

H. L. ...

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO I.C.A.

Sub-Gerencia Técnica
División de Investigación
Departamento de Ingeniería Agrícola

PROGRAMA: Maquinaria Agrícola

EVALUACION GENERAL DE UN MOLINO DE VIENTO

Por: Carlos J. Rincón C.*

INTRODUCCION

El presente informe, correspondiente a la evaluación del molino de viento construido por el Programa, obedece a una solicitud de su Director, con base en una serie de quejas que se venían presentando, procedentes en su mayoría de la Estación Experimental Carimagua, donde hay varios molinos instalados.

En su evaluación se tuvieron en cuenta las condiciones reales de trabajo, para lo cual fué necesario hacer una instalación completa de un molino en Tibaitatá. Para el efecto se escogió el lote de la Estación Meteorológica con el fin de facilitar las lecturas correspondientes a cada ensayo.

Se tomaron datos de velocidad del viento y la correspondiente velocidad del rotor girando primero libremente, y después con la bomba de pistón.

* Ingeniero Mecánico. Departamento Ingeniería Agrícola ICA. Programa Maquinaria Agrícola. CHIA Tibaitatá.

2365

acoplada y extrayendo agua de un depósito de 1 m³ de capacidad. El gasto de la bomba también fué medido.

Todos los datos se procesaron en Biometría, lo cual facilitó la labor de ajuste correspondiente a cada relación.

Las demás partes del molino (estructura, bomba, transmisión), se evaluaron con base en la calidad de su trabajo, y en su comportamiento en condiciones reales de trabajo.

1. OBJETIVOS

- a. Determinar si el molino de viento construido por el programa podría ser una fuente de energía en sitios donde se dificulta encontrar combustibles o energía eléctrica, como en el caso típico de los llanos orientales.
- b. Determinar si acoplando una bomba tipo pistón al brazo del molino, se podría extraer agua subterránea, y en qué cantidad de acuerdo con el régimen de vientos, con el objeto de solucionar su escasez en las épocas de sequía.
- c. Establecer la relación entre la velocidad del viento y la velocidad del rotor cuando éste último se deja girar libremente.
- d. Establecer la relación entre la velocidad del viento y la velocidad del rotor cuando se acopla una bomba que extrae agua de un depósito.
- e. Establecer la relación entre la velocidad del rotor y el gasto de la bomba.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Estructura

La estructura principal se construyó en forma de pórtico utilizando perfiles en U de 4" x 1½" x ½", y descansando sobre bases de concreto de 30 cm. de lado por 60 cm. de profundidad. Sin embargo, cuando el rotor gira por encima de 100 rpm, la estructura está sometida a un movimiento lateral intermitente perdiendo estabilidad. Para amortiguar este efecto, se hizo necesario colocar cuatro tensores con sus respectivos tensores a fin de graduarlos cuando sea necesario. Además, en la parte inferior de la estructura se colocaron diagonalmente, dos miembros que se cruzan uniendo los elementos verticales de la estructura principal. Estas diagonales son perfiles en L de 1½" x 1½" x 3/16". El montaje completo se puede apreciar en la Fig.1

En caso de que la velocidad del rotor sea superior a 150 rpm, se puede utilizar una estructura en trípode que pueda ser hecha de perfiles estructurales (ángulos y canales) con sus respectivos tensores, o en madera tratada para evitar su deterioro por acción del ambiente.

2.2. Rotor

El rango de la velocidad del viento obtenido en Tibaitatá fué de 1.5 a 7.0 m/seg, para el cual se obtuvo un rango en la velocidad del rotor comprendido entre 61.2 y 164 rpm, cuando se deja girar libremente.

Al tomar los mismos datos, cuando el rotor debe vencer la carga de la bomba extrayendo agua del depósito instalado para ese fin, el rango de V_v fué de 4.2 a 7 m/seg., mientras el correspondiente a N fué de 20.41 a 132.7 rpm.

La observación más importante en este aspecto, es que el rotor de dos

canecas, tal como parece en el Boletín Técnico No.29 (Edición preliminar) es muy apropiado para velocidades del viento inferiores o iguales a 10 m/seg.

2.3 Bomba

En los molinos se están empleando bombas de pistón, de diámetro que varían entre 2" y 3½".

Se han presentado fallas en el funcionamiento del sistema a causa de que el acabado de la bomba es muy deficiente en los siguientes aspectos:

- a) La fundición del pistón es de baja calidad, y en muchos casos la varilla de mando no es paralela a la carrera, lo cual hace que el pistón trabaje bajo esfuerzos de fricción aplicados en forma desuniforme alrededor del cilindro. Esto ocasiona la flexión de la varilla de mando, agravando aún más este problema.
- b) La fundición de las válvulas de cheque también es de baja calidad, especialmente en su asiento, motivo por el cual estas válvulas no trabajan como tales, dejando regresar el agua cuando el pistón está en la carrera de descompresión.
- c) La estructura que soporta la tubería de descarga, y por lo tanto la bomba, en muchos casos no tiene la suficiente rigidez, permitiendo el movimiento del sistema y ocasionando la flexión de la varilla. Estos factores contribuyen a bajar el rendimiento de la bomba, ya que aunque no se esté extrayendo la cantidad de agua que debe fluir en condiciones favorables, la energía que está consumiendo la bomba no se altera notablemente debido a que la resistencia al movimiento se conserva.

2.4 Sistema de transmisión

La transformación del movimiento circular en longitudinal se hace por medio de una excéntrica y un brazo de mando (sistema biela-manivela). Su funcionamiento es bueno siempre y cuando el brazo tenga la longitud suficiente (por lo menos 1 m) para asegurar un desplazamiento rectilíneo en el extremo opuesto.

2.4.1 Excéntrica-Acoplador

El eje de la excéntrica va asegurado al rotor por medio de un acoplador con un tornillo pasante para evitar el deslizamiento. Este pasador con el tiempo ha presentado el inconveniente de agtandar los taladros del buje, dando como resultado un desajuste entre la excéntrica y el rotor que se traduce en un golpeteo cuando la carrera del pistón está en su punto medio.

2.4.2 Triángulo

El triángulo, elemento encargado de transformar el movimiento horizontal en vertical ha funcionado normalmente, bajo diferentes condiciones de carga y de velocidad del rotor.

2.4.3 Varilla de mando

La longitud de la varilla de mando, que va desde el triángulo hasta el pistón de la bomba, varía de acuerdo con la profundidad del pozo. De todas maneras, su longitud no es inferior a 8 m., motivo por el cual cuando está trabajando en compresión, trata de flectarse dificultando el trabajo de la bomba y el funcionamiento general del molino.

2.5 Evaluación general

Después de asegurar un buen montaje, del molino en el lote de la estación meteorológica en Tibaitatá, se procedió a tomar diferentes tipos de datos para estudiar su comportamiento.

Las lecturas se hicieron simultáneamente a fin de poderlas relacionar y estudiar su comportamiento.

- La velocidad del viento se tomó en el anemógrafo de la estación meteorológica por lectura directa.

- La velocidad del rotor se estableció utilizando el tacómetro electrónico del programa que trabaja emitiendo un haz de luz, que al ser cortado con una frecuencia determinada, da la lectura directa en el tablero. Como la velocidad del rotor evaluado es baja en relación con el rango del tacómetro, se utilizaron 49 marcas blancas en la base del rotor con el objeto de aumentar la lectura en el tacómetro y obtener mayor precisión. De acuerdo con esto, todas las lecturas obtenidas debieron ser divididas por 49 para obtener la velocidad N real en rpm.

- El gasto de la bomba (lt/min) se obtuvo midiendo el volumen extraído por cada carrera, y multiplicando dicho volumen por la velocidad del rotor (rpm). Esto se hizo teniendo en cuenta que a cada revolución del rotor corresponde un ciclo completo de la bomba.

Todos los datos se procesaron en Biometría, lo cual facilitó el ajuste correspondiente a cada relación.

2.5.1 Relación entre velocidad del viento V_v (m/seg) y velocidad entre el rotor N (rpm), sin carga (Fig.2).

Se tomaron de V_v entre 1.5 y 8 m/s. y las respectivas velocidades del rotor (rpm), girando libremente. Los datos se procesaron, y con ellos se ensayaron diferentes modelos, con el objeto de ajustarlos a una curva, llegandose a la conclusión de que el mejor ajuste se presenta con la forma $y = a + bx$, es decir:

$$N = 30,448 + 17.698 V_v$$

Donde N = Velocidad del rotor en rpm

V_v = Velocidad del viento m/s.

2.5.2 Relación entre velocidad del viento V_v (m/seg) y velocidad del rotor N (rpm), con carga. Fig.3

Después de procesar los datos correspondientes, se concluyó que ninguno de los modelos ensayados se ajusta a ellos. Sin embargo el más aproximado es el de forma $\ln y = a + bx$

Es decir:

$$\ln N = 2.706 + 0.314 V_v$$

o sea:

$$N = e^{2.706 + 0.314 V_v}$$

Donde:

N = Velocidad del rotor (rpm)

V_v = Velocidad del viento (m/s)

A pesar de ser esta la forma que más se ajusta a los datos, no es confiable ya que en ella está incluido solamente el 25.27% de los datos.

La explicación del comportamiento tan caprichoso de la variable, dependiente en este caso N (rpm), parece ser que a partir de cierto límite de

velocidad, entra a actuar la inercia que adquiere el rotor y se pierde la relación.

2.5.3 Relación entre la velocidad del rotor N (rpm) y el gasto de la bomba Q (lt/min). Fig.6

El 89.67% de los datos tomados para determinar esta relación, se ajustan a la forma $\ln y = a + bx$

Es decir:

$$\ln Q = 0.794 + 0.023N$$

O sea:

$$Q = e^{0.794 + 0.023N}$$

Donde:

Q = gasto de la bomba (lt/min)

N = Velocidad del rotor (m/s).

El diámetro de la bomba utilizada es de 2.5" (63 mm), con una carrera del pistón de 6 cm. La tubería de descarga tiene un diámetro interior de 1.5" (38mm).

3. CONCLUSIONES

3.1 El molino de viento construido por el programa es una fuente de energía valiosa en sitios donde se puede contar con velocidades de viento superiores a 6 m/seg., ya que para velocidades menores, la oposición al movimiento que presenta el sistema es superior a la energía que puede suministrar el viento y el rotor permanece estático.

3.2 La estructura del molino debe ser bastante rígida, para evitar que por el movimiento transversal del sistema se desajuste, ocasionando problemas

posteriores. Hasta donde sea posible, es mejor que la estructura sea metálica, con el fin de asegurar mayor estabilidad y menores probabilidades de falla. En caso de no ser posible esto, la estructura construida debe ser en forma de trípode en buenas bases, y con madera tratada.

Así se evitara su deterioro por las condiciones del clima.

La estructura que asegura la tubería de descarga y bomba, debe ser independiente de la estructura principal, con el fin de evitar suma de esfuerzos que se presentarían si estuviera asegurada a la misma.

3.3 Cuando la velocidad del viento varía entre 6 y 12 m/seg., el rotor debe ser doble, como el que aparece en el Boletín Técnico No.29 (Edición preliminar). Para velocidades mayores de 12 m/seg. podría ser suficiente con un rotor construido de una sola caneca para asegurar el mismo rendimiento, ya que la relación entre la velocidad y el área efectiva de trabajo es inversa cuando se conserva la energía constante.

$$E_s = KAV^3$$

$$A = \frac{E_s}{KV^3}$$

Actualmente se está construyendo un rotor de tres medias canecas colocadas a 120° sobre el círculo base. Terminando este rotor, se evaluará en la misma forma que el actual (Fig.5).

3.4 Las bombas utilizadas hasta ahora en estos molinos de viento, además de ser de baja calidad, requieren para funcionar bien, que la carrera del pistón sea de 10 cm, como mínimo, y que su desplazamiento sea perfectamente paralelo al cilindro. La carrera que suministra el sistema de transmisión del molino alcanza los 10 cm. en la posición de carrera

máxima, adaptándose así a los requerimientos de la bomba. Para posiciones diferentes, la carrera es menor y la bomba funciona normalmente aunque no con la mayor eficiencia.

En cuanto al paralelismo de la carrera con el cilindro, se puede obtener colocando guías a la varilla de mando aproximadamente cada dos metros. Estas guías pueden ser bloques de madera de mayor diámetro que la varilla para evitar esfuerzos de fricción adicionales. A la vez, estas guías evitan la flexión de la varilla de mando debido a su longitud cuando está trabajando en compresión. Fig.1

3.5 El tornillo pasante que asegura el eje de la excéntrica al acoplador, puede suprimirse soldando directamente el eje a dicho acoplador. Así se evita el desajuste que se presenta cuando el tornillo agranda los taladros del buje.

3.6 Cuando el rotor se deja girar libremente, la relación entre la velocidad del rotor N (rpm) y la velocidad del viento V_v (m/s) es lineal:

$$N = 30,448 + 17.698 V_v.$$

Aunque los datos de V_v varían solamente entre 1.5 y 7 m/s, para velocidades mayores se puede extrapolar sin peligro de cometer errores de gran magnitud ya que la relación se debe conservar hasta unos 15 m/s. De ahí en adelante entra a actuar la inercia del rotor y la relación puede variar.

3.7 La relación entre N (rpm) y V_v (m/s) para el sistema con carga es logarítmica

$$N = e 2.705 + 0.214 Vv$$

El rango de Vv fué el mismo (1.5 a 7 m/s), pudiéndose extrapolar hasta 10 m/s. De ahí en adelante sería mejor tomar nuevos datos y hacer el ajuste correspondiente. Esto se podría hacer en la granja de Carimagua, ya que en Tibaitatá la velocidad máxima del viento es de 8 m/s.

3.8 En la misma forma, la relación entre el gasto de la bomba Q (lt/min) y N (rpm) sería válida solamente hasta $N = 120$.

$$Q = e 0.794 + 0.023 N$$

3.9 Finalmente, para asegurar un buen trabajo de los molinos de viento, es necesario que el montaje se haga como se recomienda en el Boletín correspondiente. El rotor debe estar perfectamente balanceado, ya que cualquier imprecisión, con el tiempo y debido al trabajo del molino se va acentuando.

La tubería de descarga, y por lo tanto la varilla de mando, deben ser perfectamente verticales. Así se evitará el desalineamiento del pistón con relación al cilindro de la bomba.

Debe evitarse a toda costa que la succión de la bomba llegue hasta el fondo del pozo para evitar la entrada de arenas y cuerpos extraños a la bomba. Por otra parte, esa tubería de succión debe tener en su extremo un buen filtro con el mismo fin.

El molino en general necesita mantenimiento periódico y revisión de todas sus partes. Esto no quita mucho tiempo y sí puede prevenir fallas futuras.

APENDICE

A

TABLA I

Datos de velocidad del viento y velocidad del rotor, sin carga.

| Lectura No. | Velocidad del viento (m/s) | Velocidad del rotor (rpm) |
|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2.790 | 61.200 |
| 2 | 2.540 | 74.500 |
| 3 | 3.420 | 77.500 |
| 4 | 3.550 | 92.000 |
| 5 | 3.170 | 96.000 |
| 6 | 3.800 | 98.000 |
| 7 | 3.550 | 102.000 |
| 8 | 3.800 | 104.000 |
| 9 | 3.550 | 106.000 |
| 10 | 3.300 | 82.000 |
| 11 | 3.550 | 86.000 |
| 12 | 3.550 | 96.000 |
| 13 | 3.300 | 96.000 |
| 14 | 4.060 | 98.000 |
| 15 | 4.320 | 108.000 |
| 16 | 4.060 | 108.000 |
| 17 | 3.800 | 108.000 |
| 18 | 4.000 | 86.000 |
| 19 | 5.000 | 106.000 |
| 20 | 4.000 | 102.000 |

| Lectura No. | Velocidad del viento (m/s) | Velocidad del rotor (rpm) |
|-------------|----------------------------|---------------------------|
| 21 | 5.500 | 123.000 |
| 22 | 6.000 | 127.000 |
| 23 | 7.000 | 139.000 |
| 24 | 6.000 | 156.000 |
| 25 | 7.000 | 160.000 |
| 26 | 7.000 | 164.000 |
| 27 | 6.000 | 144.000 |
| 28 | 6.000 | 144.000 |
| 29 | 5.000 | 112.000 |
| 30 | 3.800 | 85.000 |
| 31 | 1.750 | 65.000 |
| 32 | 1.500 | 69.000 |

Vv (media) = 4.239

N (media) = 105.475

R** 2 = 0.8714

B (0) = 30.448 to = 5.490

B (1) = 17.698 t₁ = 14.256

APENDICE

B

TABLA II

Datos de velocidad del viento y velocidad del rotor, con carga

| Lectura No. | Velocidad del viento V_v (m/s) | Velocidad del rotor (rpm) | log. natural de N |
|-------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1 | 5.500 | 20.410 | 3.016 |
| 2 | 5.000 | 28.570 | 3.352 |
| 3 | 5.000 | 32.650 | 3.486 |
| 4 | 5.000 | 32.650 | 3.486 |
| 5 | 4.800 | 36.730 | 3.604 |
| 6 | 4.200 | 36.730 | 3.604 |
| 7 | 5.000 | 40.820 | 3.709 |
| 8 | 6.000 | 40.820 | 3.709 |
| 9 | 4.500 | 44.900 | 3.804 |
| 10 | 5.500 | 48.980 | 3.891 |
| 11 | 5.000 | 53.060 | 3.971 |
| 12 | 5.000 | 55.100 | 4.009 |
| 13 | 4.500 | 61.220 | 4.114 |
| 14 | 4.500 | 63.260 | 4.147 |
| 15 | 5.000 | 65.310 | 4.179 |
| 16 | 5.500 | 69.390 | 4.240 |
| 17 | 4.000 | 69.390 | 4.269 |
| 18 | 5.000 | 71.430 | 4.269 |
| 19 | 4.300 | 75.510 | 4.324 |
| 20 | 6.000 | 77.550 | 4.351 |
| 21 | 5.500 | 81.630 | 4.402 |

| Leitura No. | Velocidad del viento Vv (m/s) | Velocidad del rotor (rpm) | log.natural de N |
|-------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|
| 22 | 6.800 | 81.630 | 4.402 |
| 23 | 4.200 | 81.630 | 4.402 |
| 24 | 4.500 | 87.760 | 4.475 |
| 25 | 5.500 | 93.880 | 4.542 |
| 26 | 5.500 | 97.660 | 4.581 |
| 27 | 6.000 | 97.660 | 4.581 |
| 28 | 5.500 | 92.920 | 4.532 |
| 29 | 7.000 | 118.370 | 4.774 |
| 30 | 6.000 | 118.370 | 4.774 |
| 31 | 6.500 | 118.370 | 4.774 |
| 32 | 5.500 | 130.600 | 4.872 |
| 33 | 5.500 | 108.000 | 4.682 |
| 34 | 5.500 | 110.200 | 4.702 |
| 35 | 5.500 | 110.200 | 4.702 |
| 36 | 5.800 | 114.300 | 4.739 |
| 37 | 6.000 | 118.400 | 4.774 |
| 38 | 6.000 | 122.400 | 4.807 |
| 39 | 5.000 | 120.400 | 4.791 |
| 40 | 5.500 | 122.400 | 4.807 |
| 41 | 5.000 | 112.200 | 4.720 |
| 42 | 4.600 | 89.800 | 4.498 |
| 43 | 6.000 | 102.000 | 4.625 |
| 44 | 6.500 | 130.600 | 4.872 |
| 45 | 6.300 | 132.700 | 4.888 |

| Lectura No. | Velocidad del viento Vv (m/s) | Velocidad del rotor (rpm) | log. natural de N |
|----------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| 46 | 6.000 | 126.500 | 4.840 |
| 47 | 5.500 | 114.300 | 4.739 |
| 48 | 5.000 | 102.000 | 4.625 |
| 49 | 5.500 | 96.000 | 4.564 |
| 50 | 5.500 | 93.800 | 4.541 |
| 51 | 5.500 | 96.000 | 4.564 |
| 52 | 5.600 | 90.000 | 4.500 |
| 53 | 5.500 | 100.000 | 4.605 |
| 54 | 5.000 | 98.000 | 4.585 |
| 55 | 7.000 | 116.000 | 4.754 |
| 56 | 6.000 | 118.300 | 4.773 |
| 57 | 5.500 | 112.000 | 4.818 |
| 58 | 6.500 | 110.000 | 4.771 |
| 59 | 6.500 | 127.000 | 4.844 |
| 60 | 6.000 | 122.000 | 4.804 |
| 61 | 6.500 | 120.000 | 4.787 |
| 62 | 6.000 | 114.000 | 4.736 |
| 63 | 6.500 | 114.000 | 4.736 |
| 64 | 6.200 | 116.000 | 4.754 |
| 65 | 5.000 | 104.000 | 4.644 |
| 66 | 5.500 | 100.000 | 4.605 |

Vv (media) : 5.505

ln N (media) : 4.435

R² = 0.2527

B (0) = 2.706 to = 7.225

B (1) = 0.314 t₁ = 4.652

APPENDICE

C

TABLA III

Datos de velocidad del rotor y gasto de la bomba

| Lectura No. | Velocidad del rotor (rpm) | Gasto de la bomba (l/min) | log. natural de Q |
|-------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1 | 20.410 | 2.041 | 0.713 |
| 2 | 28.570 | 3.285 | 1.189 |
| 3 | 32.650 | 4.244 | 1.446 |
| 4 | 36.730 | 4.591 | 1.524 |
| 5 | 40.820 | 6.123 | 1.812 |
| 6 | 44.900 | 7.408 | 2.003 |
| 7 | 48.980 | 7.591 | 2.027 |
| 8 | 53.060 | 9.285 | 2.228 |
| 9 | 55.100 | 9.640 | 2.266 |
| 10 | 61.220 | 10.410 | 2.343 |
| 11 | 63.260 | 11.070 | 2.404 |
| 12 | 69.390 | 12.180 | 2.497 |
| 13 | 71.430 | 13.219 | 2.581 |
| 14 | 75.510 | 13.210 | 2.581 |
| 15 | 77.550 | 15.510 | 2.741 |
| 16 | 81.630 | 14.690 | 2.687 |
| 17 | 81.630 | 14.280 | 2.659 |
| 18 | 81.630 | 15.100 | 2.715 |
| 19 | 87.760 | 15.800 | 2.760 |
| 20 | 91.840 | 22.500 | 3.114 |

| Leerura No. | Velocidad del rotor (rpm) | Gasto de la bomba (l/min) | log. natural de Q |
|----------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|
| 21 | 93.880 | 21.120 | 3.050 |
| 22 | 97.960 | 24.490 | 3.198 |
| 23 | 95.920 | 19.660 | 2.979 |
| 24 | 118.370 | 20.100 | 3.001 |
| 25 | 118.370 | 25.600 | 3.243 |

N (media) : 69.143

In Q (media): 2.390

R**2 = 0.8967

B (0) = 0.794 to = 6.574

B (1) = 0.023 t = -14.128

APENDICE

D

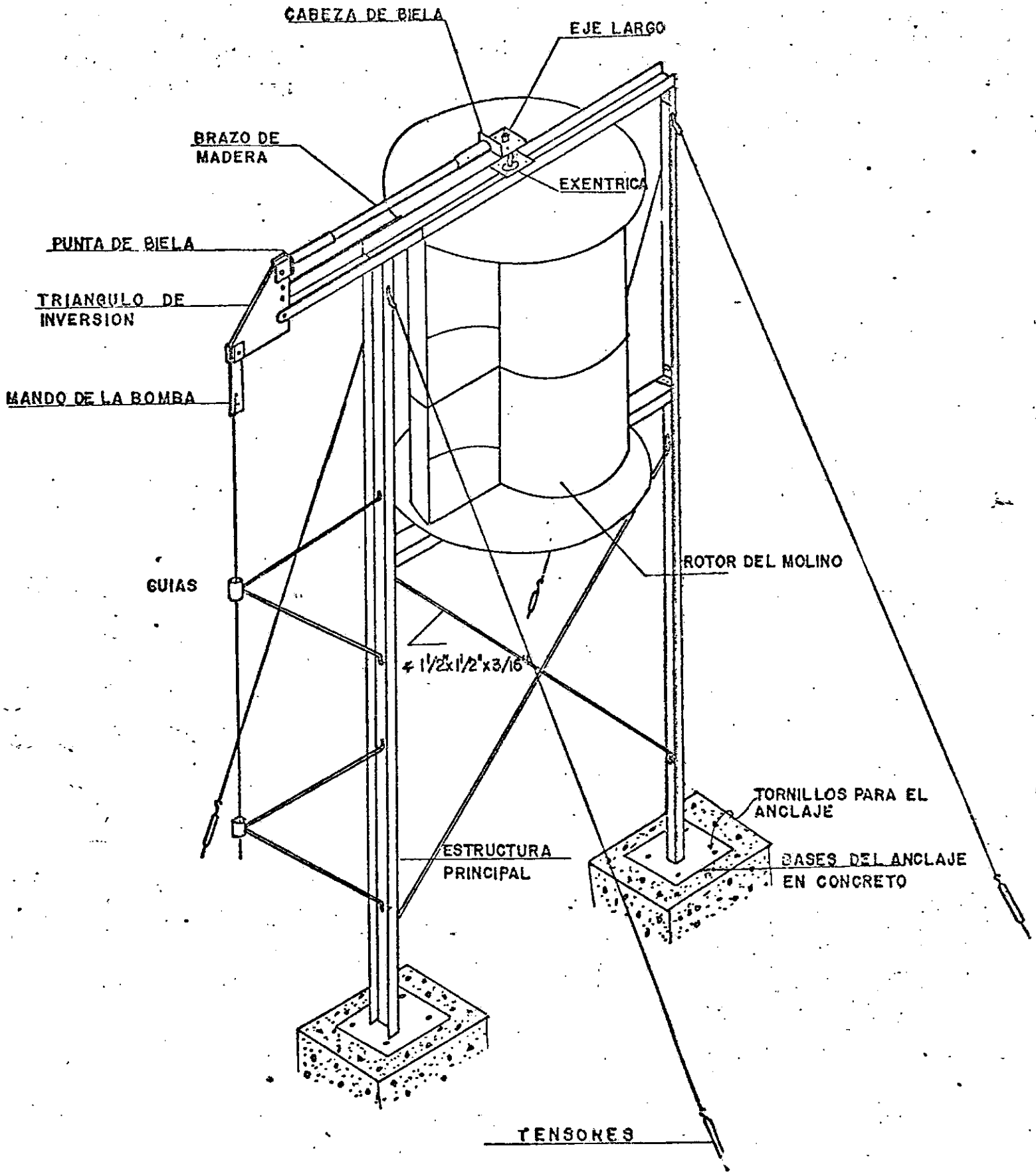


FIG. 1 ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL MOLINO

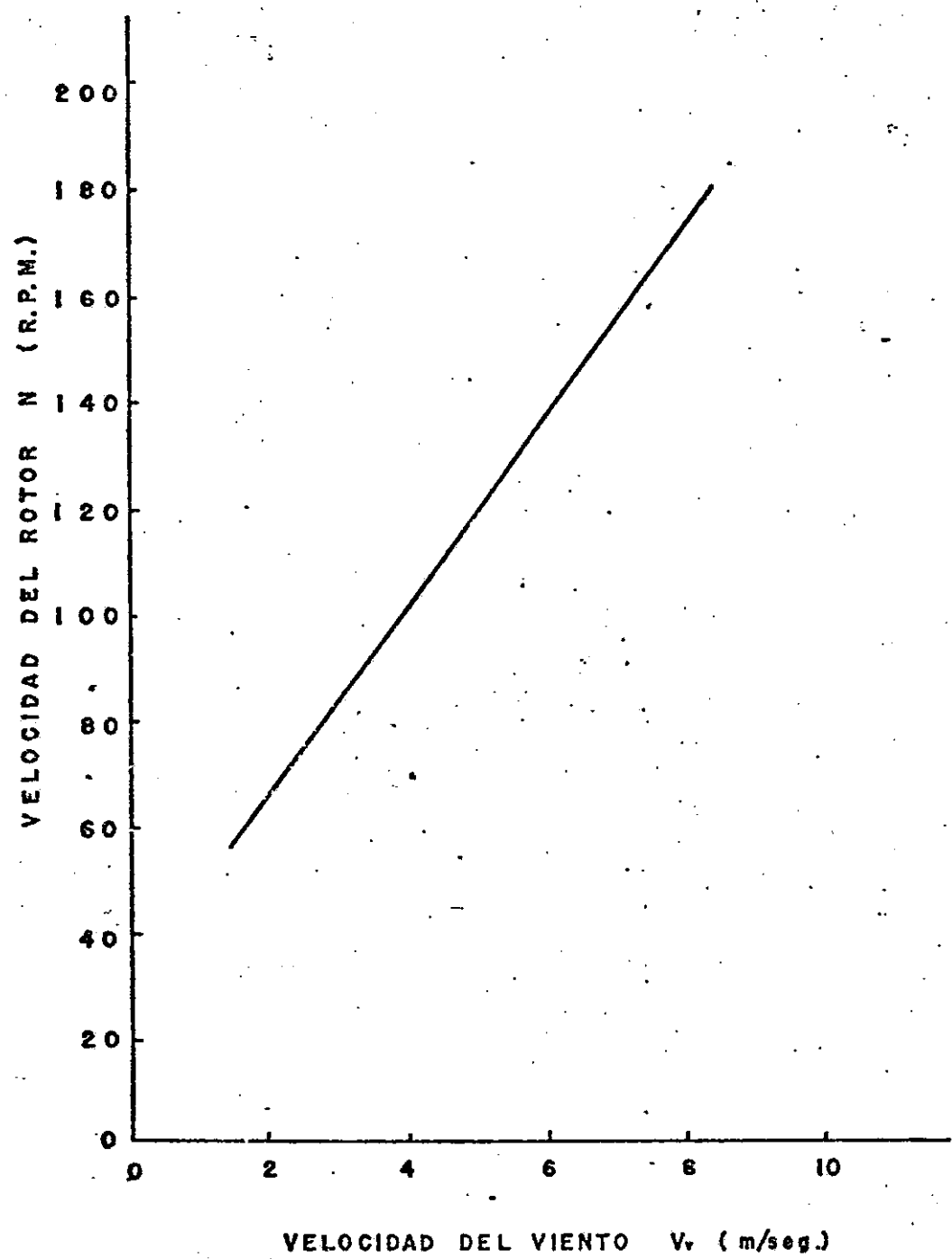


FIG. 2. VELOCIDAD DEL ROTOR EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA EL MOLINO SIN CARGA.

(87.14% DE LOS DATOS)

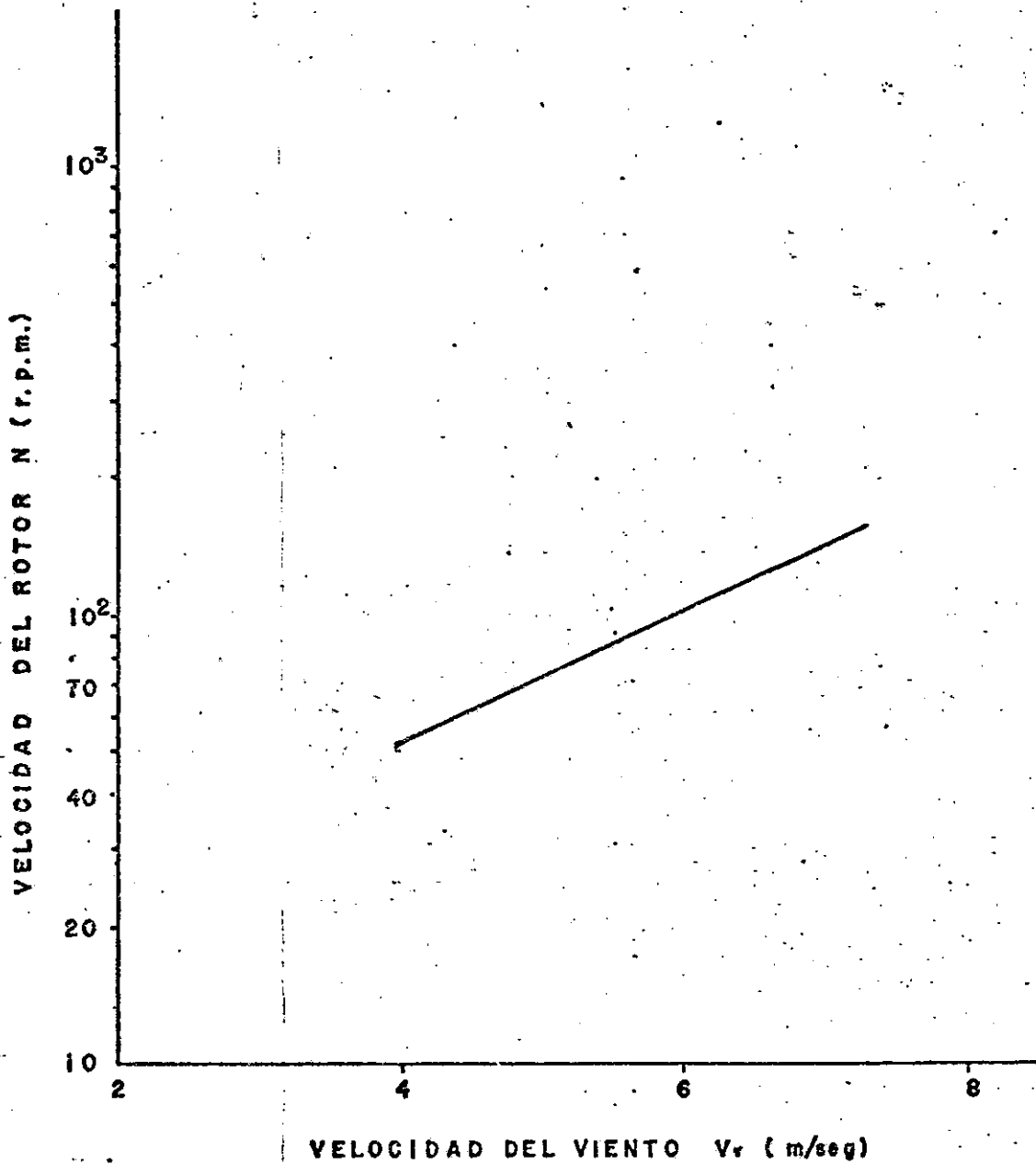


FIGURA 3 VELOCIDAD DEL ROTOR EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA EL MOLINO CON CARGA (EXTRA-YENDO AGUA) (25.27 % DE LOS DATOS).

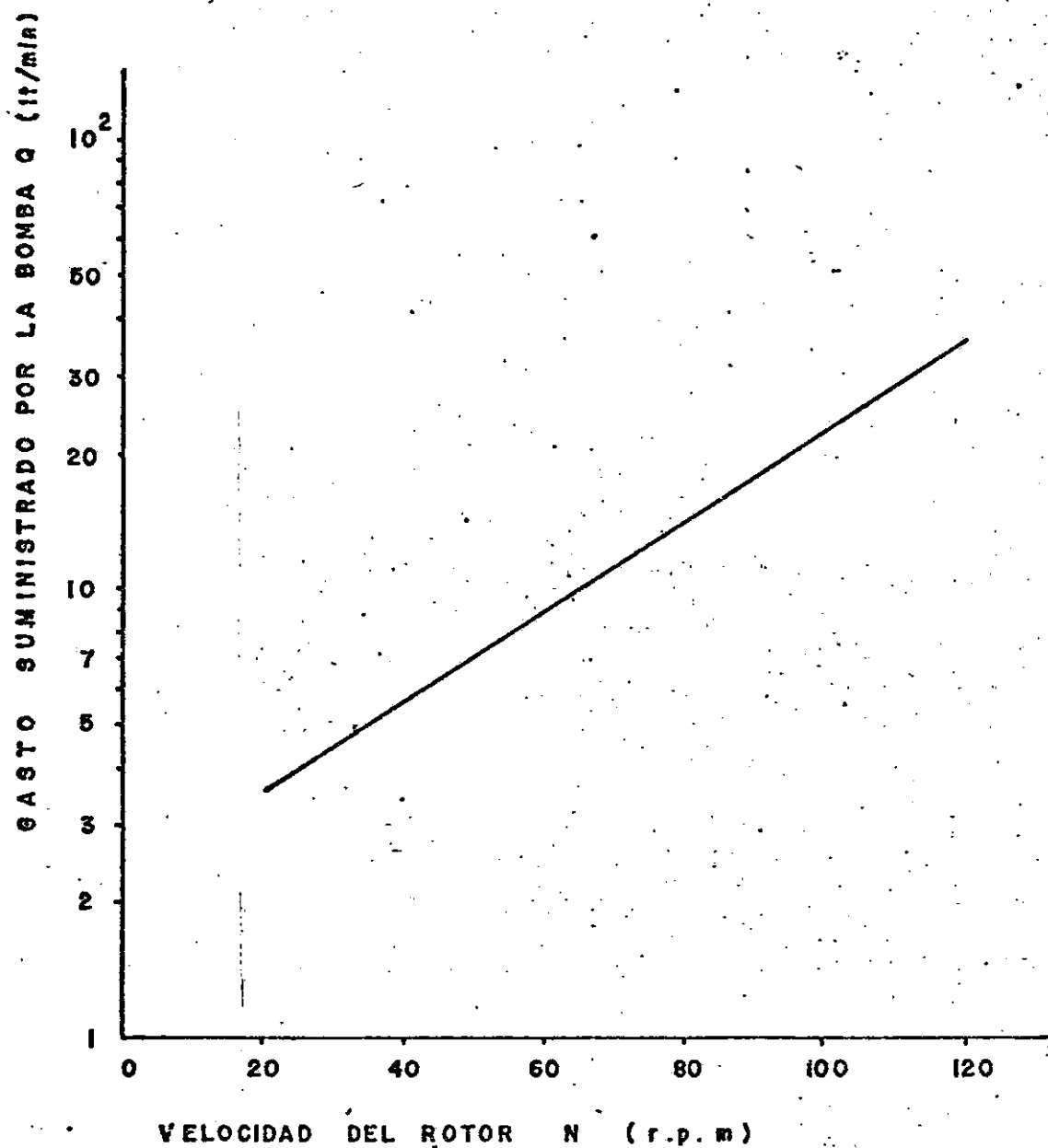


FIGURA 4. GASTO DE LA BOMBA EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL ROTOR (89.67% DE LOS DATOS)

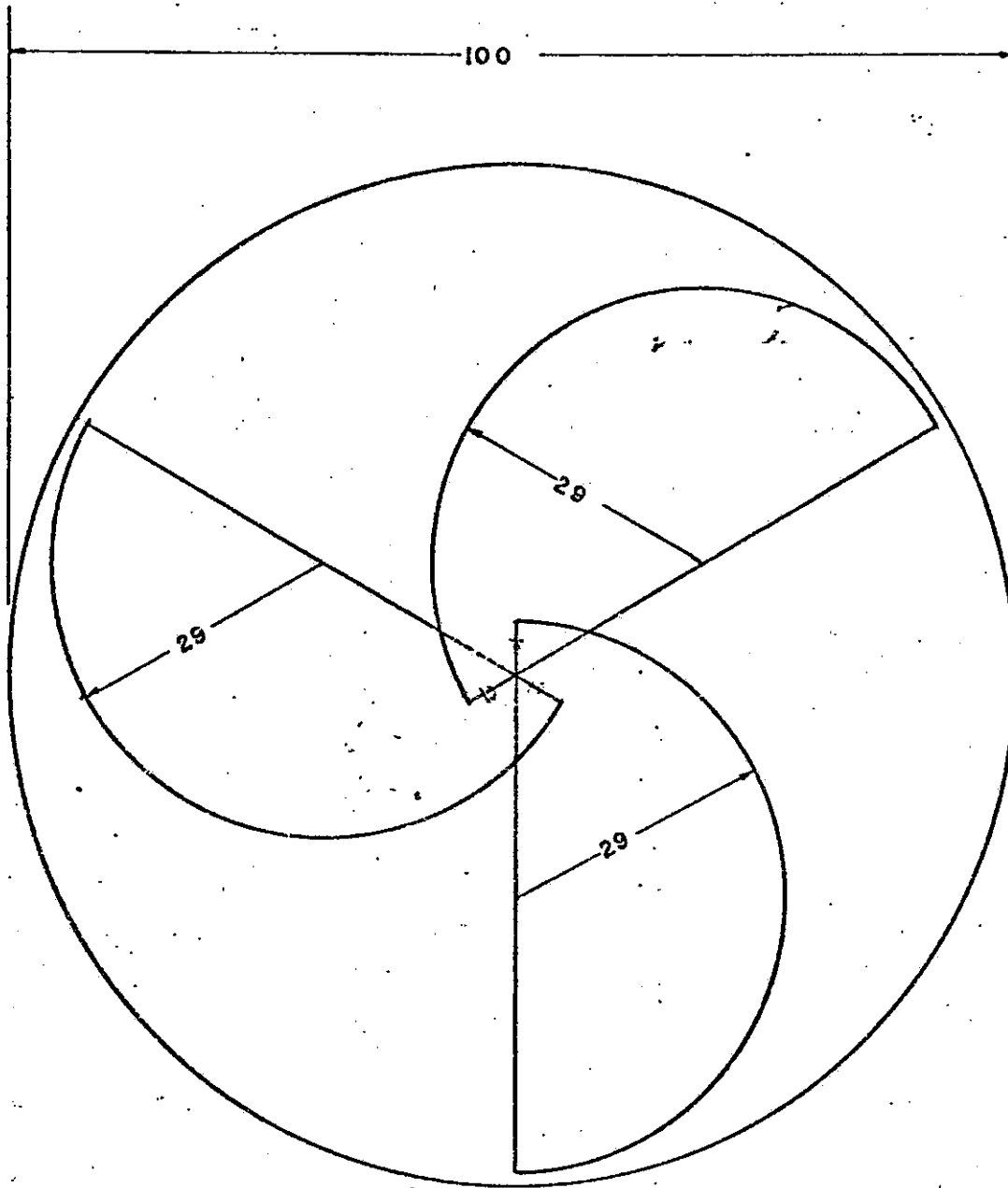


FIGURA 5 ROTOR DE TRES ELEMENTOS COLOCADOS A 120°
SOBRE UNA BASE DE UN METRO DE DIAMETRO

A P E N D I C E

E

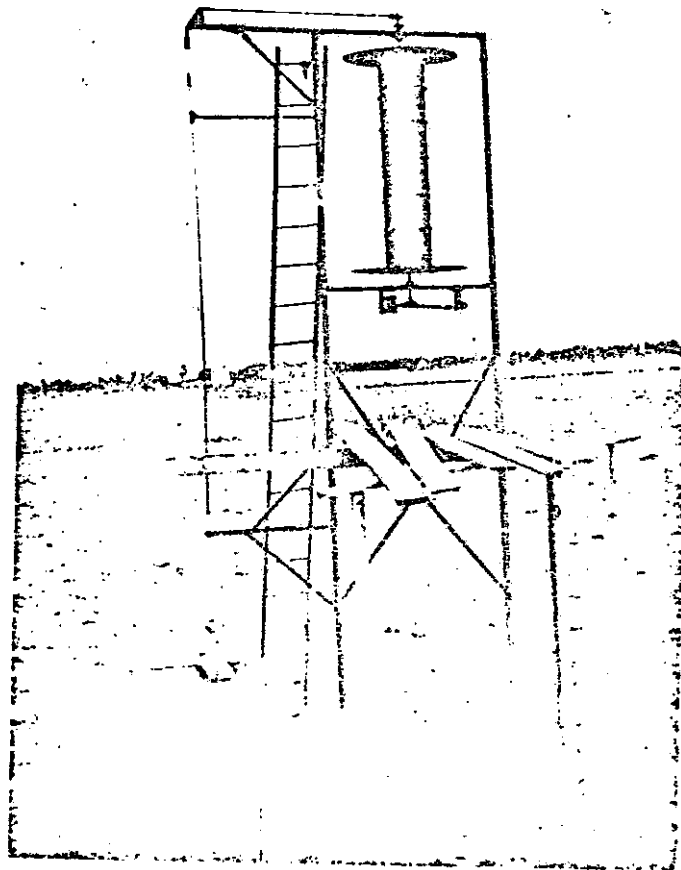


Figura 6. Aspecto general del molino instalado en la Estación Meteorológica de Tibaitatá.

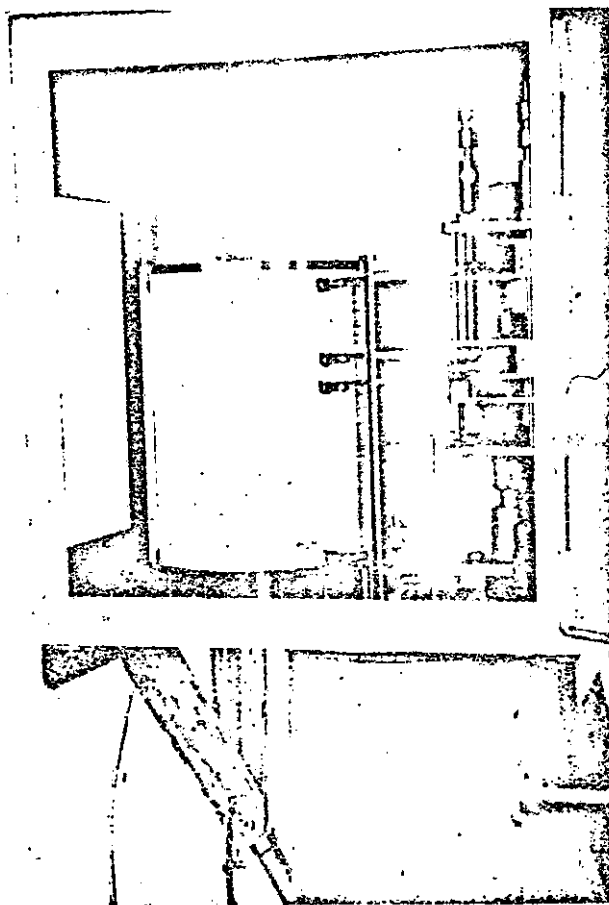


Figura 7. Lectura de la velocidad del viento en m/seg. Aguja inferior del anemógrafo.

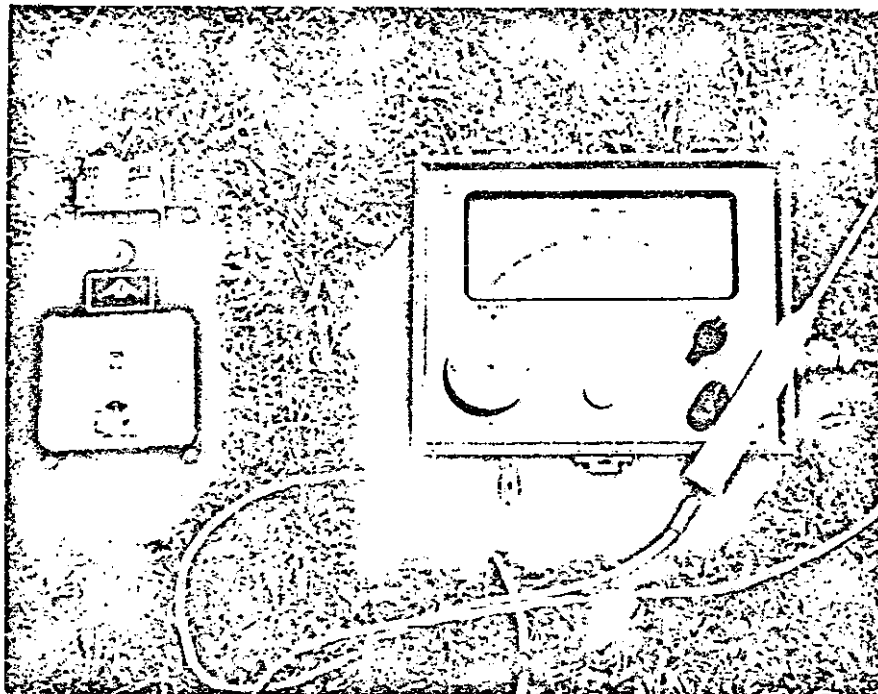


Figura 6. Instrumentos utilizados en las mediciones: Tacómetro electrónico y termocromómetro Alnor.

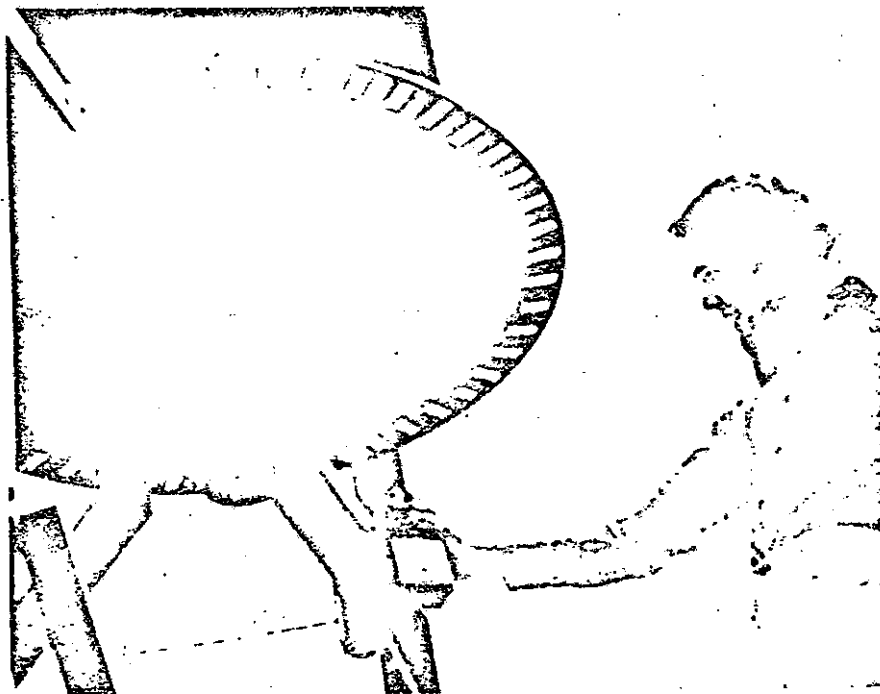
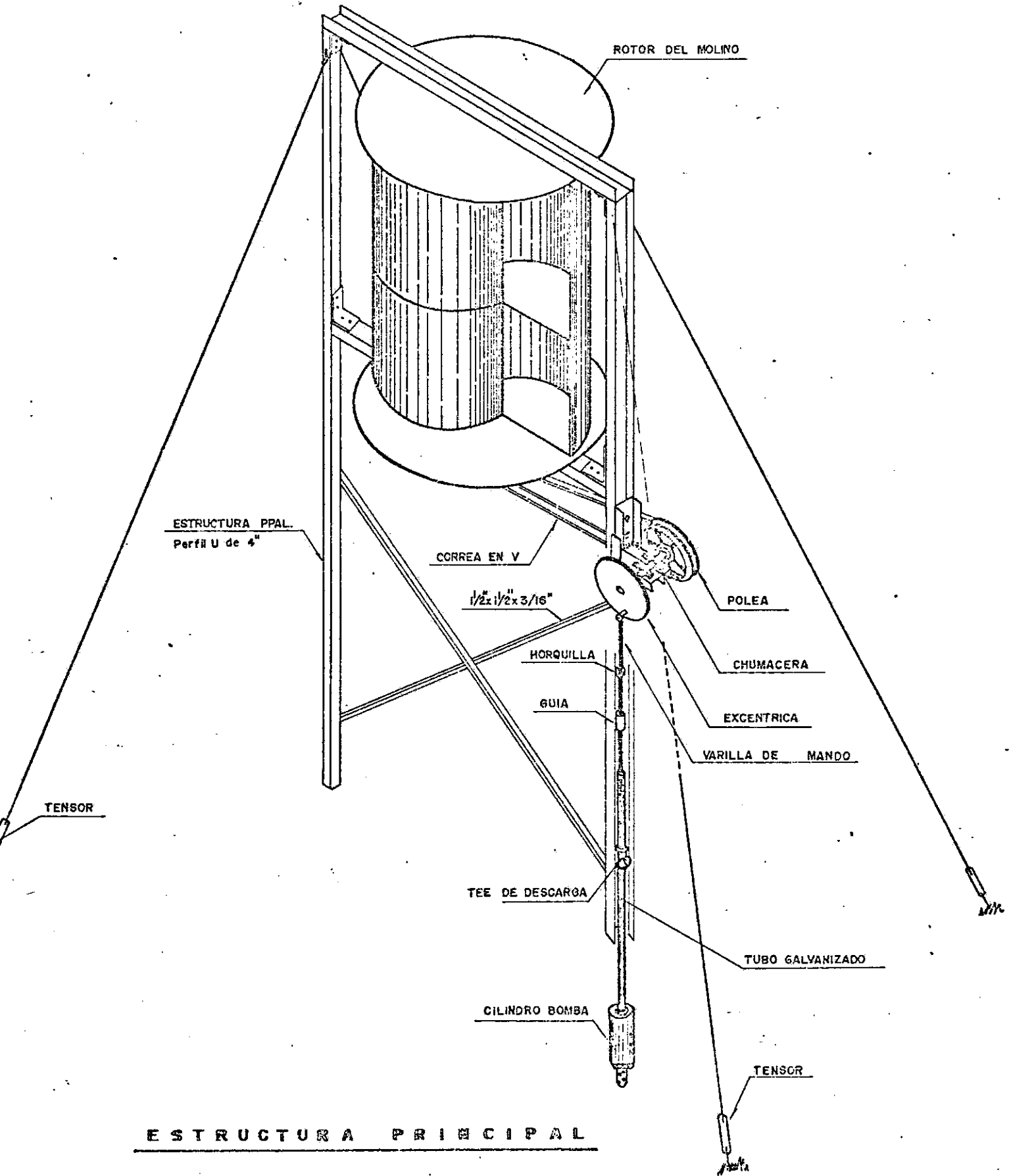
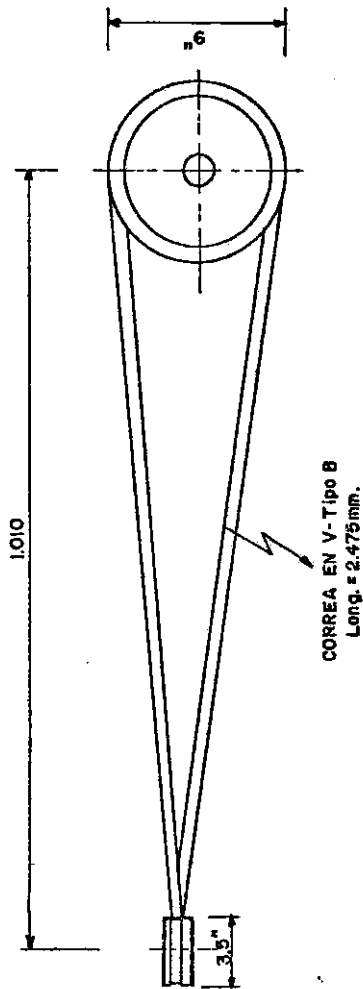


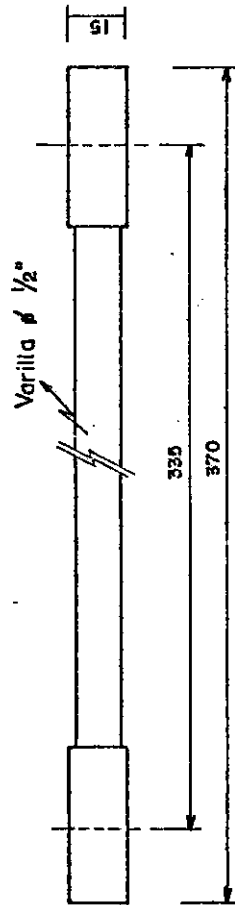
Figura 9. Determinación de la velocidad del rotor con el tacómetro electrónico. Nótese las marcas blancas sobre la circunferencia de la base.





SISTEMA DE POLEAS

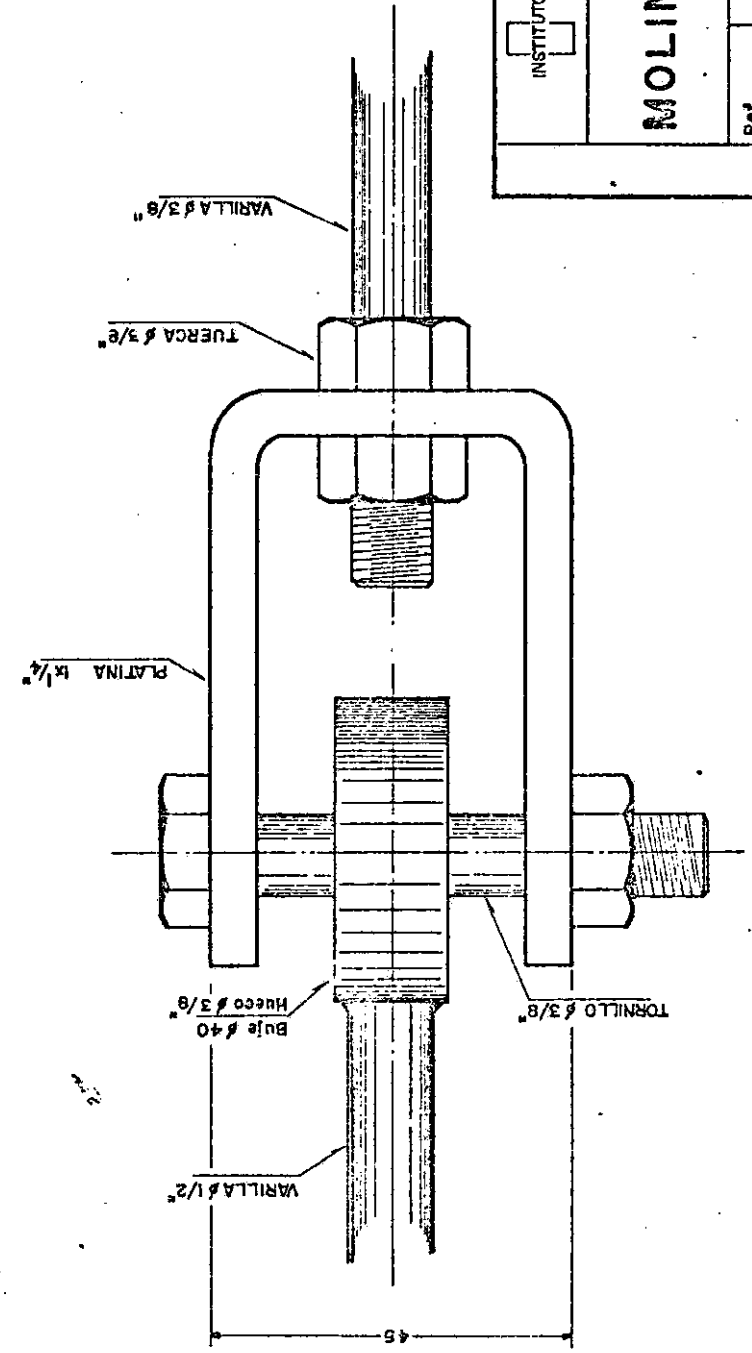
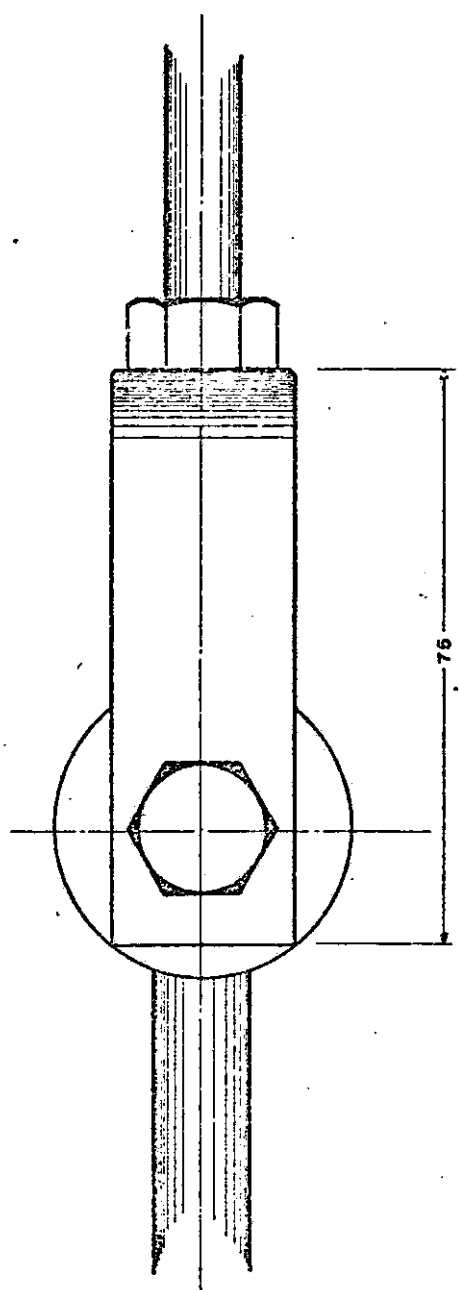
Esc. 1: 10




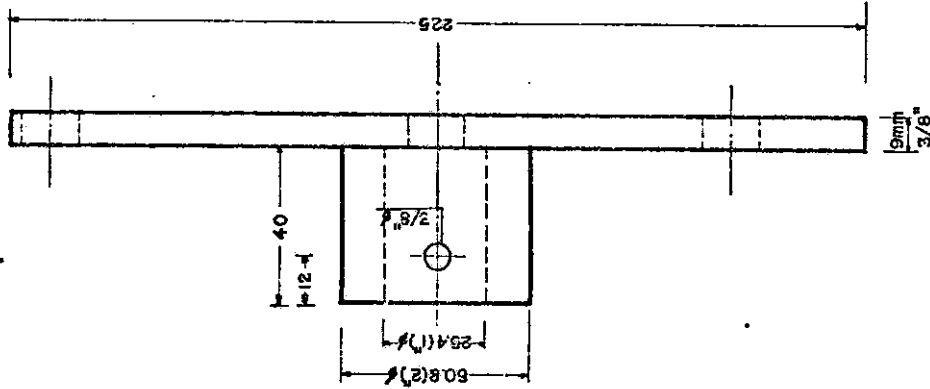
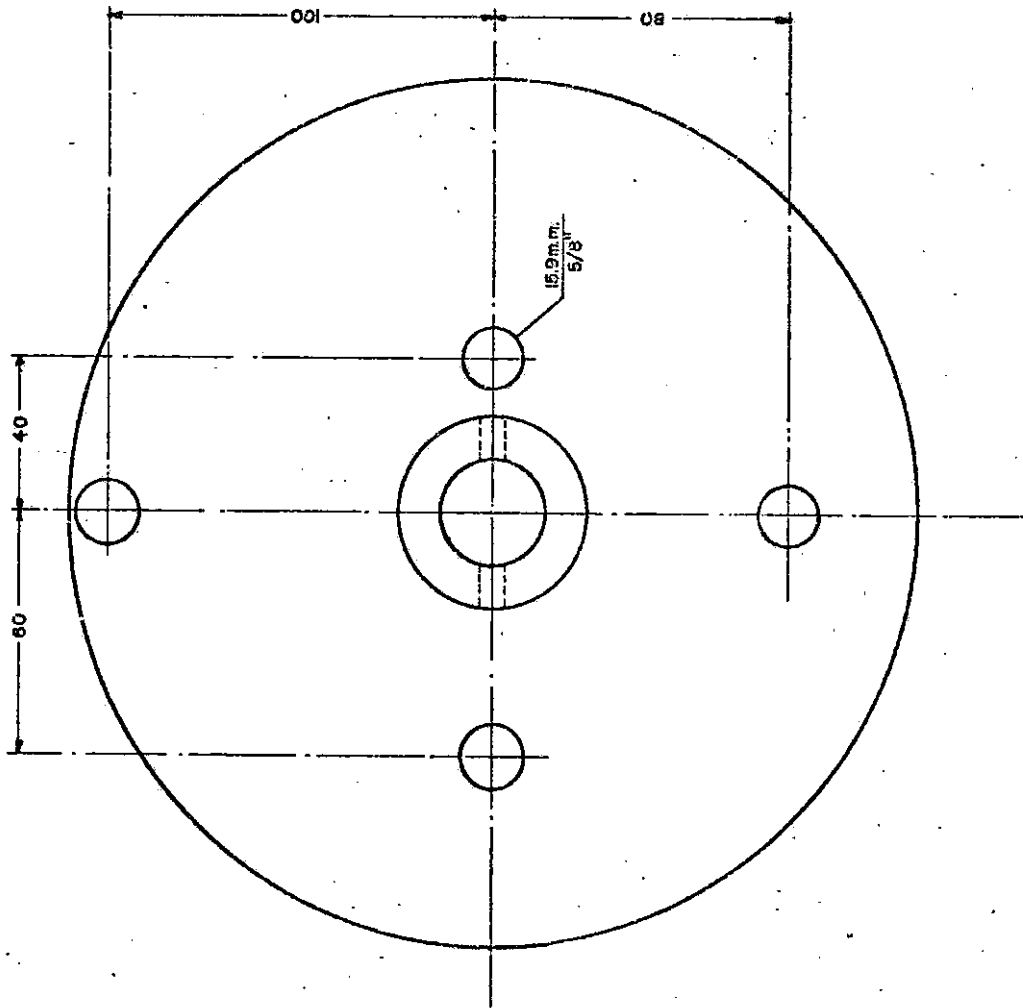
VARILLA DE MANDO

Esc. 1: 2

| | |
|--------------------------------------|--|
| INSTITUTO COLOMBIANO ACROPECUARIO | DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA |
| | Diseño: MAQ. AGRICOLA |
| | Dibujo: JAIME PUENTE |
| | Fecha: Abril / 76 |
| MOLINO DE VIENTO | |
| Dir. Prop. | Dir. Dento. |
| Plano No. | |



| | | | |
|---|-------------|---------------------------------|---------------------|
|  INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO | | DIVISION DE INGENIERIA AGRICOLA | |
| MOLINO DE VIENTO | | Diseño : MAC. AGRIC. | Plano No. |
| Ref. | HORQUILLA | Dibujo : JAME PUENTE | Fecha : Abril / 76 |
| Dir. Prog. | Dir. Depto. | Escala : 1:1 | Escala : Abril / 76 |



| | | | |
|--|------------|--|-----------|
| INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA | | Diseño: MAQUIN. AGRIC. Dibujo: JAIME PUENTE | |
| MOLINO DE VIENTO | | Fecha: Abril / 76 | |
| | | Escala: 1: 2 | |
| Ref. | EXCENTRICA | Dir. Depto. | Plano No. |

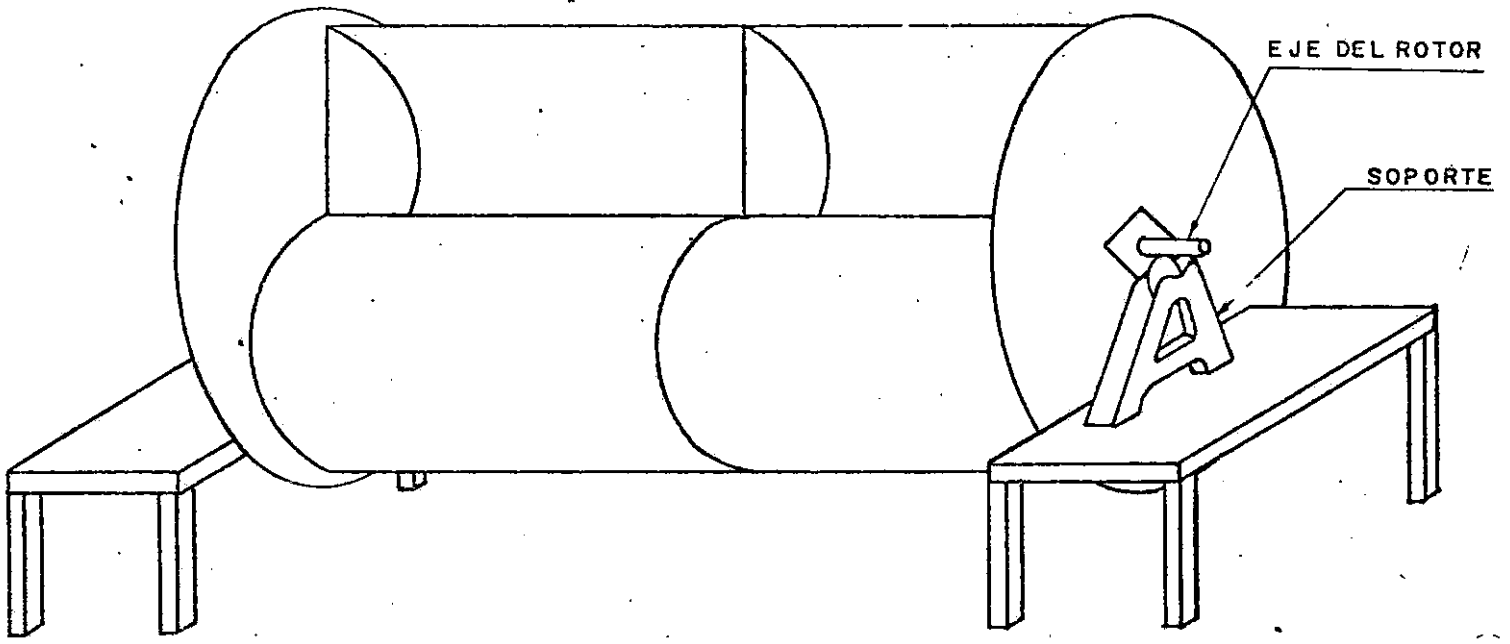


FIG. 4. POSICION HORIZONTAL DEL ROTOR SOBRE DOS SOPORTES PARA SU BALANCEO Y AJUSTE

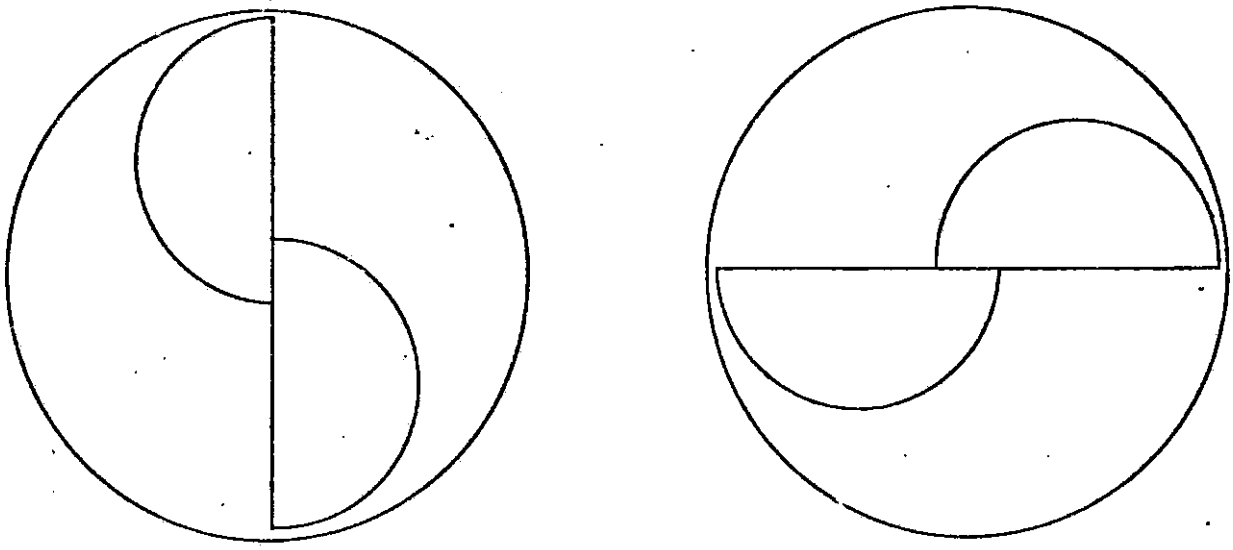
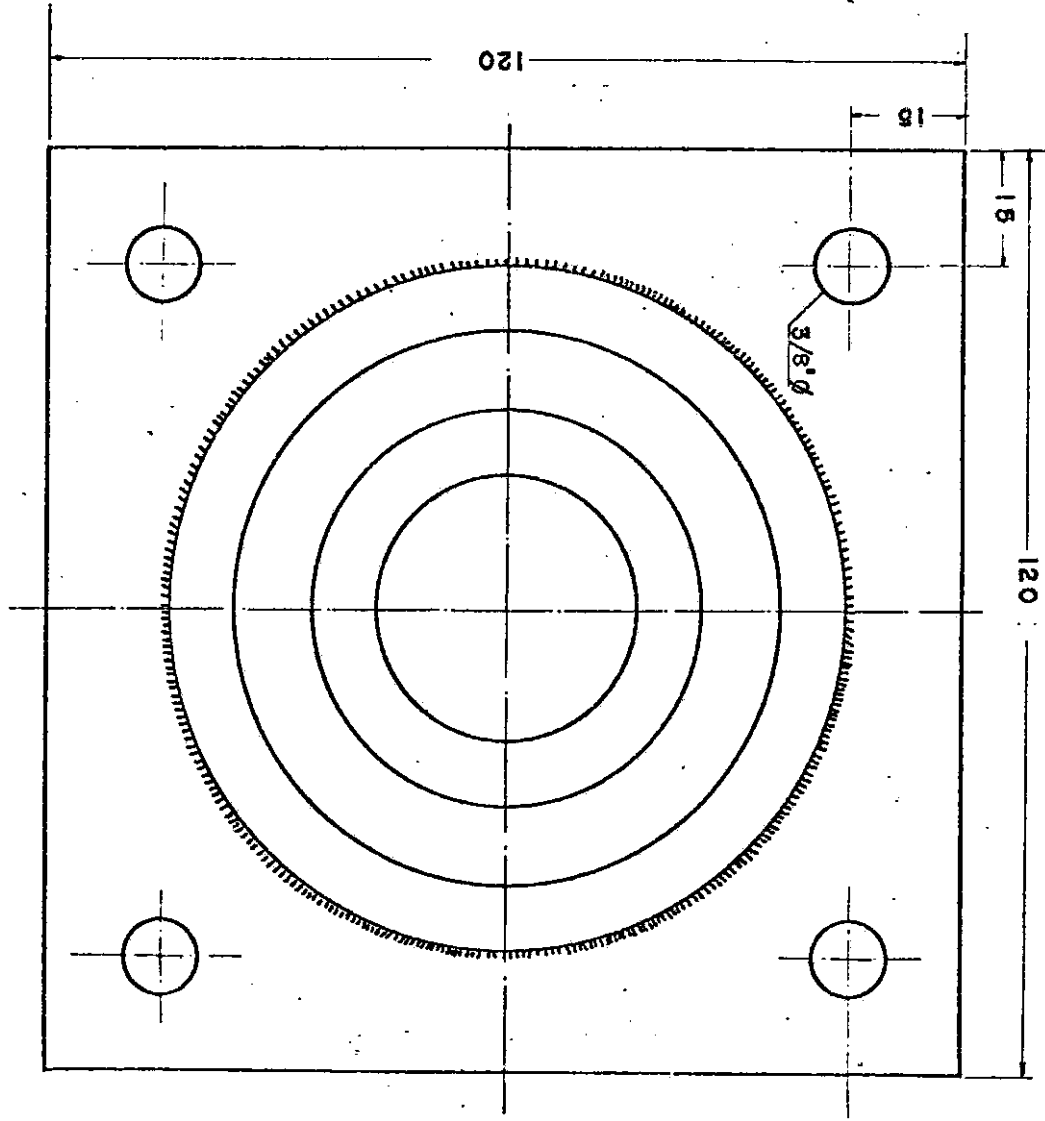
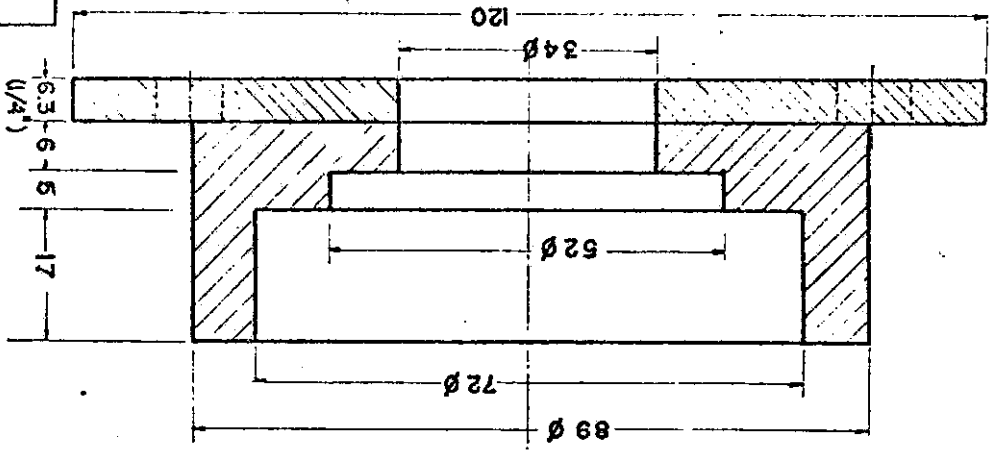

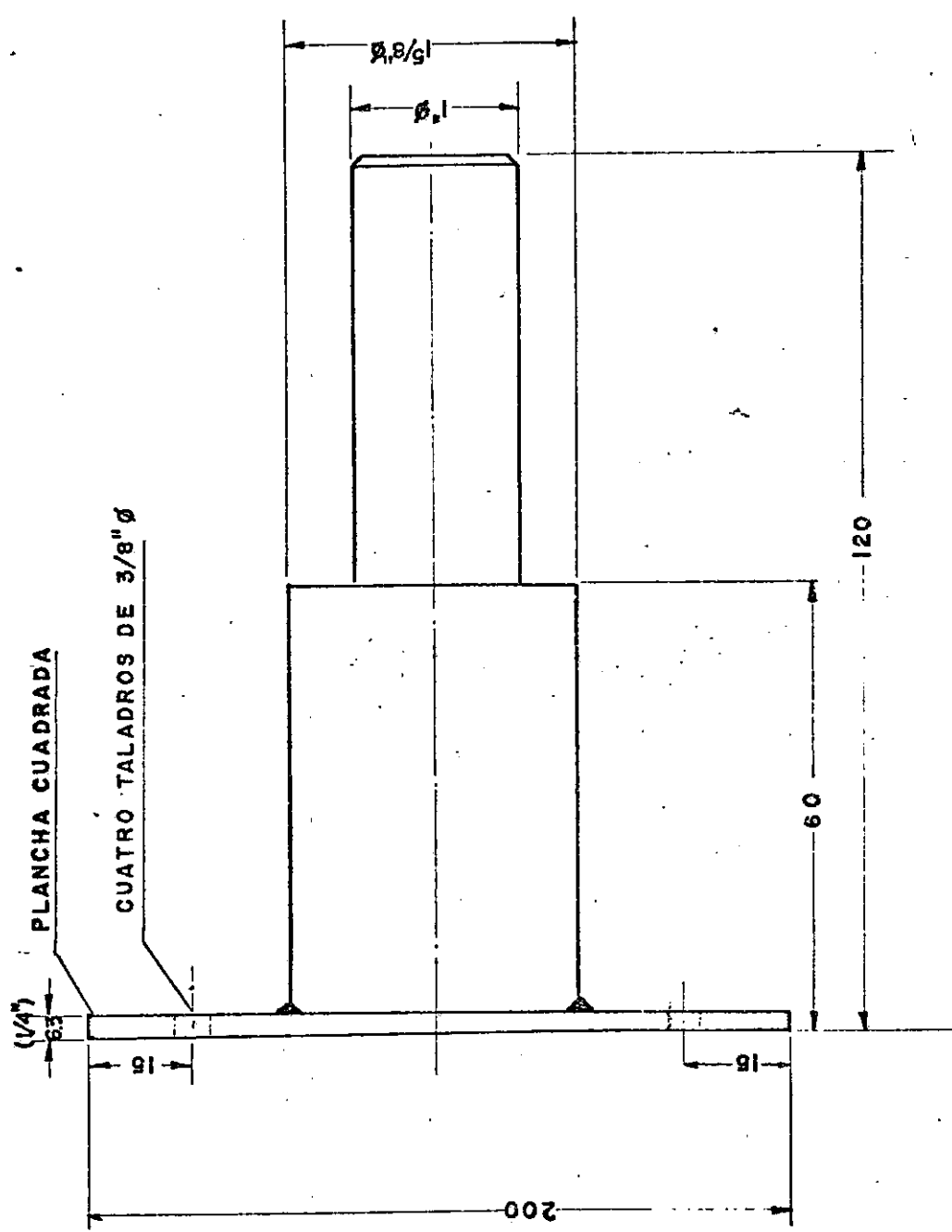


FIG. 5 POSICIONES EN QUE QUEDA EL ROTOR AL DETENERSE LIBREMENTE CUANDO ESTA BIEN BALANCEADO



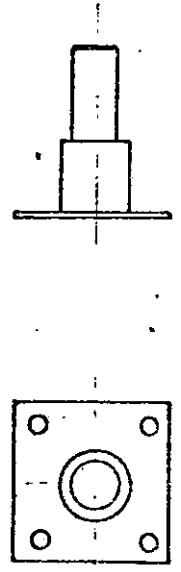
| | | | |
|--|------|--|-------------|
| INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO  | | DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA | |
| MOLINO DE VIENTO | | Diseño: MAQUINARIA | Plano No.: |
| | | Dibujo: N. NIETO J. | Dir. Depto. |
| REF 71 | CAJA | Fecha: ABRIL 1974 | Escala: |



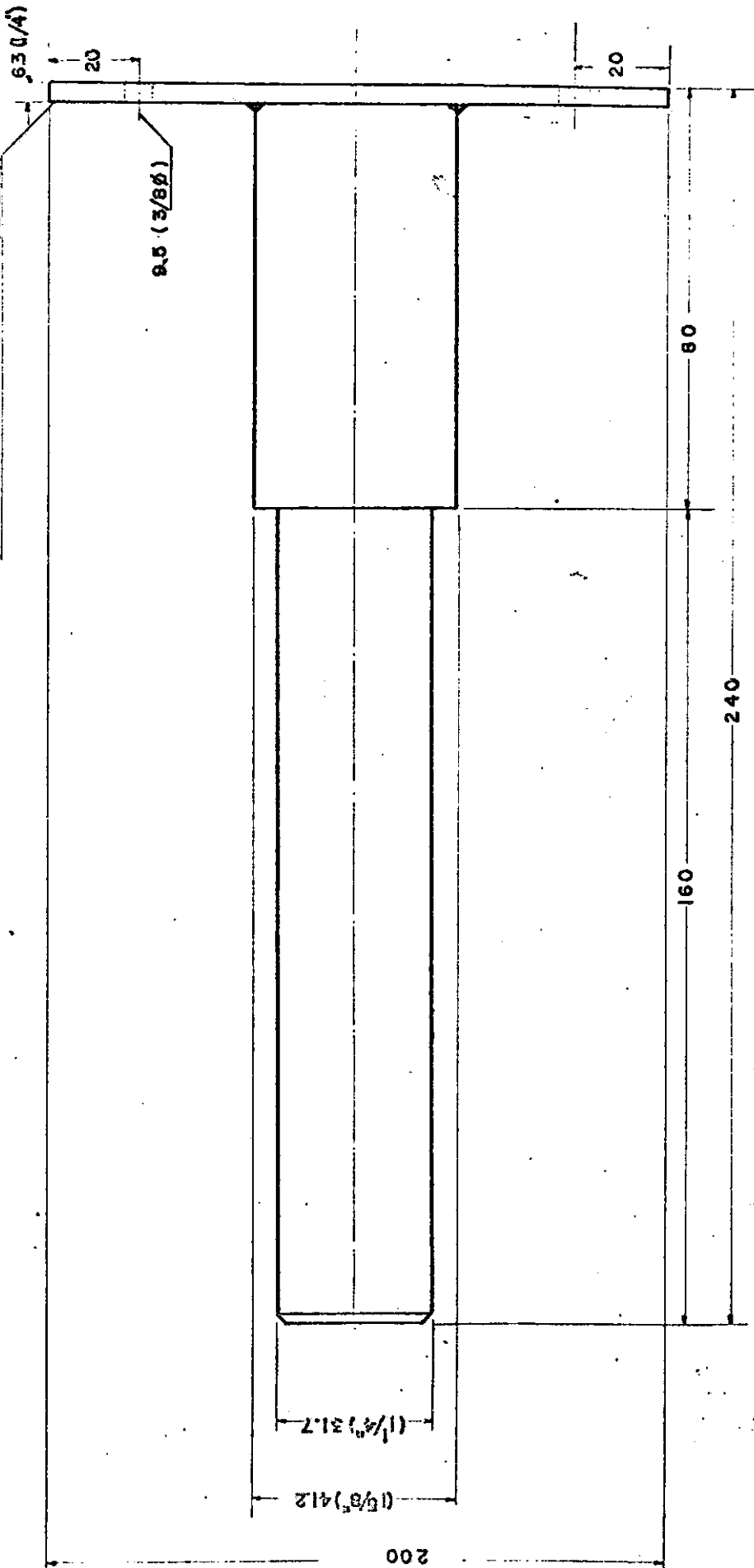
PLANCHA CUADRADA

CUATRO TALADROS DE $\frac{3}{8}$ " ϕ

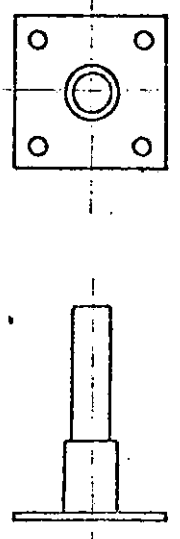
| | | | |
|-------------------------|--|--|--|
| | | DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA | |
| MOLINO DE VIENTO | | Diseño: MAQUINARIA | |
| REF. 2 | | Dibujo: N NIETO J. | |
| EJE + ACOUPLE | | Fecha: ABRIL 1976 | |
| Dir. Prog. | | Escala: | |
| Dir. Dento. | | Plano No.: | |



PLANCHA CUADRADA DE 20 CM DE LADO



| | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------------------------------|--|
| INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO | | DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA | |
| MOLINO DE VIENTO | | Diseño: MAQUINARIA | |
| | | Dibujo: N. NIETO J. | |
| REF. 6 | | Escala: ABRIL 1974 | |
| EJE-ACOPLE | | Plano No.: | |
| Dir. Prog. | Dir. Depto. | | |



A

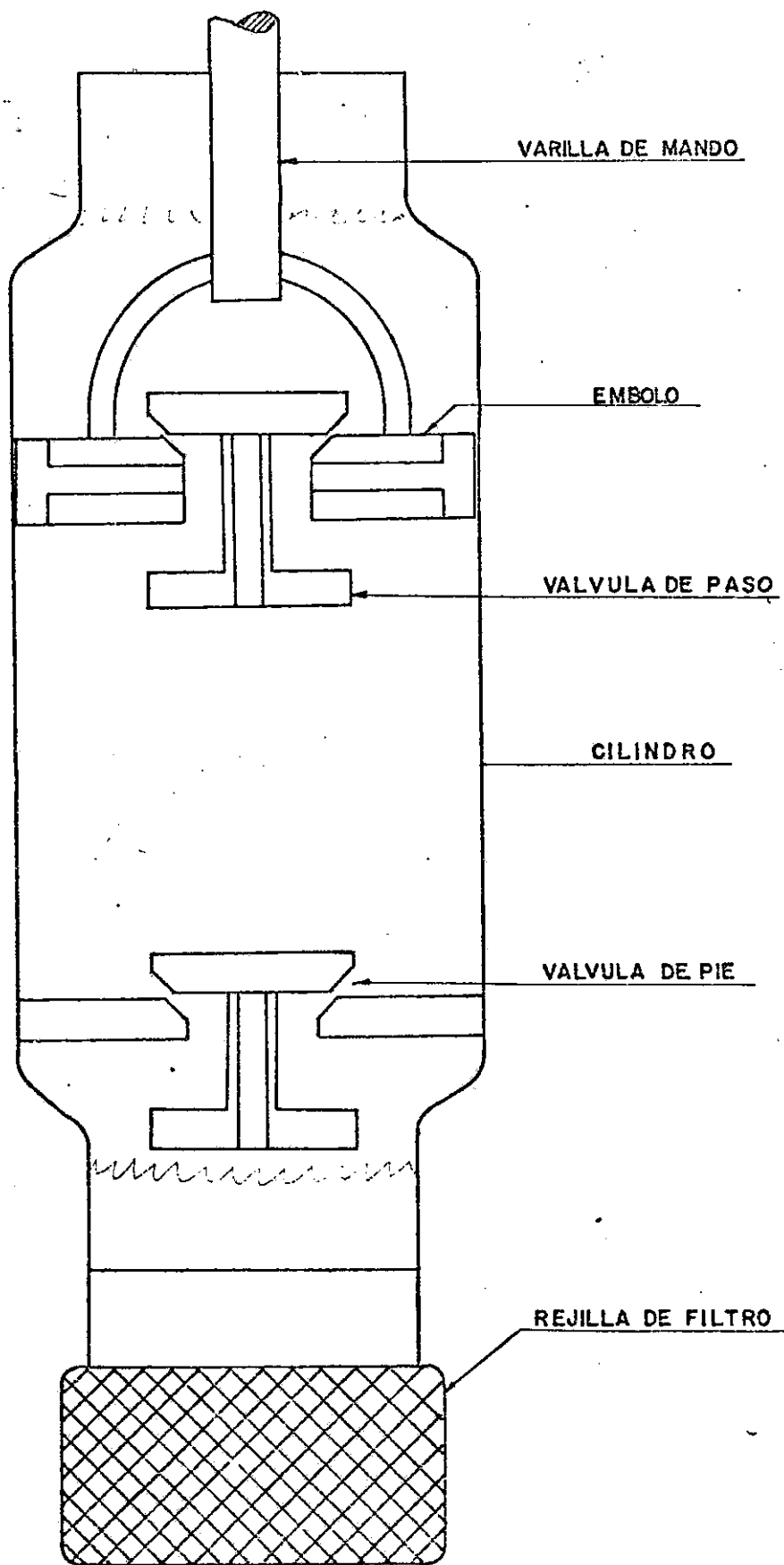
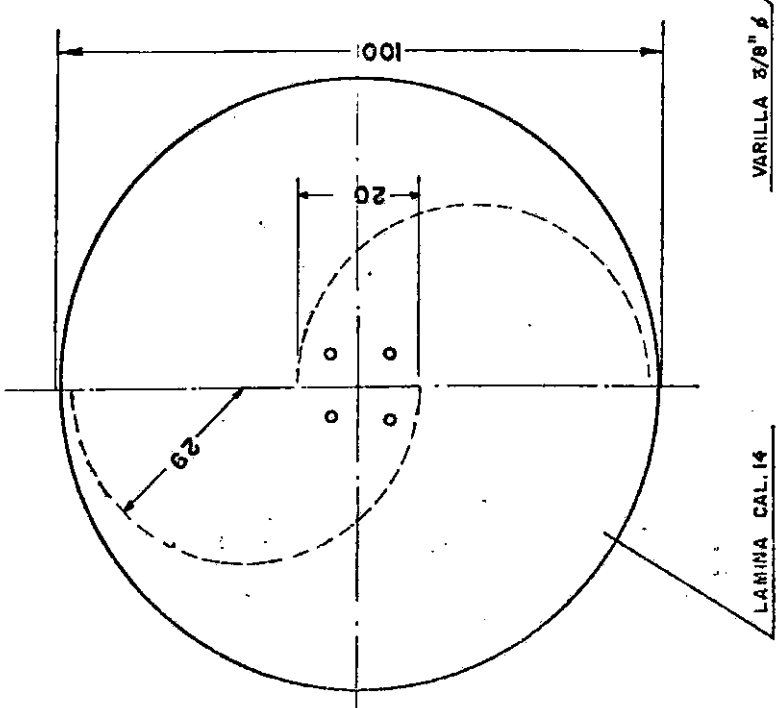
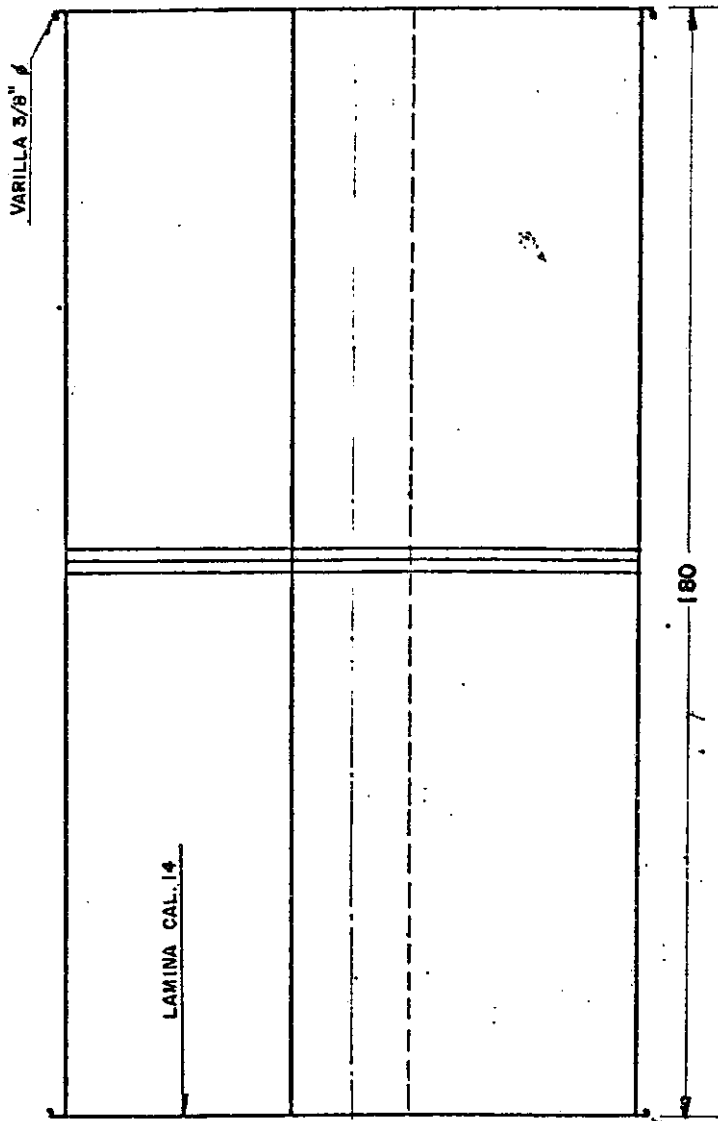



FIG. 6 ESQUEMA DE UNA BOMBA DE PISTON



| | | | |
|---|------------|--|--|
|  | | DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA | |
| <h2 style="text-align: center;">MOLINO DE VIENTO</h2> | | Diseño: MAQUINARIA | |
| | | Dibujo: N. NIETO J. | |
| | | Fecha: ABRIL 1975 | |
| REF 4 | ROTOR | Escala: 1: 12.5 | |
| Dir. Prog. | Dir. Dpto. | Plano No.: | |

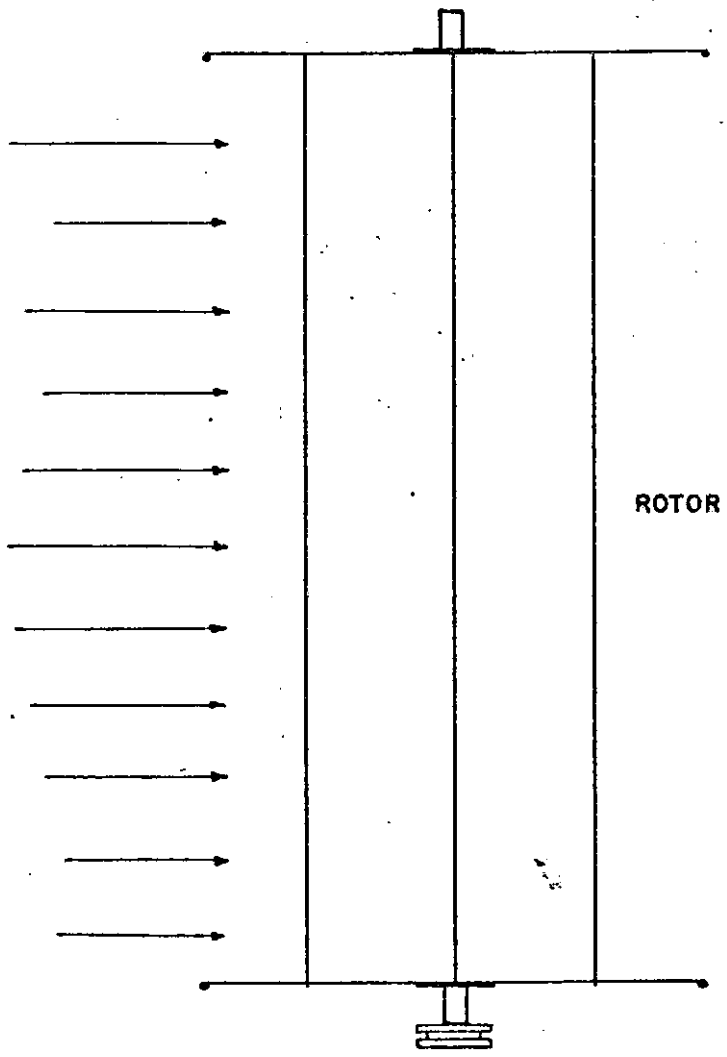
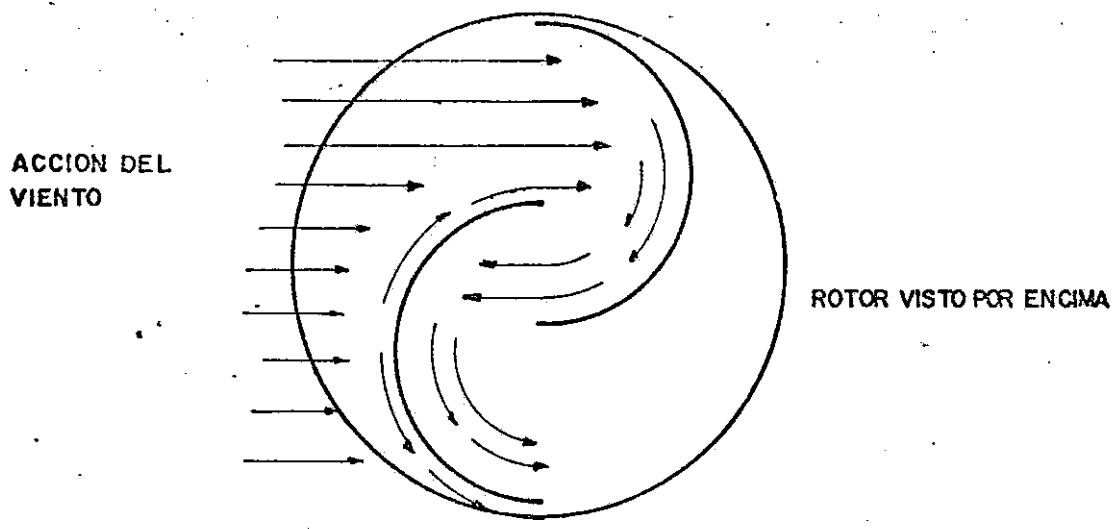


FIG.3. ACCIÓN DE LA FUERZA DEL VIENTO SOBRE LOS DOS CASQUETES DE CANECA QUE FORMAN EL ROTOR