

II. MEDICION DE ARBOLES INDIVIDUALES

Toda medición implica la comparación de un elemento u objeto con un patrón estándar. Cualquier determinación de características tipo de un individuo o de un conjunto de individuos es considerada una medición cuando existe un contacto entre el instrumento y el objeto, contacto que puede ser físico, óptico o de otra naturaleza.

Al tratar la mensura de individuos, o conjunto de individuos, se debe diferenciar expresamente entre mediciones y estimaciones; este último concepto se aplicará a la determinación de un valor o dimensión mediante un estimador, que también es un instrumento, pero de tipo estadístico-matemático.

Las definiciones anteriores de los conceptos medición y estimación permiten aclarar situaciones ambiguas como lo son las mal llamadas estimaciones oculares, que en realidad corresponden a una medición, aunque el instrumento ojo-mente sea impreciso.

II.1 MEDICION DE ATRIBUTOS DE ARBOLES Y PRODUCTOS

Estas mediciones pueden realizarse por comparación directa del patrón estándar con el objeto, y en ese caso son llamadas mediciones directas; o por medio de soluciones geométricas o trigonométricas, en cuyo caso son denominadas indirectas, como los sistemas ópticos de medición.

II.1.1 Medición de diámetro

La medición de diámetro es la operación más corriente y sencilla de mensura. En árboles en pie, la altura normal del diámetro representativo del árbol es 1.3 m desde el nivel del suelo, medidos sobre la pendiente. Por la altura de medición, se denomina diámetro a la altura de pecho.

Otros puntos de medición de diámetro de tipo comercial en árboles en pie son la altura del tocón, mitad del fuste, cualquier punto sobre el fuste, diámetro a la altura de comienzo de copa, diámetros límites comerciales, etc. En trozas normalmente se miden los diámetros extremos y eventualmente diámetros intermedios.

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

a) Forcípula

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.

medición de árboles individuales

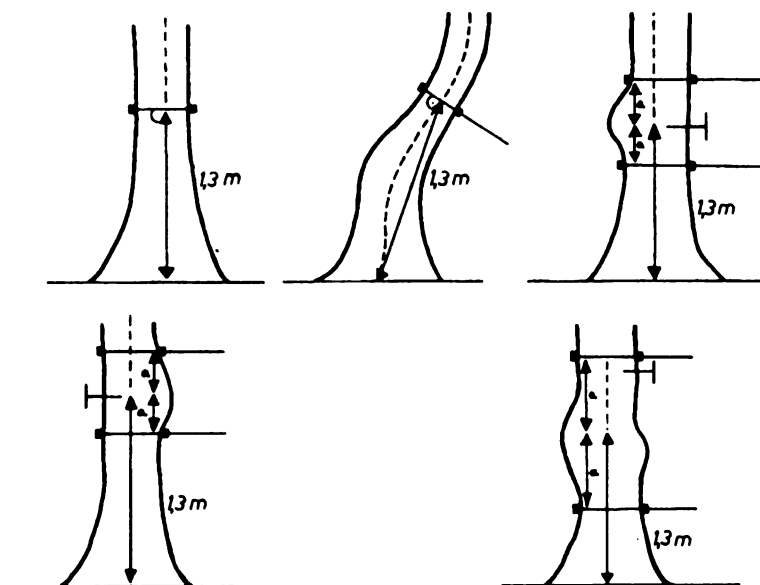


Figura 2-1. Punto de medición del diámetro a la altura de pecho

Una forqu岸pula debe cumplir las siguientes condiciones:

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

Dos son los errores que se cometen con mayor frecuencia:

- La forqu岸pula no se mantiene perpendicular al eje longitudinal del árbol; los errores son en este caso de signo positivo (sobremedición).
- 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 (submedición).

Existen diferentes modelos que son variedades de la forqu岸pula de brazos paralelos y se basan en distintos principios. En su mayoría, los fundamentos para la graduación y construcción de forqu岸pulas se desarrollaron en el siglo XIX y fueron acuciosamente descritos por MÜLLER (1899).

- **Forqu岸pula finlandesa.** Consiste en un brazo recto y otro parabólico, graduado de forma tal que el diámetro se puede leer directamente en el punto de contacto con el árbol. Se usa especialmente para la medición directa de diámetros superiores, para lo cual se monta en varas de hasta 8 m de longitud.

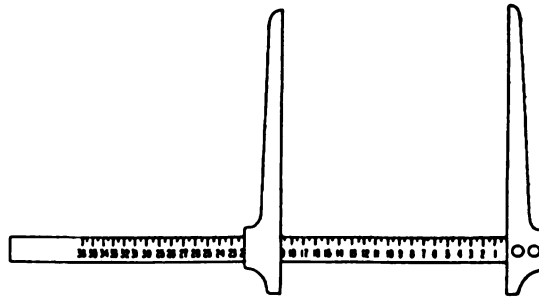


Figura 2-2. Forcípula de brazos paralelos (de HUSCH *et al.* 1982)

Forcípula de horcaja. Tiene sólo dos brazos rectos en ángulo y es adecuada solamente para diámetros pequeños.

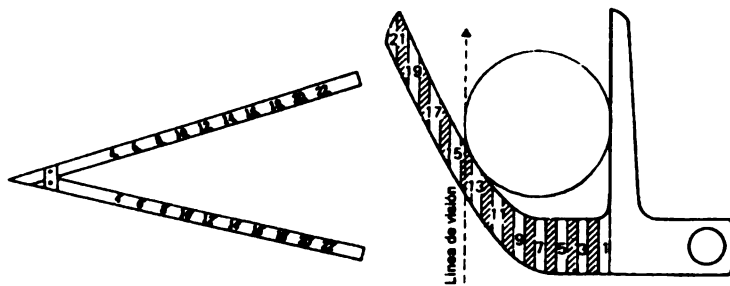


Figura 2-3. Forcípulas de horcaja y finlandesa (de HUSCH *et al.* 1982)

b) Huincha o cinta diamétrica

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.

A partir de la fórmula de la circunferencia

$$c = \pi \cdot d \tag{2-1}$$

se lee directamente el diámetro

$$d = \frac{c}{\pi} \tag{2-2}$$

medición de árboles individuales

El uso de esta cinta fue muy generalizado en países europeos en el siglo XVIII y hasta inicios del XIX, pero la cinta fue desplazada por la forcípula.

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. Esta última ventaja lo hace recomendable para parcelas experimentales y estudios de crecimiento (ASSMANN 1957, 1961; MÜLLER 1958; HUMMEL *et al.* 1959).

Su principal desventaja es que, en secciones no circulares, que son la mayoría, sobrestima sistemáticamente el diámetro.

c) Vara Biltmore

Un medio práctico para la medición rápida y cómoda de diámetros en árboles en pie es la vara Biltmore, cuyo principio óptico fue desarrollado por SCHENCK, BELYEA (1932), PRODAN (1957), y se desprende de la Figura 2-4. Dependiendo de la distancia S desde el ojo del observador A al árbol y de los dos radios OT_1 y OT_2 , se puede leer directamente el diámetro sobre la vara graduada CD .

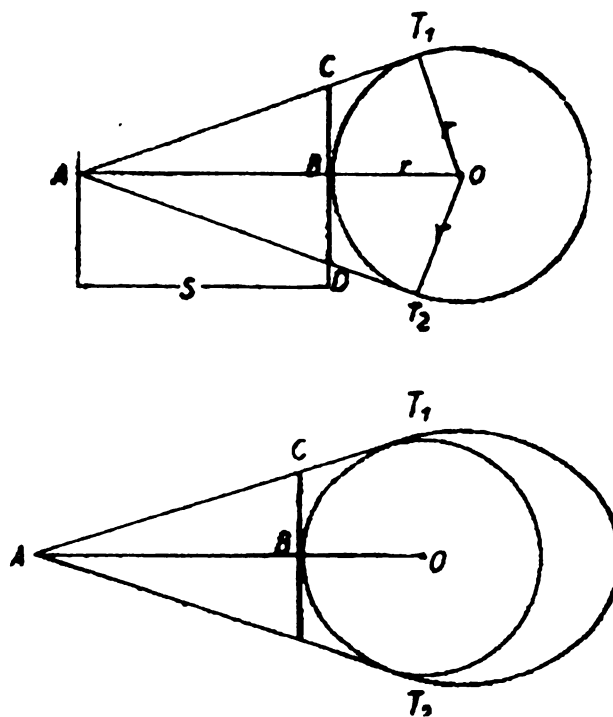


Figura 2-4. Principio de la vara Biltmore

De la equivalencia de los triángulos ABC y AT_1O se obtiene que:

$$\frac{S}{\overline{AT_1}} = \frac{\overline{CB}}{r} \quad (2-3)$$

Como $\overline{AT_1} = \sqrt{(S+r)^2 - r^2}$ y $r = \frac{1}{2}d$ (2-3a)

resulta

$$\overline{CD} = \frac{2Sr}{\sqrt{S^2 + 2rS}} = \frac{Sd}{\sqrt{S^2 + Sd}} = \frac{Sd^2}{S+d} \quad (2-4)$$

Reemplazando diferentes valores de d en la fórmula, se obtienen las graduaciones de la vara Biltmore. En el Cuadro 2-1 se incluye la graduación para diferentes largos de brazos. 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 se posibilita una compensación de errores.

Cuadro 2-1. Graduación de la vara Biltmore (según KRENN)

Para	AB (largo de brazos)			Para	AB (largo de brazos)		
	59	65	71 cm		59	65	71 cm
d				d			
2	1,97	1,97	1,97	32	25,77	26,20	26,57
4	3,87	3,88	3,89	34	27,08	27,55	27,96
5	4,80	4,82	4,83	36	28,37	28,88	29,33
6	5,72	5,74	5,76	38	29,64	30,19	30,67
8	7,51	7,55	7,58	40	30,88	31,47	31,99
10	9,25	9,31	9,36				
12	10,94	11,02	11,10	42	32,10	32,73	33,29
14	12,59	12,69	12,80	44	33,30	33,97	34,57
16	14,19	14,33	14,46	46	34,48	35,19	35,83
18	15,75	15,93	16,08	48	35,64	36,40	37,07
20	17,28	17,49	17,67	50	36,79	37,59	38,30
22	18,77	19,02	19,23	52	37,92	38,76	39,51
24	20,23	20,52	20,75	54	39,03	39,91	40,70
26	21,66	21,98	22,24	56	40,12	41,05	41,87
28	23,06	23,41	23,71	58	41,19	42,17	43,03
30	24,43	24,82	25,15	60	42,25	43,27	44,17
				65	44,84	45,96	46,97
				70	47,34	48,57	49,68
				75	49,76	51,10	52,30
				80	52,12	53,56	54,86

medición de árboles individuales

La variable incierta en la fórmula (2-4) es el largo del brazo. Esta incertidumbre puede disminuirse calculando individualmente las graduaciones sobre la vara. Para ello se hacen varias mediciones diamétricas con una forcípula precisa y simultáneamente, definida la distancia $AB = S$, se derivan los valores para diferentes pendientes del terreno (Cuadro 2-2).

Los valores ajustados entregan las graduaciones para el largo de brazo individual y se representan por una línea continua (Figura 2-5).

Cuadro 2-2. Mediciones para la vara Biltmore

x = Lectura en la forcípula
y = Lectura sobre la regla CD

Pendiente > 15 ‰					Plano						
x		y		x		y		x		y	
Forcípula		Forcípula		Forcípula		Forcípula		Forcípula		Forcípula	
1	19,5	16,5	21	38,5	28,5	1	46,0	32,5	21	40,0	28,0
2	23,5	20,0	22	26,5	20,0	2	47,0	31,5	22	47,0	31,5
3	48,0	32,5	23	34,5	25,5	3	18,0	14,5	23	43,5	32,0
4	30,5	23,5	24	46,0	31,5	4	29,0	22,0	24	34,0	24,5
5	35,0	27,5	25	33,0	23,5	5	32,5	24,0	25	52,0	33,5
6	35,5	28,5	26	38,5	29,0	6	32,0	24,5	26	22,0	18,0
7	25,5	21,0	27	53,0	38,0	7	27,5	21,0	27	51,5	33,5
8	27,0	22,0	28	28,5	22,0	8	30,5	22,5	28	27,5	22,0
9	30,0	24,4	29	32,5	25,0	9	30,0	22,0	29	41,0	31,0
10	31,0	25,0	30	46,5	44,0	10	30,0	21,0	30	45,0	31,0
11	39,5	31,0	31	29,5	23,0	11	18,0	14,5	31	41,0	30,5
12	26,0	21,0	32	24,5	20,0	12	32,0	23,0	32	24,0	20,0
13	28,0	22,5	33	42,5	31,5	13	27,0	20,0	33	40,0	31,0
14	30,5	23,0	34	24,5	19,5	14	46,0	29,5	34	30,0	23,0
15	39,5	28,5	35	42,0	29,5	15	45,0	31,0	35	32,5	24,5
16	26,5	20,5	36	24,0	18,0	16	49,5	32,5	36	21,5	17,0
17	44,0	31,5	37	21,5	17,0	17	58,0	38,0	37	52,0	33,5
18	37,0	28,5	38	45,5	34,5	18	39,0	28,5	38	34,0	25,0
19	30,5	23,0	39	43,5	31,5	19	21,0	16,0	39	26,0	20,0
20	28,5	22,5	40	48,5	33,5	20	38,0	27,0	40	42,0	30,0

Otras variantes de forcípulas son aquellas que entregan directamente el área basal (WEISE 1880; BITTERLICH 1959; HELLRIGL 1960), y que permiten obtener en forma más directa el árbol de área basal media; forcípulas para cubicación, que miden el contenido de madera rolliza directamente para diferentes clases de longitud. Hoy son utilizadas por la administración forestal de Württemberg, donde ya en 1865 WALDRAFF la había introducido (MÜLLER 1899).

d) Forcípula de tarifa o sector de diámetro de Bitterlich

Corresponde a una mejoría sustancial del principio de la vara Biltmore y simultáneamente equivale a una nueva versión óptica de la medición angular de TREFFURTH, MÜLLER (1899), BITTERLICH (1952, 1959).

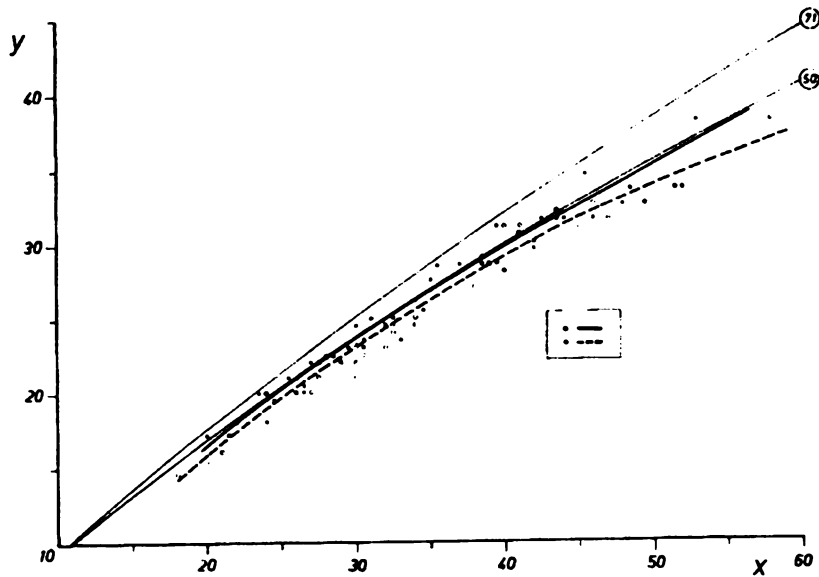


Figura 2-5. Relación entre la graduación y de la vara Biltmore y el diámetro x medido con forcípula para largos de brazo de 59 y 71 cm

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 centímetros para diámetro, dm^2 para área basal y en m^3 para volumen (Figuras 2-6 y 2-7).

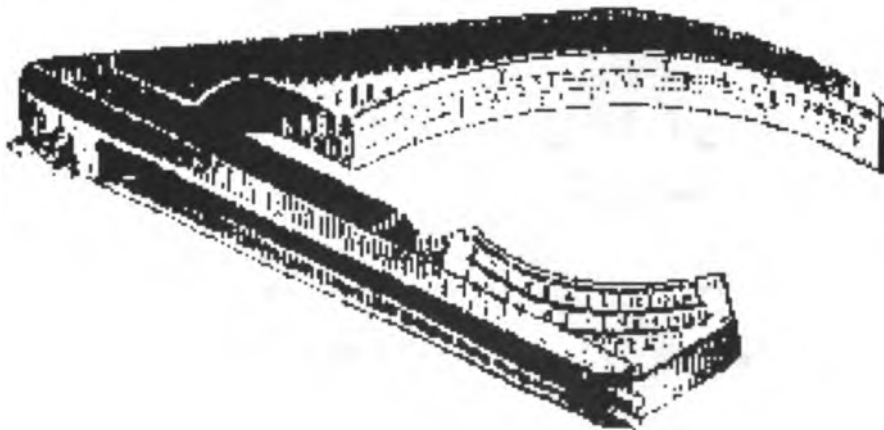


Figura 2-6. Sector de diámetro de Bitterlich

medición de árboles individuales

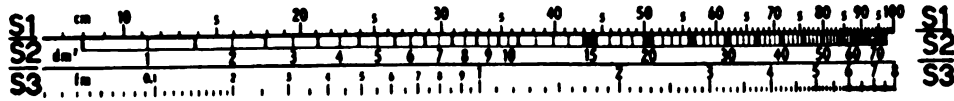


Figura 2-7. Escala del sector de diámetro de Bitterlich. La escala superior (S1) entrega el diámetro en centímetros, la central (S2) entrega el área basal en decímetros cuadrados y la inferior, el volumen en décimos de m³

e) Dendrómetros y forcípulas ópticas

Existe una serie de instrumentos ópticos diseñados para medir diámetros, basados en el principio taquimétrico. Son aptos para mediciones a distancia y especialmente adecuados para efectuar mediciones a diferentes alturas sobre el suelo. Estos instrumentos proyectan un ángulo α , que debe abarcar exactamente el fuste del árbol en el punto de medición, conocida la distancia al árbol E .

Para un ángulo α tan pequeño el diámetro se determina de acuerdo con la siguiente función:

$$d = \ell \cdot 2 \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \quad (2-5)$$

Cuando las mediciones se hacen en altura sobre el fuste o en un terreno inclinado que tiene un ángulo de elevación θ , entonces procede la determinación del diámetro por la siguiente función:

$$d = 2 \cdot \ell \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \cdot \sec \theta \quad (2-6)$$

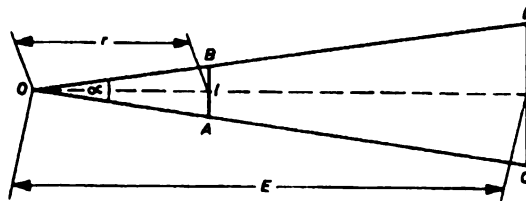


Figura 2-8. Principio taquimétrico del dendrómetro

Por la distancia desde el observador al árbol el ángulo α es muy pequeño de tal forma que prácticamente $\operatorname{sen} \alpha / 2 \approx \operatorname{tg} \alpha / 2$.

Inspirados en este principio, hay desde instrumentos muy sencillos hasta sofisticados y evolucionados equipos. El diatrombo es un instrumento básico de ángulo variable. La variación del ángulo se logra al desplazarse una placa o estadía de ancho fijo a lo largo del instrumento.

Desde el siglo pasado, se conocen y han descrito en detalle dendrómetros, construidos para este fin con diversos diseños y distintos grados de precisión, FIRAT (1958), GIERUSZINSKI (1959), KORF (1953), MICHAÏLOFF (1952), MÜLLER (1899), SPURR (1952) y TISCHENDORF (1927).

Entre los más importantes están el pentaprisma de Wheeler, basado en prismas pentagonales diseñados para obtener errores máximos de 0.25 cm desde 15 metros de distancia y factible de montarse sobre trípode (WHEELER 1962); el dendrómetro Barr and Stroud; el Zeiss Teletop; el relascopio y telerrelascopio de Bitterlich (BITTERLICH 1959); y el distanciómetro de Stöhr (STÖHR 1959) (Figura 2-8a).

El Zeiss Teletop permite mediciones de diámetro con una exactitud de 1.5 a 2 mm, pero su uso está limitado a problemas científicos, principalmente por su alto costo y su prolongada demora en la medición (STÖHR 1959). El relascopio y el telerrelascopio de Bitterlich son sin duda, entre todas las forcípulas ópticas, las que presentan mayores ventajas, ya que permiten emplear ángulos diferentes y éstos se ajustan automáticamente al variar el ángulo de inclinación de la medición para una misma distancia horizontal al objeto.

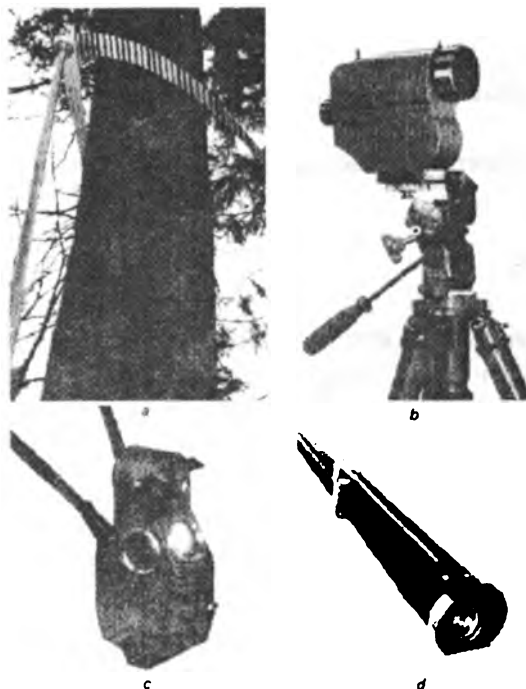


Figura 2-8a. Instrumentos para la medición de diámetros en altura a = Forcípula finlandesa, b = Telerrelascopio, c = Relascopio y d = Pentaprisma

II.1.2 Medición de diámetros a distintas alturas

La medición directa de diámetros a diferentes alturas hasta un máximo de ocho metros es factible a través de la forcípula finlandesa, ya descrita en la sección II.1.1, que montada sobre una vara permite una lectura directa.

La medición indirecta se efectúa a través de los dendrómetros o forcípulas ópticas mencionadas anteriormente como el Zeiss Teletop, dendrómetro Barr and Stroud, HUMMEL (1951), JEFFERS (1956), GROSENBAUGH (1963), pentaprisma de Wheeler (WHEELER 1962) y relascopio y telerrelascopio de Bitterlich (BITTERLICH 1959).

II.1.3 Medición de alturas

Dada la dificultad de emplear instrumentos de contacto o de medición directa como reglas o varas cuando las alturas sobrepasan los 8 a 10 metros, se usan en general instrumentos de tipo óptico basados en principios geométricos y trigonométricos (MÜLLER 1899; TISCHENDORF 1927).

A continuación se comentará la teoría general y se describirán los instrumentos más utilizados.

II.1.3.1 Hipsómetros basados en principios geométricos

Entre éstos se cuentan como los más comunes los hipsómetros Christen, Merritt, el suizo Klein y el danés Jal.

a) Hipsómetro Christen

El hipsómetro de Christen se fundamenta en la equivalencia de los triángulos $AC'D'$ y ACD como también de ABC y $AB'C'$ (Figuras 2-9 y 2-10).

Siendo

$$\frac{B'C'}{BC} = \frac{C'D'}{CD} \quad (2-7)$$

y dados por construcción

$$B'C' = b = \text{constante} = 0.30m$$

$$CD = L = \text{constante} = 4.00m$$