

Estudio experimental de una tronzadora mecánica

POR EL

ING. AGR. JOSÉ A. RICCITELLI *

1º. — Descripción de la máquina:

El propósito de mecanizar el corte de grandes rollizos de madera de diámetro hasta 0,80 m. en trozos de longitud variable y adaptada a las exigencias del consumo, ha dado origen a la tronzadora mecánica, accionada por motor de explosión, para hacerla portátil y utilizable en pequeñas explotaciones donde no se disponga de corriente eléctrica.

El mecanismo ha tratado de reproducir, por su movimiento y velocidad, la operación del tronzado a mano. Hasta las dimensiones de la sierra y de su dentadura no difiere de las similares manuales provistas de dos manijas para ser accionadas por dos obreros. Sin embargo la diferencia principal está en que la inserción de la lámina al mecanismo que se hace por uno de sus extremos, y más bien se asemeja por este detalle, al movimiento del serrucho manual donde actúa el propio peso y las componentes dinámicas verticales en el trabajo con frotamiento entre los dientes y la pieza de madera que se corta.

Los fotografías N.º 1 y 2 revelan los detalles constructivos restantes.

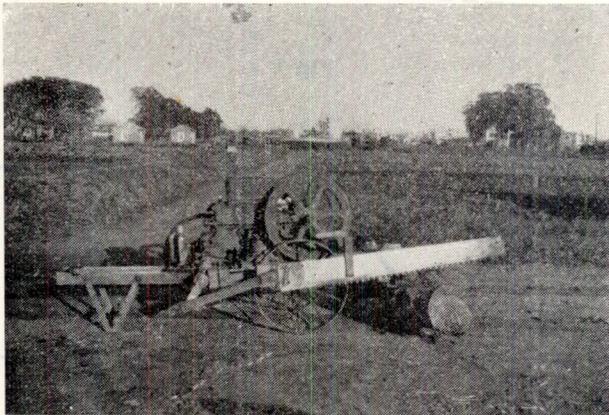
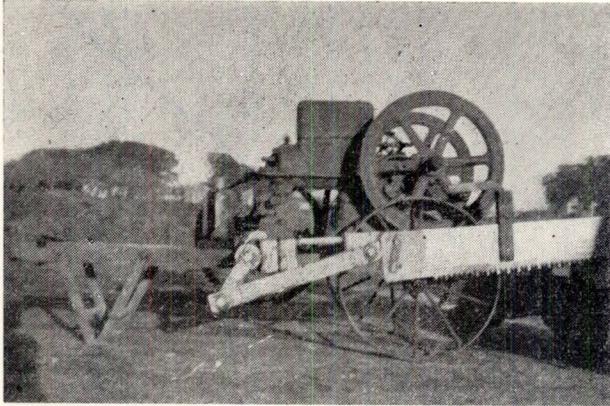
2º. — Estudio cinemático (1).

El botón M_1 de la manivela que pone en movimiento la guía M_1A_2 , un patín situado en A_2 , y, con su vástago, la sierra fijada en su extremo, A_2A_1 , como si fuera el todo una biela de longitud M_1A_1 . El botón M_2 de una manivela mayor, mediante la biela M_2A_2 , que hace deslizar el patín citado en la guía, mueve la sierra independientemente del anterior movimiento. Superponiéndose así, en la sierra, los movimientos transmitidos por los botones M_1 y M_2 . Fig. N.º 1.

* Jefe de Trabajos Prácticos. y Profesor de Mecánica Agrícola — 2º Curso.

(1) Colaboración del Sr. Profesor de Mecánica Agrícola — 1 curso — Ingeniero. A. Rulli.

Ahora bien, siendo OM_1 igual a r_1 , OM_2 igual a r_2 y ω la velocidad angular común de estas dos manivelas, con su longitud variable M_1A_1 , pero la M_2A_2 fija, nos proponemos hallar una fórmula que pueda darnos la velocidad de la sierra en cualquier posición del sistema, determinada por los ángulos α_1 , β_1 , α_2 , β_2 , que se han señalado en la figura N.º 1.



3º. — *Fórmula resolvente:*

Consideramos primeramente el movimiento de M_1A_1 . Su centro instantáneo es O' , intersección de la normal a la dirección de la sierra en A_1 , con la prolongación de la manivela OM_1 . Con este centro y la velocidad angular ω' , las velocidades instantáneas de los extremos A_1 y M_1 , son:

gulo rectángulo M_1A_1O' . Luego, la velocidad instantánea de la sierra, en su misma dirección, es:

$$v' = v_1 \cdot \text{sen } \alpha_2$$

Como $v_1 = \omega \cdot r_1$ es:

$$v' = \omega r_1 \cdot \text{sen} \alpha_2 \quad (1)$$

Ahora consideramos el movimiento de la biela M_2A_2 . Su centro instantáneo es O'' , intersección de la normal en A_2 a la trayectoria de este pie o patín, con la prolongación de la manivela OM_2 , normal a la circunferencia que describe M_2 . Indicando con ω'' la velocidad angular de la biela M_2A_2 , en torno al centro instantáneo obtenido, las velocidades instantáneas de sus extremos son:

$$v'' = \omega'' \cdot O''A_2$$

$$v_2 = \omega'' \cdot O''M_2$$

Dividiendo miembro a miembro eliminamos ω'' :

$$\frac{v''}{v_2} = \frac{O''A_2}{O''M_2}$$

El triángulo M_2A_2O'' , donde el ángulo en M_2 es $\alpha_2 + \beta_2$, por ser exterior del triángulo $M_1A_2M_2$ y el ángulo en A_2 es $90^\circ - \beta_2$, por complementario del β_2 , nos permitirá expresar la razón de lados del segundo miembro en función de datos angulares. En efecto:

$$\frac{O'' A_2}{O'' M_2} = \frac{\text{sen } (\alpha_2 + \beta_2)}{\text{sen } (90 - \beta_2)} = \frac{\text{sen } (\alpha_2 + \beta_2)}{\text{cos } \beta_2} \text{ luego}$$

$$\frac{v''}{v_2} = \frac{\text{sen } (\alpha_2 + \beta_2)}{\text{cos } \beta_2}$$

Por consiguiente, la velocidad instantánea comunicada a la sierra por M_2 , en la dirección de ella misma es:

$$v'' = v_2 \cdot \frac{\text{sen } (\alpha_2 + \beta_2)}{\text{cos } \beta_2} \quad \text{Como:}$$

$$v_2 = \omega \cdot r_2$$

$$v'' = \omega \cdot r_2 \cdot \frac{\text{sen } (\alpha_2 + \beta_2)}{\text{cos } \beta_2} \quad (2)$$

Las velocidades calculadas, v' y v'' , se superponen en la misma dirección y sentido; luego, la velocidad resultante de la sierra, que buscamos es:

$$v = v' + v'', \text{ o sea:} \\ v = \omega \cdot r_1 \cdot \text{sen } \alpha_2 + \omega \cdot r_2 \frac{\text{sen } (\alpha_2 + \beta_2)}{\text{cos } \beta_2} \quad (3)$$

o si se quiere, por ser $\alpha_2 = \alpha_1 + \beta_1$

$$v = \omega \cdot r_1 \cdot \text{sen } (\alpha_1 + \beta_1) + \omega \cdot r_2 \frac{\text{sen } (\alpha_2 + \beta_2)}{\text{cos } \beta_2} \quad \text{que}$$

es la fórmula que damos por resolvente del problema.

4°. — Representación gráfica de las variaciones de velocidad en la sierra:

Sobre un sistema de ejes coordenados —gráfico N° 1— llevamos los valores de las velocidades instantáneas en el eje de las ordenadas y las posiciones de la manivela, en el eje de las abscisas. Calculadas las velocidades por medio de la fórmula precedente en una serie de posiciones del sistema, encontramos los puntos suficientes para el trazado de la gráfica.

La inflexión de la curva en los puntos comprendidos entre las posiciones de 75° a 105° y 255° a 285° constituyen la característica particular del mecanismo de doble biela.

5°. — Cálculo de la capacidad de trabajo:

No resulta tarea fácil determinar en forma precisa la cantidad de madera cortada en una jornada de trabajo regular; son muchos los factores que entran en juego y las variaciones de los resultados tienen gran amplitud. Estos factores son propios de la naturaleza del trabajo, tales como: contextura de la madera, longitud de los rollizos, longitud de la pieza que se corta según la utilización posterior, diámetro del rollizo, etc. Se agrega a éstos los factores inherentes a la propia máquina, como: tiempo necesario para fijar el rollizo con el sistema de anclaje, estado de la hoja de sierra en lo que se refiere al filo de los dientes y «grado de traba», pulimento de la superficie, lubricación, alineación del corte, etc. Y por último los factores accidentales de tiempo necesario para atender la marcha del motor; cargar combustible, lubricante, agua, registrar la velocidad, ajustar la correa, etc. Sin embargo, con la labor experimental de este estudio, hemos hallado algunos valores que pueden servir de guía para trabajos ulteriores y como normas de ensayo. Así, por ejemplo, hemos hecho las siguientes determinaciones:

a) *Tiempo empleado para cortar una sección:*

Se puede calcular conociendo la superficie del corte a efectuar y el tiempo empleado por unidad de superficie. El segundo factor ha sido hallado experimentalmente en la forma que sigue: Sobre un rollizo de longitud lo mayor posible, que es por cierto tronco cónico, se efectúa un número de cortes cuyas secciones son irregulares; por consiguiente, es necesario reproducirlas sobre un papel y medirlas por medio de un planímetro. Contemporáneamente se ha tomado el tiempo en cada sección desde el instante en que la sierra se apoya sobre el rollizo hasta finalizar el corte. La sumatoria de todas las superficies parciales y de los tiempos efectivos nos proporciona el valor buscado.

En nuestro ensayo hemos obtenido, para las especies que se enumeran, los siguientes valores:

| | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Sauce-álamo | 12 segundos/dm ² |
| Eucaliptus | 20 segundos/dm ² |
| Ñandubay | 25 segundos/dm ² |
| Quebracho colorado | 25 segundos/dm ² |

Como puede observarse en estos valores, el tiempo es sensiblemente proporcional a la dureza de la madera, variando también con otros factores, como el grado de humedad dentro de la misma especie, con el diámetro, puesto que el frotamiento se hace más notable, la forma de crecimiento, puesto que de esta depende en cierto modo el número de ramas y la disposición de las fibras, etc. Por esta razón, todo ensayo debe ser precedido de una determinación semejante a la indicada.

b) *Pérdidas de tiempo durante el trabajo:*

El trabajo de aserrado se interrumpe por tres causas fundamentales: 1°) Para colocar la sierra en posición de iniciar un nuevo corte en la misma pieza. 2°) Para colocar la máquina frente a un nuevo rollizo, o bien, correr el rollizo hasta la máquina y 3°) para salvar cualquier dificultad o accidente durante el trabajo. El primer caso ha sido determinado experimentalmente para troncos de sauce-álamo en unos treinta segundos; el segundo caso en unos 300 segundos, y el tercer caso, como depende de tantas circunstancias, resulta difícil de preveer y por consiguiente lo incluímos en un coeficiente que afecta a toda la fórmula final.

c) *Longitudes de los rollizos y de los trozos:*

Es muy probable que los rollizos tengan longitudes variables que dependen del sistema de explotación del bosque, pero podemos llegar a ob-

tener un promedio aceptable en cada caso. En nuestro ensayo, por ejemplo, ha sido de cinco metros.

En cuanto a la longitud de los trozos dependerá, por cierto, del destino que se les quiera dar; 20, 30, 40 ó 50 centímetros.

d) *Procedimiento para el cálculo:*

Si designamos por:

L: la longitud promedio de los troncos en metros;

l: la longitud de los trozos, en metros;

tc: tiempo para cortar una pieza, en segundos/dm²;

tp: tiempo necesario para una nueva posición de corte;

S: la superficie de la sección de corte en decímetros cuadrados;

d: diámetro medio de los troncos, en decímetros;

T₁, tiempo total para cortar un tronco;

n': número de trozos por pieza.

El número de trozos por pieza será:

$$n' = \frac{L}{l}$$

y el número de cortes:

$$n = n' - 1$$

la superficie cortada por pieza será:

$$S = n \cdot s = n \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Tiempo necesario para cortar:

$$T_1 = \frac{n \cdot \pi \cdot d^2 \cdot tc}{4}$$

Tiempo para correr la pieza:

$$T_p = n \cdot tp$$

Tiempo total por pieza:

$$T = \frac{n \cdot \pi \cdot d^2 \cdot tc}{4} + n \cdot tp =$$

$$= n \left(\frac{\pi \cdot d^2 \cdot tc}{4} + tp \right)$$

y si llamamos $t'p$ al tiempo necesario para colocar la sierra para una nueva pieza, tendremos:

$$T_x = n \left(\frac{\pi \cdot d^2 \cdot t_c}{4} + t_p \right) + t'p$$

Siendo J, la jornada de trabajo expresada en horas, el número de troncos cortados por día será:

$$N' = \frac{3600 \cdot J}{T_x}$$

Teniendo en cuenta el tercer caso del apartado b) las pérdidas de tiempo accidentales las consideramos incluídas en el coeficiente α

$$N = \frac{3600 \cdot \alpha \cdot J}{T_x}$$

$$N = \frac{3600 \cdot \alpha \cdot J}{n \frac{\pi d^2 t_c}{4} + t_p + t'p}$$

Donde N representa el número de troncos efectivos, cortados en un día de labor.

Aplicación:

De conformidad con los datos experimentales tenemos:

$$L = 5 \text{ m};$$

$$l = 0,35 \text{ m};$$

$$t_c = 12 \text{ s/dm}^2;$$

$$t_p = 30 \text{ s.}$$

$$t'p = 300 \text{ s};$$

$$d = 2 \text{ dm};$$

$$\alpha = 0,80;$$

$$J = 8 \text{ horas.}$$

$$n = \frac{L}{l} - 1 = \frac{5 \text{ m}}{0,35 \text{ m}} - 1 = 13$$

$$N = \frac{3600 \cdot \alpha \cdot J}{\pi d^2 t c} =$$

$$= \frac{3600 \cdot 0,80 \cdot 8}{4} + t p + t' p$$

$$= \frac{3,14 \cdot 2,2^2 \cdot 12}{4} + 30 + 300$$

C) *Capacidad de trabajo expresada en metros cúbicos de madera y en kilogramos de peso:*

El volumen de madera cortada será

$$V = N \cdot S \cdot L$$

donde S representa la superficie media de la sección, expresada en metros cuadrados.

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,20^2 \text{ m})}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$V = 20 \cdot 0,0314 \cdot 5 = 3,14 \text{ m}^3$$

Para un peso específico de 0,7 tendremos:

$$Q = 3,14 \text{ m}^3 \cdot 0,70 = 2198 \text{ kg.}$$

6°. — *Cálculo del consumo de combustible:*

El motor de explosión que acciona la tronadora tiene las características de los similares de poca potencia, de uno a cinco caballos, con un regulador automático de velocidad y por consiguiente con un consumo proporcional a la potencia que desarrolla; siendo mínima para la marcha en vacío.

Al ensayar el corte de un rollizo se determina experimentalmente el consumo específico en pleno trabajo; es decir, cuando actúan las resistencias del aserrado de la madera más los efectos del rozamiento entre la superficie de la sección y la hoja de la tronadora. El consumo se mantiene casi constante para cualquier tipo de madera; desde luego que ex-

presado en la unidad de tiempo. Quiere decir, que para una sección de madera dura, como el tiempo aumenta, el consumo será mayor por unidad de superficie cortada.

Luego es necesario conocer también el consumo en vacío.

Con estos elementos del cálculo se puede hallar la cantidad de carburante gastado por cada rollizo. Para ello es indispensable desdoblarse el trabajo del motor en a) trabajo activo de corte y b) trabajo en vacío. El primero se calcula por la fórmula, que sigue, puesto que es proporcional al tiempo empleado:

$$a) \quad \frac{n. \pi. d^2. tc}{4} = \text{tiempo empleado en el corte efectivo.}$$

$$b) \quad (n.tp) + t'p = \text{tiempo transcurrido en la marcha en vacío.}$$

Siendo el consumo específico en carga $C'c$ y en vacío $C'v$, expresado en gramos por hora, tendremos:

$$a) \quad \frac{n. \pi. d^2. tc. C'c}{4. 3600} = K_1$$

$$b) \quad \frac{[(n.tp) + t'p] C'v}{3600} = K_2$$

luego:

$$K = \frac{n. \pi. d^2. tc. C'c}{4. 3600} + \frac{[(n.tp) + t'p] C'v}{3600}$$

$$K = \frac{n. \pi. d^2. tc. C'c + 4 [(n.tp) + t'p] C'v}{3600}$$

Siendo K el consumo en gramos por rollizo.

Aplicación:

$$Cv = 1800 \text{ g/hora.}$$

$$Cc = 3800 \text{ g/hora.}$$

Los datos restantes corresponden a la aplicación anterior.

$$\frac{13.3.14.2^2.12.3800 + 4 [(13.30) + 300] 1800}{3600} = 1936 \text{ g/rollizo}$$

Para veinte rollizos por jornada (caso del sauce-álamo) resulta:

$$K \text{ total} = 38.720 \text{ g}$$

Si tomamos como peso específico de la nafta el de 0,74, el volumen de combustible necesario por jornada será de:

$$V \text{ total} = \frac{38.720 \text{ g}}{740 \text{ g/litro}} = 52,32 \text{ litros}$$

Cuadro resumen de las experiencias realizadas sobre diferentes especies:

| <i>Especie</i> | <i>Nº de rollizos por jornada</i> | <i>Volumen de madera por jornada</i> | <i>Peso de madera por jornada</i> |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Sauce-álamo | 20 | 3,14 m ³ | 1570 Kg. |
| Eucaliptus . | 15 | 2,35 m ³ | 1645 Kg. |
| Ñandubay . | 13 | 2,04 m ³ | 1632 Kg. |

Gasto de combustible (nafta) para el corte de los rollizos expresados en el cuadro anterior:

| | |
|------------------|--------------|
| Sauce-álamo..... | 52,32 litros |
| Eucaliptus | 44,06 μ |
| Ñandubay | 33,46 μ |

CONCLUSIONES

Del estudio realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

1º. Una fórmula resolutive que aplicada al mecanismo de doble manivela, accionante de la sierra, permite calcular la velocidad lineal de la misma, factor éste determinante de la mayor o menor rapidez en el corte.

2º. Un método de cálculo para la determinación de la capacidad de trabajo de las diferentes tronadoras conocidas hasta el momento.

3º. Una fórmula que permite calcular el consumo de combustible en las máquinas accionadas por motor a explosión, teniendo en cuenta los diferentes factores inherentes al trabajo del tronado.

RESUMEN

El autor ha realizado sobre una tronadora mecánica un estudio orgánico y cinemático en lo referente al mecanismo de doble manivela utilizado para el corte, determinando la velocidad de la sierra y sus variaciones con el objeto de calcular la capacidad de trabajo y teniendo en cuenta los diferentes factores que entran en juego.

Halla, por otra parte, una fórmula que permite calcular el consumo de combustible para diferentes especies madereras, complementando el estudio con algunas aplicaciones prácticas.

SUMMARY

The author has made an organic and cinematic study on a mechanical saw with reference to the mechanism of double crankshaft used for the cutting, determining the velocity of the capacity of work and taking into account the different factors which play a part in its mechanism.

On the other hand he finds a formula that permits to calculate the fuel consumption for different wood species, finishing up the investigation work with some practical applications.

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LAS DISTINTAS POSICIONES DE LA SIERRA EN LA TRONZADORA MECANICA.

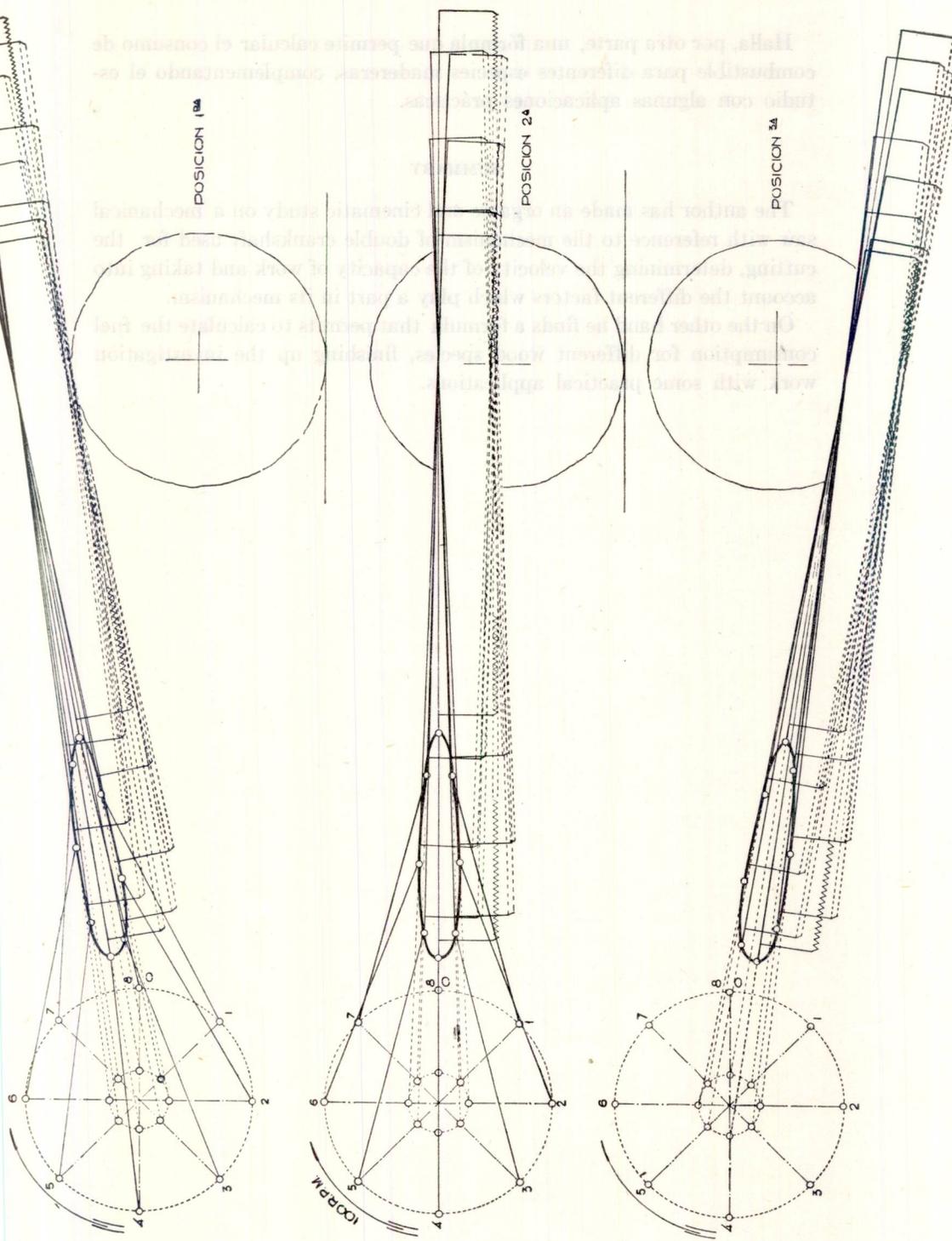
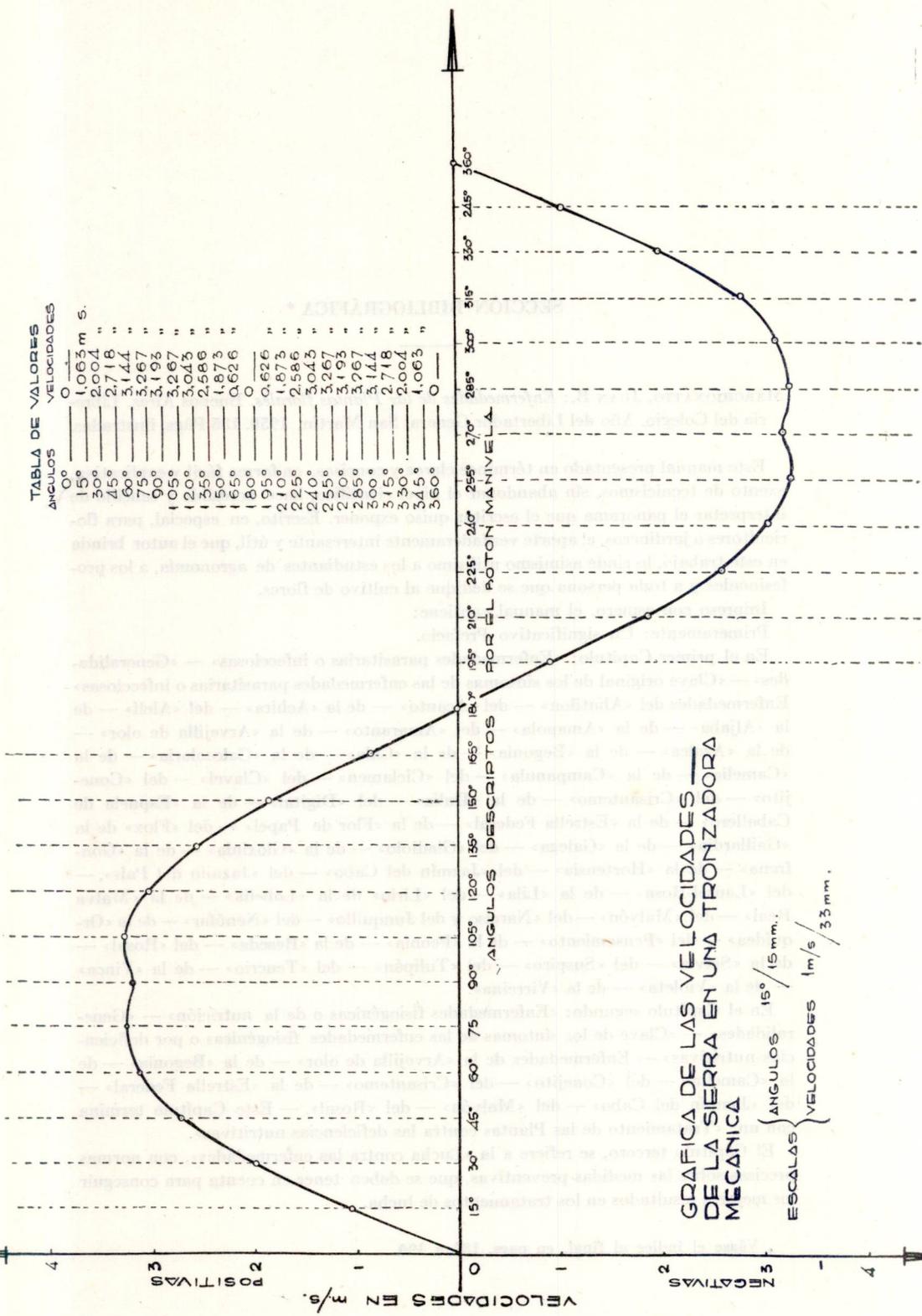


TABLA DE VALORES VELOCIDADES

| ANGULOS | VELOCIDADES |
|---------|-------------|
| 0° | 0 |
| 15° | 1,063 m s. |
| 30° | 2,004 " |
| 45° | 2,718 " |
| 60° | 3,144 " |
| 75° | 3,267 " |
| 90° | 3,198 " |
| 105° | 3,267 " |
| 120° | 3,043 " |
| 135° | 2,586 " |
| 150° | 1,873 " |
| 165° | 0,626 " |
| 180° | 0 |
| 195° | 0,626 " |
| 210° | 1,873 " |
| 225° | 2,586 " |
| 240° | 3,043 " |
| 255° | 3,267 " |
| 270° | 3,198 " |
| 285° | 3,267 " |
| 300° | 3,144 " |
| 315° | 2,718 " |
| 330° | 2,004 " |
| 345° | 1,063 " |
| 360° | 0 |



GRAFICA DE LAS VELOCIDADES DE LA SIERRA EN UNA TRONZADORA MECANICA

ESCALAS { ANGULOS 15° / 15 mm., VELOCIDADES 1 m/s / 33 mm.