Método Marco CEM. Procedimiento alternativo para determinar el factor de conversión de metro ruma a volumen sólido[1]

F. Milla, J. Cancino**, P. Emanuelli****

RESUMEN

El procedimiento planteado permite determinar el volumen sólido de madera contenido en un metro ruma, mediante la obtención de la superficie ocupada por las secciones de los rollizos, en una unidad muestral cuadrada de un metro de lado. Para calcular la superficie se utilizan cuatro fórmulas distintas, según sea que el rollizo esté completamente incluido en la unidad muestral; se sitúe en el límite o en uno de sus vértices.

Palabras clave: Coeficiente de apilamiento, cubicación, factores de conversión, madera arrumada, metro ruma.

ABSTRACT

The proposed procedure makes it possible to determine the solid volume of wood contained in a cubic meter of stacked timber, by calculating the surface occupied by the sections of the pulplogs in a one-meter square sampling unit. Four different formulas are used to calculate the surface, depending on whether the pulplog is completely within the sampling unit, is on the edge of same, or is located at one of its vertexes.

INTRODUCCIÓN

La principal materia prima empleada para la fabricación de pulpa y pastas es la madera, insumo que, en Chile, es extraído de las plantaciones de *Pinus radiata* en forma de trozos (González y Molina 1989). La unidad volumétrica de comercialización es el metro ruma (mr), que corresponde al volumen estéreo contenido en una pila de rollizos de 1 m de ancho, 1 m de altura y 2.44 m de largo (Novoa 1982). Las características de los rollizos varían en diámetro y por la presencia o la ausencia de corteza, según sean las restricciones impuestas para su utilización como insumo primario. La distribución diamétrica y el espesor de corteza, la forma de cada uno de los trozos y la calidad del apilado afectan directamente la proporción de espacios presentes en cada metro ruma en particular, variando con ello su rendimiento en madera sólida, que es el punto de mayor importancia para el proceso productivo (Ramírez 1970).

[1] Recibido el 2 de setiembre de 1993.

* Ingeniero Forestal (E); Depto. Técnico Univ. Forestal, Universidad de Concepción, Los Angeles, Chile

** Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chillán, Chile

*** Ingeniero Forestal, Unidad de Estudios y Análisis VIII Región, Corporación Nacional Forestal, Concepción, Chile

MATERIALES Y MÉTODOS

Para convertir el volumen estéreo (mr) en volumen sólido de madera se utilizan factores de conversión que corresponden a valores medios y que se asumen válidos para la madera proveniente de una región determinada (Novoa 1982). Sin embargo, estos valores en promedio presentan un sesgo alto (Loetsch *et al.* 1963).

Los factores de conversión pueden ser obtenidos mediante diversos métodos, que varían en costo y precisión. Ramírez (1970) y Novoa (1982) mencionan el método de desplazamiento de agua, los métodos analíticos y el método de imágenes, entre los más importantes.

El método por desplazamiento de agua es uno de los más exactos que se han desarrollado para determinar el volumen de cuerpos irregulares, pero su aplicación práctica no es común pues requiere de gran manipulación de la madera, además del equipo adecuado, lo cual implica un costo alto (Ramírez 1970).

El método de imágenes consiste en obtener una imagen ortogonal de las caras de la ruma, a una escala apropiada, y en realizar las operaciones necesarias para obtener el volumen sólido de los rollizos contenidos en un volumen estéreo definido. Los procedimientos que tradicionalmente se emplean son dos: medición de diámetros sobre la imagen y sobreposición de plantilla de puntos.

Las experiencias con el primer procedimiento han tenido resultados contradictorios, pues mientras Kallio *et al.* (1973) no encontraron diferencia significativa entre el volumen obtenido por este procedimiento y el determinado mediante desplazamiento de agua, Novoa (1982) detectó diferencia con respecto al volumen obtenido en terreno por medición directa. En cambio, en la utilización del procedimiento de conteo de puntos, tanto Mountain (1949), comparándolo con el procedimiento de inmersión en agua y medición de diámetros en terreno (método analítico), como Novoa (1982), con medición de diámetros en terreno, concuerdan en señalar que no existen diferencias significativas entre este procedimiento y el método patrón utilizado en cada caso, además de destacar su rapidez y facilidad de aplicación.

El método analítico consiste en la representación del cuerpo del rollizo al darle la forma de un cuerpo geométrico conocido. En general, para describir la forma del árbol, el fuste puede dividirse en tres secciones: basal, que se asemeja a un nieloide truncado; media, que se asimila a un tronco de paraboloide, y superior, que puede asemejarse a un cono o paraboloide (Husch *et al.* 1982). Para cubicar los rollizos se utiliza la fórmula más apropiada según la forma que tengan, usándose corrientemente las de Huber, Smalian o Newton. Mientras que las fórmulas de Smalian y Huber son exactas sólo cuando la forma del rollizo corresponde a un tronco de paraboloide, la de Newton es exacta para cualquier cuerpo geométrico (Husch *et al.* 1982).

Si bien Keepers (1945) comprobó que no existe diferencia significativa entre el volumen calculado, utilizando las expresiones analíticas, y el obtenido por desplazamiento de agua, Husch *et al.* (1982) señalan que para la cubicación de madera apilada resulta apropiada la utilización de la fórmula de Smalian, puesto que las de Newton y Huber utilizan el diámetro central de la troza. Ello obligaría a manipular la madera si se deseara aplicar dichas fórmulas, resultando inconvenientes desde el punto de vista práctico.

En relación a la determinación del volumen sólido por metro ruma, Ramírez (1970), luego de analizar diversas expresiones de estimación, recomienda cubicar las rumas mediante la fórmula:

$$V = (2.44 * \pi * \Sigma\, di^2) / 40\,000$$

con:

V: volumen de madera sólida (m^3)

di: diámetro sin corteza del rollizo i de la ruma, medido en una cara (cm).

Esta expresión resultó con un menor error de estimación, siendo además la más simple para efectos de trabajo de campo y cálculos de oficina. El hecho de medir el diámetro sólo en una cara de la ruma concuerda con lo determinado por Kallio *et al.* (1973) y Novoa (1982), quienes concluyen en sus estudios que si el apilado se realiza correctamente, tanto el promedio de diámetros como la superficie ocupada por las secciones de los trozos en una cara de la ruma no difieren significativamente de los de la otra cara.

El objetivo de este trabajo es presentar un procedimiento alternativo para la obtención del factor de conversión de metro ruma a volumen sólido, junto con el desarrollo de las relaciones matemáticas involucradas.

Fundamento del método

EL procedimiento que se propone para determinar el factor de conversión de metro ruma a metro cúbico sólido sin corteza, denominado método

Marco CEM, se basa en Ramírez (1970), Kallio *et al.* (1973) y Novoa (1982) con respecto al empleo de la fórmula del cilindro en la cubicación de la madera arrumada y a la utilización arbitraria de cualquier cara de la ruma para realizar tal cubicación.

El método consiste en aislar en la ruma de madera un metro ruma, empleando para ello una unidad muestral cuadrada de un metro de lado, dentro de la cual se determina la superficie ocupada por las secciones de los rollizos (Fig. 1).

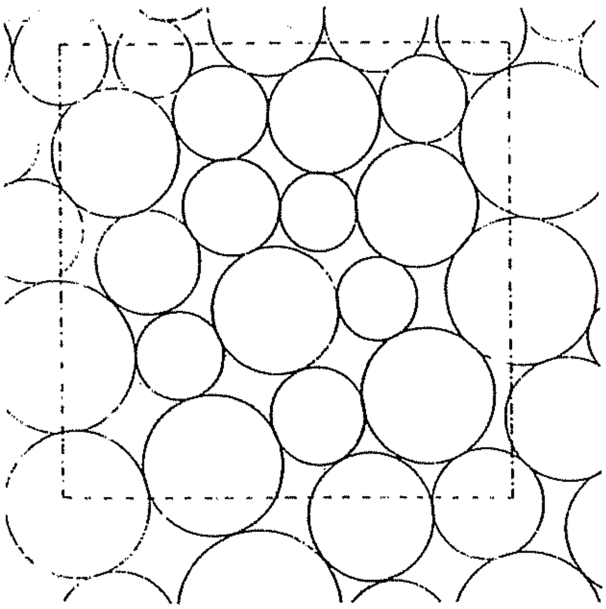

Fig. 1. Disposición de la unidad muestral sobre madera arrumada.

Para ello se asume que la excentricidad de las trozas es igual a la unidad (e = 1), utilizándose, en consecuencia, la fórmula del área de una circunferencia para determinar el área de cada sección de los rollizos totalmente incluidos en la unidad muestral, bastando con conocer el diámetro del trozo. La situación es distinta, y más compleja, para el caso de los rollizos que se encuentran parcialmente incluidos en la unidad muestral, los cuales pueden situarse en el contorno de ella o en uno de sus vértices. La compensación del efecto de borde se realiza determinando la fracción de superficie de la sección del rollizo efectivamente contenida en la unidad muestral. Para ello se emplean las expresiones matemáticas que se desarrollan a continuación.

Relaciones matemáticas del método

Rollizo en el contorno de la unidad muestral

Para esta situación se presentan dos casos: A1) cuando el eje longitudinal del trozo se encuentra fuera de la unidad muestral (Fig. 2), y A2) cuando el eje se encuentra incluido en la unidad (Fig. 3).

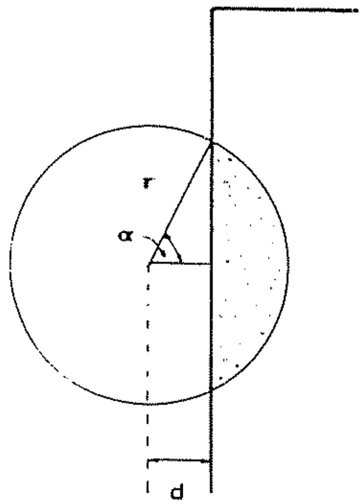

Fig. 2. Area incluida en la unidad muestral para el caso A1.

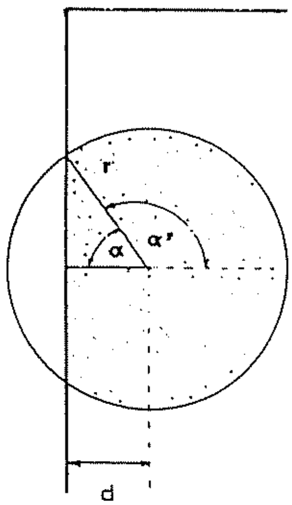

Fig. 3. Area incluida en la unidad muestral para el caso A2.

Caso A1. En este caso, el área incluida (A1) corresponde a la superficie del sector circular (As) menos dos veces el área del triángulo rectángulo formado por el radio "r", la distancia "d" y la distancia "y" (At). Matemáticamente esto es:

$$Ai = As - 2 * At$$

$$A1 = \frac{1}{2} r^2 * (2 \alpha) - 2 * \frac{1}{2} (y\ d)$$

$$Ai = r^2 \alpha - y\ d \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

donde:

$y = \sqrt{r^2 - d^2}$

$a = \arccos (d/r)$ (radianes)

Caso A2. Para este caso, el área incluida (Ai) será igual a la superficie del sector circular (As') más dos veces el área del triángulo rectángulo (At). Algebraicamente se tiene:

$$Ai = As' + 2 * At$$

$$Ai = \frac{1}{2} r^2 * (2 \alpha') - 2 * \frac{1}{2} (y\ d)$$

$$Ai = r^2 \alpha' + y\ d$$

donde:

$\alpha' = \pi - \alpha$ (radianes).

Luego:

$$Ai\ g\ r^2 (\pi - a) + y\ d \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Según lo anterior se tiene que, en el caso en que los rollizos se sitúen en el contorno de la unidad muestral, debe determinarse el diámetro de la troza y la distancia entre el centro de la misma y el borde de la unidad muestral (d).

Nótese, además, que si se considera "d" positivo cuando el eje de la troza esté incluido en la unidad muestral (Caso A2) y "d" negativo, si el eje del trozo se encuentra fuera de ella (Caso A1) y se hace uso de la identidad trigonométrica **arccos (-x) = π - arccos (x)**, la ecuación 2 es suficiente para determinar el área incluida en ambos casos. Esta expresión resulta también válida en el caso particular en que el borde de la unidad muestral pase por el centro geométrico de la troza (d = O).

Rollizo situado en un vértice de la unidad muestral

Para esta situación se presentan distintos casos según sea la posición en que se encuentre el vértice con respecto al centro geométrico o eje de la troza. Para el análisis, se considera, en todos los casos, el vértice superior izquierdo de la unidad muestral.

Caso B1. En este caso (Fig. 4) el área incluida (Ai) será igual a la sumatoria de la superficie del sector circular (As'), más la superficie de los triángulos rectángulos (At_1 y At_2), y más la superficie del rectángulo (Ar). Matemáticamente se tiene:

$$Ai = As' + At_1 + At_2 + Ar$$

$$Ai = \frac{1}{2} r^2 \alpha' + \frac{1}{2} y_1 d_2 + \frac{1}{2} y_1 d_2 + d_1 d_2$$

donde:

$Y = \sqrt{r^2 - d_1^{\ 2}}$

$Y = \sqrt{r^2 - d_2^{\ 2}}$

$\alpha' = {}^3/_2\, \pi - \alpha_1 - \alpha_2$ (radianes)

con:

$\alpha_1 = \arccos (d_1 / r)$ (radianes)

$\alpha_2 = \arccos (d_2 / r)$ (radianes)

Luego se tiene que:

$$Ai = \frac{1}{2} r^2 ({}^3/_2 \pi - \alpha_1 - \alpha_2) + \frac{1}{2} (y_1 d_1 + y_2 d_2) + d_1 d_2 \ldots (4)$$

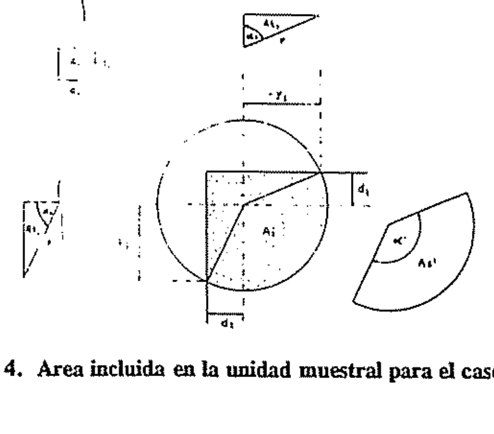

Fig. 4. Area incluida en la unidad muestral para el caso B1.

Caso B2. Para este caso (Fig. 5), el área incluida se obtiene por la diferencia entre la sumatoria con superficies As', A_1, A_2, At_1, At_2, y Ar, y el área de la circunferencia de radio "r" (Ac). Esto es:

$$Ai = As' + A_1 + A_2 + At_1 + At_2 + Ar + Ac$$

con:

$$As' = \frac{1}{2} r^2 \alpha \quad Ac = \pi r^2 \quad A_1 = r^2 \alpha_1 - y_1 d_1$$

$$At_1 = \frac{1}{2} y_1 d_1 \quad Ar = d_1 d_2 \quad A_2 = r^2 \alpha_2 - y_2 d_2$$

$$At_2 = \frac{1}{2} y_2 d_2$$

puesto que

$$a' = {}^3/_2 \pi - \alpha_1 - \alpha_2,$$

se tiene entonces que:

$$Ai = \frac{1}{2} r_2 (\alpha_1 + \alpha_2 - \frac{1}{2}\pi) - \frac{1}{2} (y_1 d_1 + y_2 d_2) + d_1 d_2 \ldots\ldots\ldots(4)$$

donde:

y_1, Y_2, a_1 y a_2 se calculan de la misma forma que en el caso B1.

Caso B3. En este caso (Fig. 6), el área incluida en la unidad muestral (Ai) corresponderá a la diferencia entre el área del arco de circunferencia (A_2) y la superficie de la fracción circular (Ax), donde "Ax" se obtiene en forma análoga a la superficie incluida en el caso B2 (ecuación 4). Luego, matemáticamente se tiene:

$$Ai = A_2 - Ax$$

con:

$$A_2 = r^2 a_2 - Y_2 d_2$$

$$Ax = \frac{1}{2} r_2 (a_1 + a_2 - \frac{1}{2}\pi) - \frac{1}{2} (y_1 d_1 + y_2 d_2) + d_1 d_2$$

entonces, se tiene que:

$$Ai = \frac{1}{2} r_2 (a_2 - a_1 + \frac{1}{2}\pi) + \frac{1}{2} (y_1 d_1 - y_2 d_2) - d_1 d_2 \ldots\ldots(5)$$

Con a_1, a_2, y_1 e y_2 obtenidos de la misma forma que en los casos anteriores.

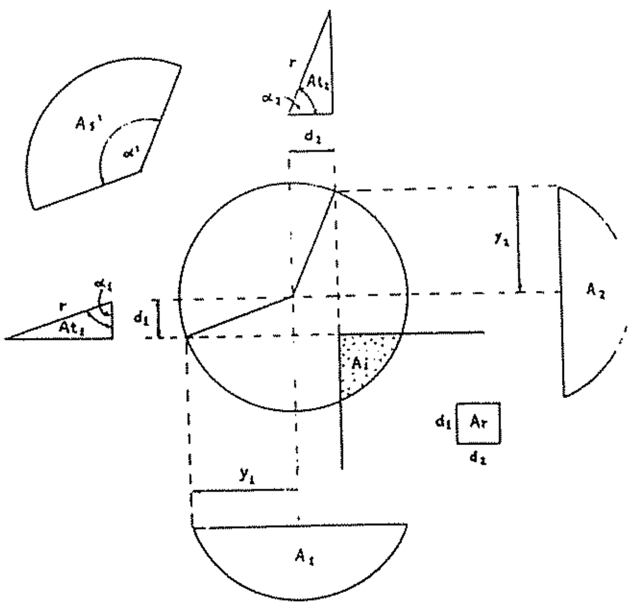

Fig. 5. Area incluida en la unidad muestral para el caso B2.

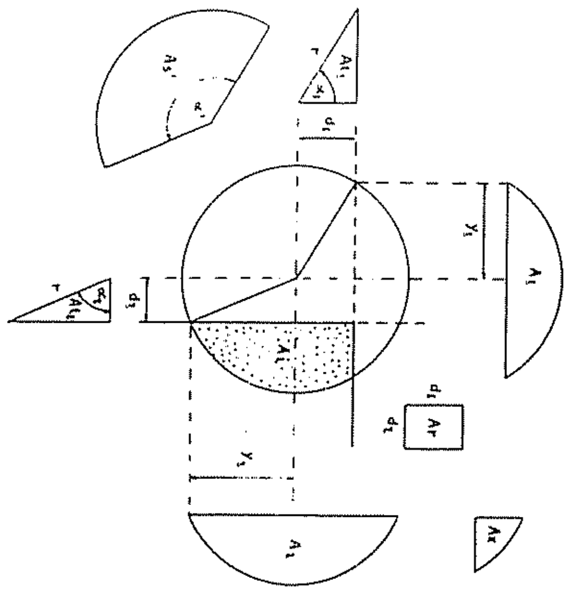

Fig. 6. Area incluida en la unidad muestral para el caso B3.

Caso B4. Para este caso (Fig. 7), se procede en forma similar al caso anterior, teniéndose entonces que el área incluida (Ai) corresponde a la diferencia entre el arco de circunferencia (A_1) y la superficie de la fracción circular (Ax). Algebraicamente esto es:

$$Ai = A_1 - Ax$$

con:

$$A_1 = r^2 a_1 - y_1 d_1$$

$$Ax = ½r^2 (a_1 + a_2 - ½\pi) - ½ \; (y_1 d_1 + y_2 d_2) + d_1 d_2$$

luego:

$$Ai = ½r^2 (a_1 - a_2 + ½\pi) - ½ \; (y_1 d_1 - y_2 d_2) - d_1 d_2 \; ......(6)$$

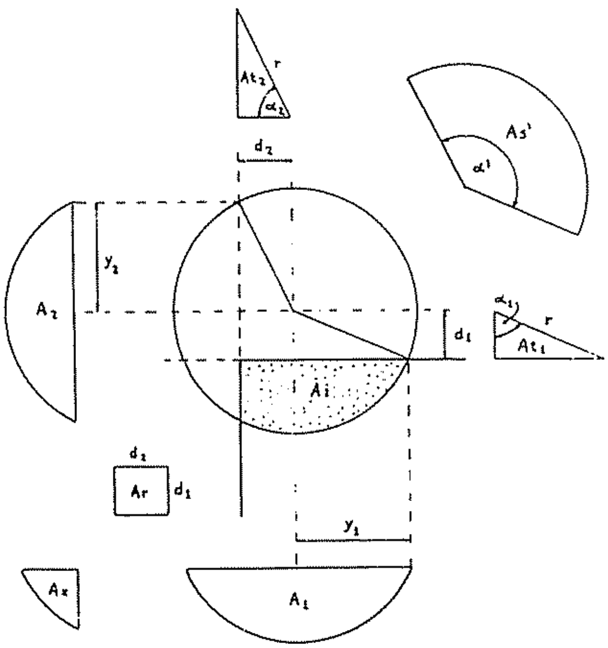

Fig. 7. Area incluida en la unidad muestral para el caso B4.

Caso B5. En este caso (Fig. 8), el área incluida en la unidad muestral (Ai) corresponde a la diferencia entre el área de la circunferencia de radio "r" (Ac) y la sumatoria de las superficies de los arcos de circunferencia (A_1 y A_2). Matemáticamente esto es:

$$Ai = Ac - A_1 - A_2$$

con:

$$Ac = \pi \; r_2$$

$$A_1 = r^2 \alpha_1 - y_1 d_1$$

$$A_2 = r^2 \alpha_2 - y_2 d_2$$

con lo que se tiene que:

$$Ai = r^2 (\pi - \alpha_1 - \alpha_2) + y_1 d_1 + y_2 d_2 \; .... (7)$$

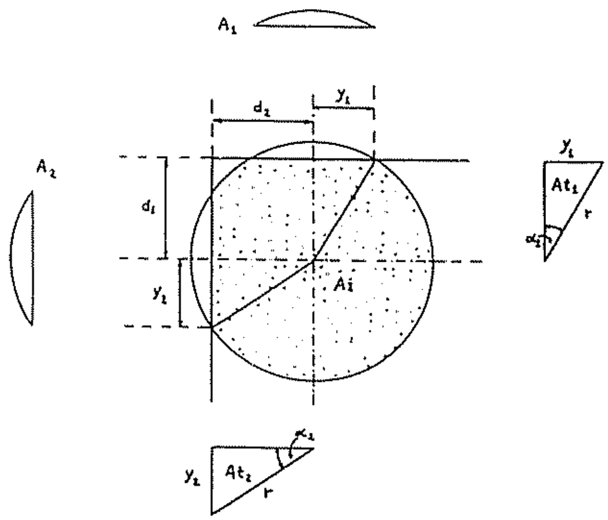

Fig. 8. Area incluida en la unidad muestral para el caso B5.

Luego, para el caso de los rollizos situados en el vértice de la unidad muestral, debe determinarse el diámetro de la troza junto con la distancia vertical y la distancia horizontal desde el centro del rollizo al límite de la unidad muestral (d_1 y d_2, respectivamente).

Si bien las expresiones anteriores han sido obtenidas considerándose el vértice superior izquierdo de la unidad muestral, son válidas para cualquiera de los vértices de la misma.

Se debería utilizar, entonces, cinco expresiones matemáticas para determinar la superficie incluida en la unidad muestral cuando los rollizos se sitúan en un vértice de ésta, lo que podría contribuir a que el procesamiento de la información fuese engorroso. Sin embargo, en forma análoga al punto A, si se considera d_1 y d_2 positivos o negativos (Fig. 9), y se aplica la identidad trigonométrica **arccos (-x) = π - arccos (x)**, puede demostrarse que las expresiones 4, 5 y 6 se reducen a la expresión 3.

De esta forma la totalidad de casos, para la situación B, son descritos utilizando sólo dos expresiones algebraicas (ecuaciones 3 y 7). Nótese, además, que la ecuación 3 resulta también válida para el caso particular en que el vértice de la unidad muestral se sitúe en el borde del rollizo (Fig. 10).

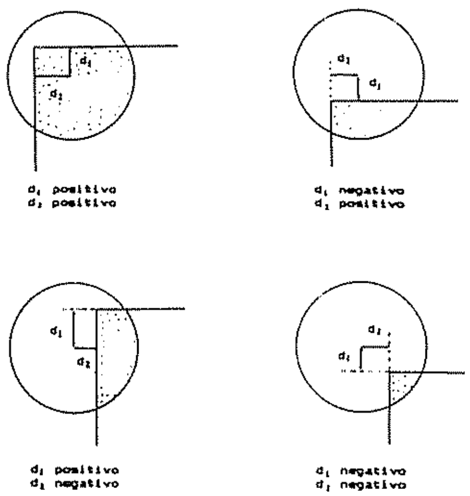

Fig. 9. Signo para d_1 y d_2 según cada caso de la situación B.

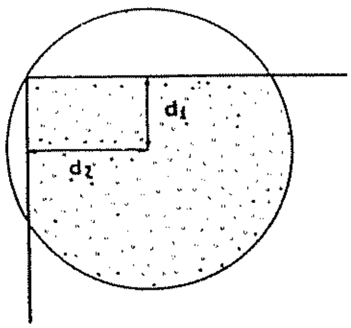

Fig. 10. Vértice de la unidad muestral coincidente con el borde del rollizo.

CONCLUSIONES

En resumen, el método Marco CEM permite obtener el factor de conversión de metro ruma a metro cúbico sólido sin corteza, trabajando con una cara arbitraria de la ruma y sin que sea necesario manipular la madera. Para obtener el volumen sólido de madera contenido en un metro ruma se determina la superficie de la sección de cada rollizo efectivamente incluida en una unidad muestral cuadrada de 1 m de lado. Se utiliza para ello la fórmula del área de una circunferencia cuando los rollizos están completamente incluidos en la unidad muestral; la expresión 2 para los trozos situados en el límite de ésta y las expresiones 3 y 7 cuando los rollizos se sitúan en algún vértice de la unidad. Para obtener el volumen se multiplica la superficie por el largo estándar de los trozos arrumados, que corresponde habitualmente a 2.44 metros.

LITERATURA CITADA

GONZÁLEZ, J.; J. MOLINA. 1989. Consideraciones sobre los tratamientos silviculturales y los rendimientos cuantitativos y cualitativos en madera pulpable de *Pinus radiata*. Documento Técnico no. 38. Revista Chile Forestal. 8 p.

HUSCH, B.; MILLER, C.; BEERS, T.W. 1982. Forest mensuration. 3ed. New York, Wiley. 402 p.

KALLIO, E.; LOTHNER, D.; MARDEN, R.M. 1973. A test of photographic method for determining cubic foot volume of pulpwood. USA For. Service Research. Nota NC-155. 3 p.

KEEPERQ, C. 1945. A new method of measuring the actual volume of wood in stacks. Journal Forestry 43:16-22.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. 1973. Forest inventory. Munchen, Gebr. Parcus K.G. 469 p.

MOUNTAIN, H.S. 1949. Determining the solid wood volume of four foot pulpwood stacks. Journal Forestry 47:627-631.

NOVOA, L. P. 1982. Aplicación de métodos fotográficos en la determinación del volumen de madera arrumada de *Pinus radiata* D. Don. Chillán, Chile, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. 35 p.

RAMÍREZ, A.M. 1970. El metro ruma: Variables que afectan su rendimiento en madera sólida. Tesis. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Forestal. 37 p.