente circular su área transversal es obtenida por la aplicación de la fórmula $g = \frac{\pi}{4}d^2$, y en el caso de la forma elíptica, es necesario tomar dos medidas diametralmente opuestas y su área transversal exacta será obtenida a través de la fórmula:

$$g = \frac{\pi}{4}Dd \qquad (3.18)$$

donde *D* es el diámetro mayor y *d* el diámetro menor. No obstante en la práctica el área de la sección elíptica es calculada de dos maneras diferentes.

1. Media de los diámetros usando la forcípula

$$g_1 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D + d}{2}\right)^2 \qquad (3.19)$$

2. Media de las áreas transversales usando el visor de BITTERLICH

$$g_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4}D^2 + \frac{\pi}{4}d^2\right) \qquad (3.20)$$

Comparándose g_1 con la correspondiente área de la elipse g, resulta un error positivo dado por:

$$e_1 = g_1 - g = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D+d}{2}\right)^2 - \frac{\pi}{4}Dd$$

$$e_1 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D^2 + 2Dd + d^2 - 4Dd}{4}\right) = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D-d}{2}\right)^2$$

Luego el error en cm.. o m será:

$$e_1 = \frac{\pi}{16}(D-d)^2 \qquad (3,21)$$

Expresando ese error en porcentaje se tiene:

$$p_1 = \frac{A_1 - A}{A} * 100$$

$$p_1 = \frac{\frac{\pi}{16}(D-d)^2}{\frac{\pi}{4}Dd} * 100 = \frac{(D-d)}{4Dd} * 100 \qquad (3.22)$$

Por la misma forma, comparándose g_2 con la correspondiente área elíptica, resulta también en un error positivo dado por:

$$e_2 = g_2 - g = \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4}D^2 + \frac{\pi}{4}d^2\right) - \frac{\pi}{4}Dd$$

$$e_2 = \frac{\pi}{8}\left(D^2 + d^2\right) - \frac{\pi}{4}Dd = \frac{\pi}{8}\left(D^2 + d^2 - 2Dd\right)$$

$$e_2 = \frac{\pi}{8}(D+d)^2 \qquad (3.23)$$

Este error expresado en porcentaje comparado con la elipse será:

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

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

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.