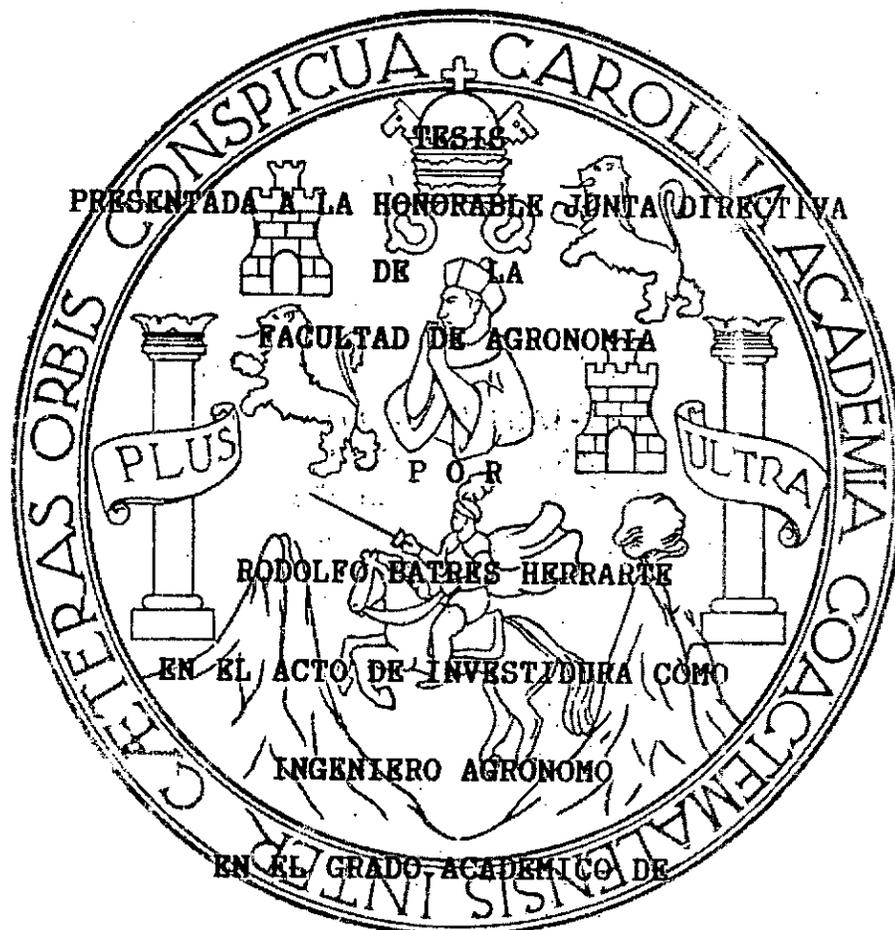


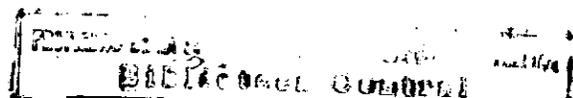
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

"PROTOTIPO DE UN MOLINO DE VIENTO Y
BOMBA DE AGUA CON TECNOLOGIA APROPIADA"



LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, JUNIO DE 1988



DL
01

T (1105)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

R E C T O R

Lic. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Anibal B. Martínez N.
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Gustavo A. Mendez G.
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Jorge Sandoval I.
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Mario Melgar
VOCAL CUARTO	Br. Marco Antonio Hidalgo
VOCAL QUINTO	P. A. Byron Milian Vicente
SECRETARIO	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO EN FUNCIONES	Ing. Agr. Oscar R. Leiva
EXAMINADOR	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
EXAMINADOR	Ing. Agr. Carlos Echeverría
EXAMINADOR	Ing. Agr. Juan E. Celada R.
SECRETARIO	Ing. Agr. Rodolfo Albizurez P.



Guatemala,
23 de mayo de 1988

Ing. Agr. Aníbal Martínez Muñoz
Decano de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria
Guatemala.

Señor Decano:

Por medio de la presente me dirijo a usted para informarle que he asesorado y revisado la tesis del estudiante RODOLFO BATRES HERRARTE, titulada: "PROTOTIPO DE UN MOLINO DE VIENTO Y BOMBA DE AGUA CON TECNOLOGIA APROPIADA".

Considerando que el trabajo reúne los requisitos técnicos y científicos que establece la Universidad de San Carlos de Guatemala, me permito recomendar su impresión como requisito previo a que el estudiante Batres Herrarte pueda optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Atentamente,

Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.

A S E S O R



Guatemala,
23 de mayo de 1988

Señores
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Ciudad Universitaria.

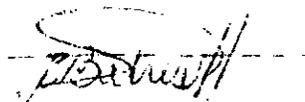
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

En cumplimiento de las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala es para mi motivo de gran satisfacción, someter a consideración de ustedes el trabajo de tesis titulado:

**"PROTOTIPO DE UN MOLINO DE VIENTO Y BOMBA DE AGUA
CON TECNOLOGIA APROPIADA".**

Presentándolo como último requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,



Rodolfo Batres Herrarte

rbn

ACTO QUE DEDICO

A **DIOS TODO PODEROSO**

A MI PADRE Rodolfo Batres Gavarrete (Q.E.P.D.)

A MI MADRE Ester Herrarte de Batres

A MI ABUELO Rafael Batres Gallardo (Q.E.P.D.)

A MI ESPOSA Mirian Estrada de Batres

A MIS HIJOS Rodolfo y miriam Ester
Batres Estrada

A MIS HERMANOS Rafael y María Ester

A MIS TIOS
ESPECIALMENTE A: Adolfo Zeceña Batres y
Fernando Lainfiesta Batres

A MI FAMILIA EN GENERAL

A MIS COMPANEROS DE COLEGIO

A MIS COMPANEROS DE FACULTAD
Eduardo Bolaños, Luis Carlos
Galindo y Juan Carlos Ruiz y
Carlos Spiegeler

DEDICO ESTA TESIS

A MI PATRIA GUATEMALA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A MI CENTRO DE ENSEÑANZA: Instituto Privado de Varones
y Escuela Preparatoria Anexa

A MIS MAESTROS Y CATEDRATICOS

AGRADECIMIENTO

*A mi madre querida que con su sabiduría
y humildad me supo guiar en el camino
escabroso de la vida, y por ello hoy alcanzo
la meta de mi carrera que tanto anelamos.*

*A tí madre tan maravillosa mi eterno
agradecimiento, tu hijo*

Rodolfo

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas, que en una u otra forma, colaboraron en la realización del presente trabajo. Especialmente a mi asesor:

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez

Quien me brindó durante el desarrollo de esta investigación su amistad y su valiosa orientación.

Al

Ing. Agr. Carlos A. Molina U.

Por su espontánea colaboración e incondicional apoyo.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	i
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	3
III. JUSTIFICACION	4
IV. REVISION DE LITERATURA	5
4.1 Generalidades	8
4.1.1. Efecto de la densidad del aire	8
4.1.2. Efecto de la humedad, viscosidad del aire	9
4.1.3. Efecto de la localización	9
4.2 Consideraciones del diseño y construcción	10
4.2.1 Número de aspas	10
4.2.2 Diámetro del rotor	10
4.2.3 Solidez	11
4.2.4 Relación u/v	11
4.2.5 Tipo de eje	11
4.2.6 Velocidad de rotación	11
4.2.7 Peso	12
4.2.8 Velocidad mínima y máxima	12
4.2.9 Angulo de ataque	12
4.3 Funcionamiento de bombas de mano	13
4.3.1 Eficiencia volumétrica	14
4.3.2 Eficiencia mecánica	15
4.3.3 Pérdida	15
4.3.4 Función de las válvulas	16
4.4 Bombeo mediante energía eólica	17
4.5 Potencia del molino de viento	18
4.6 Fundamento de hidráulica	21
V. MATERIALES Y METODOS	22
5.1 Ubicación del experimento	23
5.2 Climatología	23
5.2.1 Velocidad del viento	23
5.2.2 Temperatura	24
5.2.3 Precipitación pluvial	24
5.2.4 Humedad relativa	24
5.3 Materiales de construcción	25

Página

VI. RESULTADOS Y DISCUSION	28
6.1 Especificaciones de la construcción	31
6.2 Analisis económico comparativo sobre bombeo	38
6.3 Resumen de costos comparativos	40
VII. CONCLUSIONES	41
VIII. RECOMENDACIONES	42
XI. BIBLIOGRAFIA	43
X. APENDICE	44
10.1 Figuras	45
10.2 Cuadros	56
10.3 Gráficas	58

" PROTOTYPE OF A WINDMILL AND A PUMP OF WATER WITH APPROPRIATE TECHNOLOGY "

" PROTOTIPO DE UN MOLINO DE VIENTO Y BOMBA DE AGUA CON TECNOLOGIA APROPIADA "

RESUMEN

Debido a que nuestro país presenta condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía eólica, se efectuó un estudio con el objeto de obtener de la fuerza del viento, una fuente de energía mecánica, mediante el empleo de un molino de viento para la extracción de agua, utilizando para su construcción una tecnología apropiada.

El experimento se desarrolló en la Finca La Soledad, ubicada en el Municipio de San José Pinula, Departamento de Guatemala; donde se construyó los prototipos del Molino de viento y de la bomba de agua de émbolo de acción recíproca, y el acople mediante el uso de un eje de transmisión de vehículo.

Los prototipos del Molino de viento y de la bomba para extracción de agua, se construyó con materiales locales y de fácil adquisición. La construcción de las estructuras y su costo se expresan así:

a) Rotor del Molino de viento	Q. 183.55
b) Bomba de agua recíproca	Q. 83.19
c) Sistema de transmisión mecánica	Q. 167.09
d) Torre de sustentación	Q. 26.97
	Q. 460.80

Los resultados obtenidos de la pruebas efectuadas, dieron los siguientes datos; para la primera prueba: un caudal de 0.015 m³/minuto, con una velocidad de viento de 10.30 Km/Hr. en promedio y con 60 revoluciones del rotor por minuto. Para la segunda prueba: un caudal de 0.0125 m³/minuto con una velocidad de viento promedio de 9.61 Km/Hr. con 45 revoluciones por minuto del rotor. Dando un promedio del caudal descargado de 0.0138 m³/minuto en las pruebas efectuadas.

Se hicieron comparaciones tanto de la eficiencia como del costo de bombeo por metro cúbico entre el prototipo experimental con un aereomotor tradicional, obteniéndose los datos siguientes: eficiencia del Prototipo experimental 43.5%, eficiencia del Aereomotor 73.6%. Costos de bombeo tomando como margen una vida útil de 5 años para ambos sistemas dando los resultados de Q.0.05 por metro cúbico para el prototipo experimental y un costo de Q.0.32 por metro cúbico para el aereomotor tradicional, obteniéndose una economía del 84.4% por metro cúbico bombeado.

Es importante hacer notar que este trabajo tuvo, dentro de sus objetivos, desarrollar una tecnología apropiada, por medio de la cual se conjugaron todos aquellos recurso naturales y materiales al alcance, tomando en consideración la baja tecnología existente y las limitaciones económicas del país.

I INTRODUCCION

La crisis de energía a nivel mundial se incrementa con forme la necesidades de la humanidad son mayores. Los combustibles de uso tradicional, extraídos de los diferentes sistemas energéticos del planeta, no podrán cubrir la demanda futura.

Por tal razón, en la actualidad es indispensable el estudio del aprovechamiento de nuestras fuentes de energía renovables, como lo es la energía eólica (fuerza del viento).

Desde tiempos muy antiguos en la historia, se sabe que la fuerza del viento no era desconocida y fue utilizada en la agricultura para regadíos y molienda de granos. En ése entonces, las necesidades y la tecnología empleada eran diferentes.

Habiendo planteado la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía, el presente estudio pretende utilizar la energía eólica para el bombeo de agua, mediante la construcción de un prototipo de un molino de viento y una bomba de succión de agua, empleada una tecnología apropiada.

El presente trabajo se realizó en la Finca La Soledad, ubicada en el municipio de San José Pinula, Guatemala: a una elevación de 1650 MSNM. Se utilizó, para su construcción, materiales locales y de fácil adquisición, con la cual se desarrolló una tecnología apropiada.

II OBJETIVOS

1. Construir el prototipo de un molino de viento, con rotor de eje vertical.
2. Construir el prototipo de una bomba de agua de acción reciprocante, con mecanismos sencillos.
3. Utilizar tecnología apropiada, aprovechando los recursos naturales y materiales con que cuenta Guatemala.

III JUSTIFICACION

Es necesario que en nuestro medio se implanten nuevas ideas que conduzcan a buscar y a aprender el beneficio que significa el uso de nuevas y útiles fuentes de energía, como alternativas en la sustitución de aquellas que ya no pueden ser renovada y que se extinguen.

Es por eso, que el estudio de aprovechar la energía eólica (fuerza de viento), es conveniente si se antepone el constante incremento de precio de los combustibles y otros energéticos de uso rutinarios y a la escasez cada vez mayor en los expendios de nuestro país.

Teniendo las condiciones climáticas favorables para el aprovechamiento de no sólo la energía eólica, sino de otras más que son recursos naturales renovables y gratuitos, merecen éstos ser estudiados y así lograr un desarrollo con una tecnología nueva y de bajo costo.

IV REVISION DE LITERATURA

Según Halacy, el viento es más que el aire atmosférico que se mueve en dirección horizontal o paralela a la superficie terrestre, que al desplazarse verticalmente se le conoce como corriente. El movimiento de las masas de aire se debe básicamente al sol y al calentamiento disperejo que éste provoca en la tierra debido a su forma e inclinación del eje de rotación de la misma. La incidencia de los rayos solares es mayor en el ecuador y menor en los polos. (3)

Al aumentar la temperatura del aire, se reduce la densidad y se eleva al mismo tiempo aire más denso que es forzado a descender y llenar el espacio vacío que deja el aire caliente.

Este simple proceso ocurre en la tierra y al combinarse con otros fenómenos cuya explicación es un tanto diferente, provoca complicados arreglos en las líneas de flujo. (3)

Al referirse a ENERGIA EOLICA, las dimensionales son ML^2/t^3 , que significan unidades de potencia, no de energía o trabajo. Y debe considerarse como flujo de energía eólica por unidad de tiempo. (4)

La energía del viento que pasa a travez de un área de sección vertical por unidad de tiempo, (energía cinética), puede expresarse como:

$$P = 1/2 \rho A V^3 \quad (1)$$

siendo:

A = área considerada

ρ = densidad del aire que fluye (viento)

V = Velocidad del viento

Un análisis sencillo de la fórmula anterior indica que siendo A y ρ magnitudes constantes para una turbina y localidad determinada, la potencia disponible en el viento varía con el cubo de la velocidad, de allí que un pequeño incremento en la velocidad del viento implica un considerable aumento en la potencia. (4)

Al utilizar un artificio mecánico para transformar la energía eólica, tal como en los molinos de viento, el aire reduce su velocidad, de allí que para lograr una eficiencia del 100% sería necesario reducir su velocidad a cero, cosa imposible de lograr. La fórmula (1) indica la potencia teórica máxima que puede obtener el viento; usualmente se modifica por un coeficiente C_p que puede tener un valor máximo de $16/27$ ó 0.5925925 , propuesto por la teoría del momento simple A. Betz. Conectivo a reducir la velocidad del viento aproximadamente a $1/3$ de la inicial.(4)

La experiencia ha demostrado que se puede obtener coeficientes de aprovechamiento de hasta 0.46 0.47 en molinos de viento altamente eficientes, pero en molinos con eficiencias menores se obtienen valores más pequeños.

Si a la fórmula (1) se agrega C_p queda:

$$P = 1/2 A \rho C_p V^3 \quad (2)$$

Este valor de P también es teórico pues no considera las pérdidas por fricción en cojinetes, engranes; por ello es usual transformar C_p en C_{op} , que es un factor que incluye C_p y la eficiencia resultante de las partes en movimiento. (4)

La ecuación (2) quedaría:

$$P = 1/2 A \rho C_{op} V^3 \quad (3)$$

o bien:

$$P = 1/2 A \rho C_o V^3 \quad (4)$$

Siendo (4) aplicable en caso que se estudien por separado los coeficientes de eficiencia debido a la transformación de la energía eólica a mecánica, incluyendo las aspas o tores y la fricción en los componentes mecánicos. (4)

Algunos autores recomiendan el uso de tantos coeficientes de eficiencia como elementos intervienen en el artefacto mecánico. Los valores de C_{op} de 0.2 a 0.3 son comunes en máquinas con turbinas de 5 a 10 metros de diámetro.

Para las distintas unidades de potencia la energía eólica por unidad de tiempo teórica, se presentan en el cuadro 1, siendo K constante que conlleva la densidad del aire, el factor 1/2 de las fórmulas anteriores y otros factores de conversión. Para la potencia real es necesario afectar los resultados obtenidos con la fórmula en el cuadro 1 por un coeficiente que varía de 0.10 a 0.32, de acuerdo a la perfección del modelo. (4)

4.1 Generalidades

4.1.1 Efecto de la densidad del aire

La densidad del aire varía de acuerdo a la temperatura, presión y humedad. Para fines de diseño es usual emplear una densidad formalizada de 0.002378 Slug/pie³, correspondiente a una presión atmosférica de 29.921 pulgadas de mercurio y temperatura de 15°C (59°F). Si se desea una mayor exactitud, el efecto de la presión y temperatura se puede tomar en cuenta, en condiciones extremas, mediante la ecuación:

$$\rho = \frac{1.235 \quad p'}{(460 \text{ } ^\circ\text{F}) \quad 32.2} \quad (6)$$

Siendo:

P' = presión en pulgadas de mercurio a la altura en estudio.

°F = temperatura del aire (grado Fahrenheit).

Para obtener un dato más exacto puede consultarse tablas de aerodinámica.(4)

4.1.2 Efecto de la humedad, viscosidad del aire

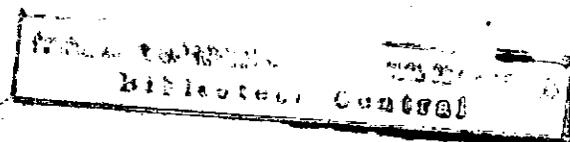
La humedad del aire, por ser usualmente variable, no se considera para fines de diseño como factor que afectará la densidad del aire, aunque en caso de corrosión y pérdida del perfil de los rotores sí es importante. otro efecto que se desprecia es el de la viscosidad del aire, que es prácticamente independiente de la presión, dependiendo unicamente de la temperatura.

(4)

4.1.3 Efecto de la localización

La velocidad del aire es el factor más importante a considerarse, al pretender emplear la energía eólica. Esta varía de acuerdo a la altitud sobre el nivel del suelo; más o menos en la forma que se indica en la grafica 1, pero esta variación de la velocidad no es constante de un lugar a otro. Por lo tanto, al diseñar un artefacto para aprovechar la energía del viento, éste debe ser colocado tan alto como sea práctico y económicamente posible (4)

Una forma de cuantificar la velocidad del viento a una altura H es empleando la fórmula siguiente:



$$\frac{V_H}{V_{10}} = \left[\frac{H}{10} \right]^{0.18} \quad (7)$$

Siendo

V_H = velocidad del viento a la altura H .

V_{10} = velocidad del viento a 10 metros sobre el nivel del suelo.

H = Altura o nivel sobre el suelo en cuestión

La fórmula anterior es empírica y no se ha empleado en Guatemala; no es aplicable para diferencias de altura muy grandes. (ver gráfica 1) (4)

Todo objeto antes o después, o a la derecha o a la izquierda de un equipo para aprovechar la energía eólica provoca turbulencia y por ello deben evitarse tanto como sea posible. Esto es aplicable a muros, viviendas, árboles, etc. (6)

4.2 Consideraciones de diseño y construcción

4.2.1 Número de aspas

El número de aspas depende de la revolución y torque necesario para la aplicación deseada. De allí que a mayor número de aspas, menor velocidad pero mayor torque. (4)

4.2.2 Diámetro del rotor

Este diámetro depende de la potencia para la cual se diseñe. A mayor diámetro, mayor potencia (a velocidad del viento constante). para molinos de eje vertical, el diámetro se calcula midiendo la distancia entre los

extremos de las aspas.(4)

4.2.3 Solidez

La solidez de un molino de viento se define:

$$S = \frac{\text{Area de las aspas}}{\text{Area frontal}} \quad (8)$$

La solides de un rotor puede variar de aproximadamente 0.8 a 0.02 ($1 < S < 0$) en general.(4)

4.2.4 Relación U/V

Esta relación puede definirse como:

$$U/V = \frac{\text{Velocidad del aspa}}{\text{Velocidad del viento}} \quad (9)$$

Esta relación se utiliza para calcular el ángulo del aspa, ángulo del viento, la solidez de la eficiencia. Pueden obtenerse datos de aproximadamente valores desde 0 hasta 18.(4)

4.2.5 Tipo de eje

Los ejes empleados en los molinos de viento pueden ser verticales u horizontales. Los molinos de eje vertical no pueden tener relaciones de U/V de aproximadamente 1.5 (4)

4.2.6 Velocidad de rotación

Depende de la velocidad promedio del viento, la

solidez, la relación U/V , el ángulo de ataque y el número de aspas. En general utilizan las bajas velocidades de rotación para el bombeo de fluidos.(4)

4.2.7 Peso

El peso del rotor es muy importante conocerlo para el diseño de la sustentación. Se calcula sumando el peso de las aspas, el empalme, el eje y los demás mecanismos. Además del peso, es importante la localización de los mismos para el cálculo de los momentos que causan.(4)

4.2.8 Velocidad mínima y máxima

Sabiendo que un rotor sin carga funciona con cualquier velocidad de viento, pero para generar la potencia mínima necesaria para accionar el aparato (bomba), es conveniente que el molino gire con una velocidad mínima y que accione el mecanismo acoplado.

La velocidad máxima del viento que puede soportar, va a depender del material con que estén construidas las aspas, la perfección del diseño y el balance del rotor. Para evitar que los molinos de viento se destruyan cuando soplan vientos muy fuertes se emplean mecanismo de regulación de la velocidad como lo es un simple freno.(4)

4.2.9 Angulo de ataque

Es el ángulo formado por el movimiento del aspa y la magnitud relativa del viento, vista desde cuerda geométrica del aspa. Ver figura 1. (4)

4.3 Funcionamiento de bombas de mano

Por regla general este tipo de bombas constan de: un tubo de extracción con dos válvulas idénticas. Una válvula inferior o de succión colocada al pie del tubo y una válvula superior o de descarga. El agua es desalojada por el constante movimiento del vaivén del émbolo a travez de una varilla con movimiento reciprocante.(7)

Tras un análisis de las fuerzas que actúan sobre la varilla que sujeta el émbolo para cada recorrido, se puede construir un diagrama de desplazamiento de la fuerza. La forma rectangular normal del diagrama de desplazamiento está distorcionada por los factores siguientes:

- a. Las demoras de la válvula X12 y X34 correspondiente a los recorridos o golpes 1 a 2 y 3 a 4.
- b. Las fuerzas de resistencia de la presión PAp durante los recorridos 2 a 3 y 4 a 1.
- c. Las fuerzas Fu y Fd.

El insumo de trabajo durante el ciclo de operación de la bomba está dado por el área encerrada por el diagrama de desplazamiento de la fuerza. Para un caso general, el área del diagrama de desplazamiento de fuerza está dado por la fórmula:

$$\oint F dl = A_p \rho g h t L_o (1 - X/L_o) + F_t L_o A_p \oint \Delta p dl \quad (10)$$

Donde los términos del lado derecho representan el insumo de trabajo requerido: para impeler el agua (primer término); para superar las fuerzas de fricción (segundo término); y para superar las fuerzas de resistencia de presión (tercer término). Ver figuras No.2 y 3. (6)

4.3.1 Eficiencia volumétrica (η_{vol})

Puede definirse como el volumen real de agua entregada por ciclo dividido por el volumen desplazado durante el golpe de succión:

$$\eta_{vol} = [(L_o - X_{12} - X_{34}) A_p - V_l] / L_o A_p$$

Por consiguiente:

$$\eta_{vol} = 1 - X/L_o - V_l / (L_o A_p) \quad (11)$$

Donde los terminos representan el efecto de: demora de la válvula (segundo término); y la filtración más allá del pistón (tercer término).

La eficiencia volumetrica es, por consiguiente, una medida del desperdicio de la capacidad posible del rendimiento volumétrico. Las demoras de la válvula y las filtraciones más allá del pistón disminuyen la eficiencia volumétrica. (6)

4.3.2 Eficiencia mecánica (η_{mec})

Se define como el trabajo realizado al subir el agua dividido por el insumo de trabajo, o sea:

$$\eta_{mec} = \frac{\eta_{vol} \rho g L_o A p h T}{F d l} \quad (12)$$

Para el caso limitante en que la fricción, filtración y pérdidas de resistencia de presión sean insignificantes ($V_l = F T = p=0$), entonces la eficiencia mecánica es igual al 100%. Nótese que para el caso limitante X/L_o , no necesita ser cero. La eficiencia mecánica es, por consiguiente, una medida del desperdicio del esfuerzo mecánico como resultado de la filtración, fricción y pérdidas de resistencia de presión. (6)

4.3.3 Pérdidas

Al examinar el flujo de agua en el estrecho pasaje anular, la superficie externa de los anillos de el pistón y la pared interna del cilindro se puede mostrar que la pérdida más allá de los anillos del pistón está dada por:

$$V_l = C_l d p h T / N \quad (13)$$

Donde C_l es una constante para un juego particular de anillos.

Las fuerzas de resistencia de presión ocurren como resultado de caídas de presión a través del pistón y la

válvula de pie y se puede expresar de la manera siguiente:

$$\Delta p = D 5KT \rho U_o^2 \quad (14)$$

Donde K_t es el coeficiente de pérdidas de presión que puede ser determinado mediante la geometría y velocidad de flujo de agua a través de los orificios en el pistón y la válvula de pie. (6)

El caudal real de descarga normalmente varía ligeramente respecto de la descarga teórica debido a que las válvulas no cierran instantáneamente cuando cambia el sentido del desplazamiento del émbolo, y que parte del agua escape entre el émbolo y las paredes del cilindro durante el bombeo. Esta diferencia es conocida como pérdidas y se define como la diferencia entre la descarga teórica (Q_t) y la descarga real (Q_r) expresada como % de la descarga teórica, es decir: (5)

$$\text{Pérdidas} = \frac{Q_t - Q_r}{Q_t} \times 100 \quad (15)$$

4.3.4 Función de las válvulas

Las bombas de mano de acción recíproca poseen por lo menos dos válvulas en la armadura del émbolo, la otra en la base o extremo de succión del cilindro. La válvula

del émbolo es conocida como válvula de descarga, de salida o elevadora. La válvula de succión es conocida frecuentemente como válvula de pie, y menos frecuente como válvula de pie, y menos frecuente como válvula de la toma o de entrada. tanto la válvula en émbolo como la válvula de succión son válvulas de retención, es decir, válvulas que limitan el flujo a un solo sentido; en el caso de los pozos, el vertical ascendente.

La válvula de retención del émbolo se cierra durante la carrera ascendente elevándose así el agua hasta el punto de descarga, y se abre durante la carrera descendente para permitir el relleno que reemplace el agua descargada durante el ciclo de bombeo anterior.

La válvula de retención de succión se abre durante la carrera ascendente del émbolo y se cierra durante la carrera descendente. La válvula de retención de succión también contribuye a mantener la bomba cebada, eliminando con ello el trabajo de tener que cebar para reiniciar el bombeo; los riesgos potenciales de cebar con agua contaminada. (5)

4.4 Bombeo mediante energía eólica

Según muchos autores (Golding, Wagner y Lanoix), la fuerza del viento puede ser aprovechada para impulsar una bomba si:

- La ocurrencia de vientos de por lo menos 8 Km/hr se

- puede mantener durante por lo menos el 60% del tiempo;
- Puede bombearse el pozo en forma continua sin que se produzca un descenso de nivel excesivo;
 - Se cuenta con capacidad de almacenamiento para una demanda típica de 3 días (o mas) para satisfacer la necesidad durante períodos de calma sin vientos; y
 - Se toman las providencias para que el barrido del viento sobre el molino de viento se realice sin interferencias, es decir, el molino debe estar situado a mayor altura que cualquier obstrucción de los alrededores, ya sean árboles o edificaciones, los que deberán estar a menos de 125 m; el molino de viento puede instalarse a una altura de 3 a 6 metros;
 - La maquinaria del molino de viento puede trabajar sin necesidad de mantenimiento durante largos períodos de tiempo, 6 meses o más. El mecanismo impulsor debe estar cubierto y provisto de un sistema de lubricación. Las aspas y velas y su armadura deben estar fuertemente galvanizadas y protegidas con pintura a base de epoxy.(8)

4.5 Potencia del molino de viento

Si P representa el área barrida por el rotor de diámetro D del molino de viento, V la velocidad del

viento y γ a el peso específico del aire, entonces el peso $W=AV \gamma$ y su energía igual a $\frac{WV^2}{2g}$, siendo "g" una constante que representa aceleración de gravedad. La potencia P que lleva a la rueda del molino de viento la acción del viento es, por lo tanto :(5)

$$P = \frac{WV^2}{2g} = \frac{A\gamma aV^3}{2g} = \frac{D^2\gamma aV^3}{8g} \quad (16)$$

La potencia empleada para elevar agua será menor, en proporción, a la eficiencia mecánica viento-agua de la unidad integrada molino de viento-bomba de agua. Golding; estima que la eficiencia raramente excederá el 20% .(1)

Combinando las constantes, incluso los valores promedios de g y γ a, la verdadera potencia al freno de bombeo, en caballos de fuerza, puede expresarse así:

$$\begin{aligned} &\text{Potencia Neta de} \\ &\text{Bombeo H. P.} = 0.0000052 D^2 V^3 e \quad (17) \end{aligned}$$

Donde:

D = diámetro del rotor del molino de viento en pies.

V = velocidad del viento en millas por Hr.

e = eficiencia mecánica viento-agua.

En forma similar:

$$\begin{aligned} &\text{Potencia Neta de} \\ &\text{Bombeo K.V.} = 0.0000020 D^2 V^3 e \quad (18) \end{aligned}$$

Donde:

D = diámetro del rotor del molino de viento en metros.

V = velocidad del viento en Kilómetros/hr.

e = eficiencia mecánica viento-agua.

El caudal de descarga Q para un diámetro de rueda de molino y una velocidad de viento dados, sería inversamente proporcional a la carga de bombeo. combinando la ecuación anterior con:

$$\text{Potencia (h.p.)} = \frac{Q H}{3960 e} \quad (19)$$

Tendremos

$$\text{H.P.} = \frac{Q H}{3960} = 0.0000052 D^2 V^3 e$$

Y, despejando Q:

$$Q = 0.020 \frac{D^2 V^3 e}{H} \quad (20)$$

Donde:

Q = descarga en galones por minuto.

D = Diámetro del rotor del molino de viento en pies.

V = Velocidad del viento en millas por hr.

H = carga de bombeo en pies.

e = eficiencia mecánica viento-agua.

En la misma forma:

$$Q = 0.060 \frac{D^2 V^3 e}{H} \quad (21)$$

Donde:

Q = descarga en litros por minuto.

D = diámetro del rotor del molino de viento en metros.

V = velocidad del viento en Kilómetros por hr.

H = carga de bombeo en metros.

e = eficiencia mecánica viento-agua. (1)

4.6 Fundamentos de hidráulica

El caudal Teórico de descarga de una bomba reciprocante de efecto simple, es una función de el volumen del cilindro (V), que barre el émbolo en su carrera por unidad de tiempo (N).

Es decir; $Q=VN$. Como se muestra en la figura 4 el volumen (V) es el producto del área (A) de la sección recta horizontal y de la longitud de carrera del émbolo (S). Expresado el Q en función del diámetro interior del cilindro (D) y la relación entre la circunferencia del cilindro y su diámetro (π o $\tilde{\pi}$). (5)

$$Q = \frac{\tilde{\pi}}{4} D^2 N S \quad (22)$$

El producto de número de carrera del bombeo del émbolo por unidad de tiempo (N) y la longitud de carrera

(S) es conocido como la velocidad de carrera del émbolo, así: (9).

$$\begin{array}{l} \text{Velocidad de carrera del} \\ \text{émbolo} \end{array} = N S \quad (23)$$

V MATERIALES Y METODOS

Los materiales para la medición de las constantes climáticas se obtuvieron de la estación meteorológica La Soledad(6.9.3.), y del INSIVOMEH.

La funcionalidad del prototipo y su sencillez, son cualidades que facilitaron la construcción, utilizando materiales de bajo costo y adquiribles en los mercados nacionales; y mano de obra de nivel rural.

La metodología para evaluar los rendimientos y eficiencias del prototipo experimental se basó en prácticas efectuadas los dos meses últimos de 1987 y los tres primeros de 1988. Se realizaron lecturas del caudal descargado durante el funcionamiento, conteo de las revoluciones por minuto del rotor del molino de viento y se registro la intensidad eólica durante las pruebas efectuadas. luego de procedió al análisis de los resultados promedios de las pruebas, con el objeto de observar el rendimiento del sistema.

5.1 Ubicación del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en los campos de la Finca La Soledad, localizada en el Municipio de San José Pinula, Departamento de Guatemala.

Las coordenadas geográficas del campo donde se realizó la construcción y evaluación del prototipo son:

LATITUD:	14°	30 ' 10 "	NORTE
LONGITUD:	91°	23 ' 50 "	OESTE
ALTITUD:		1650	MS NM

El área donde se montó el experimento está localizada contigua al casco de la Finca La Soledad, alejado de obstáculos permitiendo de ésta manera captar el flujo de aire de la región (energía eólica).

5.2 Climatología

5.2.1 Velocidad del viento

La velocidad del viento promedio durante el año de estudio tiene un valor de 7.98 Km/Hr.

Los meses de mayor intensidad eólica se registran en Enero, Febrero, Noviembre y Diciembre, con 10.96 Km/Hr., 11.12 km/Hr., 10.34 Km/Hr. y 10.62 Km/Hr. respectivamente. Los meses de menor intensidad eólica se registran en Junio y Septiembre con 4.4 Km/Hr. y 5.1 Km/Hr. respectivamente. Estos datos coinciden con los meses de mayor precipitación pluvial; por lo tanto.

reducen la intensidad de los vientos. (ver gráfica No.2)

(2)

5.2.2 Temperatura

La temperatura máxima anual es de 22.70°C, y la temperatura mínima anual es de 11.50°C; registrándose las temperaturas más altas durante los meses de Abril y Mayo, y las temperaturas más bajas durante los meses de Enero y Diciembre. (ver gráfica No.3) (2)

5.2.3 Precipitación Pluvial

Las lluvias se presentan en la región de la Finca La Soledad con inicio en el mes de Mayo. La máxima intensidad de las lluvias se registra en los meses de Junio y Septiembre con valores de 347.26 mm. y 313.1 mm. y con 23.3 y 25.3 días de lluvia respectivamente.

El promedio anual de lluvias es de 1570.2mm. repartidos en 132.5 días. La época de verano se prolonga hasta el mes de Abril, siendo Noviembre el de menor precipitación pluvial de esta región. (ver gráfica No.4) (2)

5.2.4 Humedad relativa

Las dos estaciones climáticas bien marcadas en la región, establecen el grado de humedad en el ambiente.

De Junio a Septiembre se registran los valores de 92% y 94% de Humedad Relativa media y de Enero a Mayo 84% y 87% respectivamente. La humedad relativa mínima es de

78.7% y la máxima de 94%, siendo los meses más húmedos Septiembre y Octubre. (ver gráfica No.5) (2)

5.3 Materiales de construcción

En nuestro medio existen diversos materiales para uso en la construcción de un sistema para el aprovechamiento de la energía eólica, por consiguiente la selección de los materiales estará en función del diseño y la localidad.

Por esta razón y por orden dividiremos los materiales en la siguiente forma:

- Materiales para la estructura del molino de viento.
- Materiales para el sistema de transmisión
- Materiales para la bomba de agua.
- Materiales para la estructura de sustentación.

Materiales para la estructura del molino de viento

Para la estructura del rotor se utilizaron medios toneles de metal de 55 galones, formando tres aspas en un ángulo de 120° entre cada mitad, soldados entre si por un eje central de tubo galvanizado y reforzado en ambos extremos por planchas de lámina lisa calibre 30. Esta estructura descansa sobre chumaceras con cojinetes cónicos.(ver figura No.5)

Materiales para el sistema de transmisión

Para la transferencia o conversión de movimiento circular dado por el rotor en movimiento al girar por su eje vertical, a un movimiento ascendente-descendente o de viéla que accione el eje de la bomba, se utilizó un eje de transmisión de vehículo con una relación de engranajes de 2.1 (ver figura No.6).

Materiales para la bomba de agua

Se utilizó para la construcción del prototipo de la bomba de agua, un tubo principal de P.V.C. de 2 pulgadas de diámetro para la succión, un tubo de P.V.C. de 1 1/4 de pulgada de diámetro para la descarga, una varilla de hierro de 1/4 de pulgada para el eje del émbolo, una plancha de hule esponjoso para la construcción del pistón y para los empaques de la válvula de pie, accesorios para P.V.C. como una tee de 2X2 pulgadas, adaptadores macho y embra niples uniones, una reducción de 2x1 1/4 de pulgada, tuercas y roldanas para la fijación del pistón de 5/16 con rosca fina y solvente para P.V.C. (ver figuras No.7 y 8).

Materiales para la estructura de sustentación.

Para la estructura de sustentación o torre se utilizaron materiales rústicos como lo son: 2 postes principales de madera rolliza de pino de 6.00 metros de altura con un grosor de 5 pulgadas, tablonés y reglas

de pino rústicas, cemento para fundición de los postes, clavos tornillos y tuercas. (ver figura No.9)

Lista de materiales y su costo

Molino de viento

- 3 medios toneles de 55 gal.	Q. 30.00
- 2 cojinetes cónicos	Q. 35.00
- 1 bufa de tambor de vehículo	Q. 15.00
- 1 metro de tubo galvanizado de 1 1/4"	Q. 6.55
- 2 campanas reductoras de 1 1/4" x 3/4	Q. 4.00
- 1 plancha de lámina lisa cal. 30 4X8'	Q. 18.00
- soldadura eléctrica	<u>Q. 75.00</u>
	Q. 183.55

Sistema de transmisión

- eje trasero de vehículo	Q. 150.00
- 2.50 metros de tubo galvanizado de 3/4"	Q. 12.00
- 2 uniones roscadas galvanizadas de 3/4"	Q. 1.80
- 1 viela de pedal de bicicleta	Q. 2.00
- 1 eje de pedal de bicicleta	<u>Q. 1.00</u>
	Q. 167.09

Bomba de agua

- 1 tubo de P.V.C. de 2"x3.00 metros	Q. 8.07
- 1 tee yete de P.V.C. de 2x2	Q. 4.57
- adaptador macho de P.V.C. de 2"	Q. 2.65
- válvula d pies de 2"	Q. 30.00
- adaptador limpieza de P.V.C. de 2"	Q. 3.75

- tapón limpieza de P.V.C. de 2"	Q.	1.87
- unión de P.V.C. de 2"	Q.	2.22
- 1 reducción de P.V.C. 2x1 1/4"	Q.	2.87
- 1/48 de solvente para P.V.C.	Q.	5.25
- 1 plancha de hule esponjoso	Q.	15.00
- 1 varilla de hierro de 1/4" lisa	Q.	2.94
- 1 Lb. de clavo de 2" y 3 Lbs. de 5"	Q.	<u>4.00</u>
	Q.	83.19

Sustentación o torre

- 2 postes de pino rollizo 6m. x 5"	Q.	10.25
- 1 tablón de 2x12"x4.6' de pino	Q.	5.79
- 2 reglas de 2x2"x6' de pino	Q.	2.52
- 1 regla de 2x4"x5 de pino	Q.	2.10
- 1 saco de cemento	Q.	<u>6.31</u>
	Q.	26.97

Total Q 460.80

VI RESULTADOS Y DISCUSION

Las pruebas se realizaron durante tres días, tomando los datos de la siguiente forma:

- a) Se contabilizó por medio de un cronómetro las revoluciones por minuto del rotor.
- b) Con ayuda de una cubeta graduada en litros, se midió el caudal descargado, tomando lecturas por minuto.
- c) Se calculó la velocidad del viento, promediando los datos registrados por la estación metereológica cercana al montaje del experimento.

Los datos tomados y sus promedios se expresan de la siguiente manera:

Prueba #1	caudal m ³ /minuto	revoluciones/minuto
	0.01472	57
	0.01620	61
	0.01483	62
Promedios =	0.01525	60

Prueba #2	caudal m ³ /minuto	revoluciones/minuto
	0.01027	39
	0.01385	48
	0.01338	48
Promedios =	0.01250	45

Mediante la aplicación de la fórmula (22), se calculó el caudal teórico:

$$Q_t = \frac{\tilde{\eta}}{4} D^2 N S$$

$$Q_t = 0.03191 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

Utilizando el promedio de los caudales reales de ambas pruebas, se calculó su eficiencia.

$$Q_r = 0.01388 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

$$Ef = \frac{Q_r}{Q_t} = \frac{0.01388}{0.03191} = 0.435 \quad 44\%$$

$$E_f = 44\%$$

Comparando los datos obtenidos del experimento con los datos de un aereomotor que, según catálogo del fabricante, las especificaciones de funcionamiento se expresan así:

$$Q_r = 0.1133 \text{ m}^3 / \text{minuto caudal real}$$

$$N = 40 \text{ r.p.m.} \quad \text{revoluciones del rotor}$$

$$S = 0.15 \text{ metros} \quad \text{carrera del émbolo}$$

$$D_r = 2.44 \text{ metros} \quad \text{diámetro del rotor}$$

$$Q_r = 0.01133 \text{ m}^3 / \text{minuto}$$

$$Q_t = \frac{\tilde{u}}{4} D^2 N S \quad Q_t = 0.01538 \text{ m}^3 / \text{minuto}$$

$$E_f = \frac{Q_r}{Q_t} = \frac{0.01133}{0.01538} = 0.736 \quad 74\%$$

$$E_f = 74\%$$

Los datos finales de las pruebas se resumieron así:

	Prueba #1	Prueba #2
Velocidad del viento	10.30 Km/Hr.	9.61 Km/Hr.
Revoluciones del rotor	60 r.p.m.	45 r.p.m.
Caudal descargado	0.01525 m ³ /minuto	0.01250 m ³ /minuto

6.1 Especificaciones de la construcción

Se describen las especificaciones de las estructuras del prototipo del molino de viento y de la bomba de agua construidos con materiales accesibles, renovables y de bajo costo.

Molino de viento

Tipo de eje	vertical
Número de aspas	3 en ángulo de 120°
Diámetro del rotor	1.25 metros
Rotor	3 medios toneles 55 Gal. 58x89 cm.
Area total de aspas	0.61 metros cuadrados

Bomba de Agua

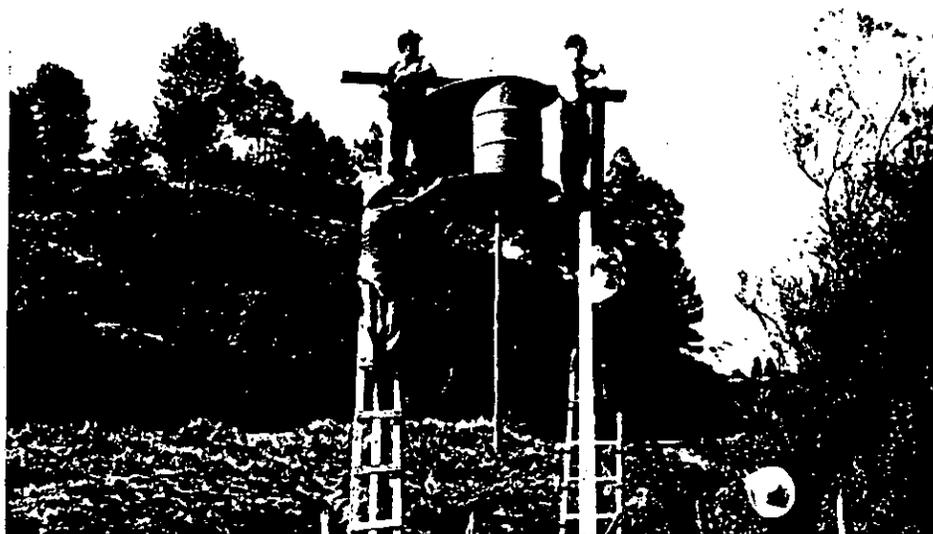
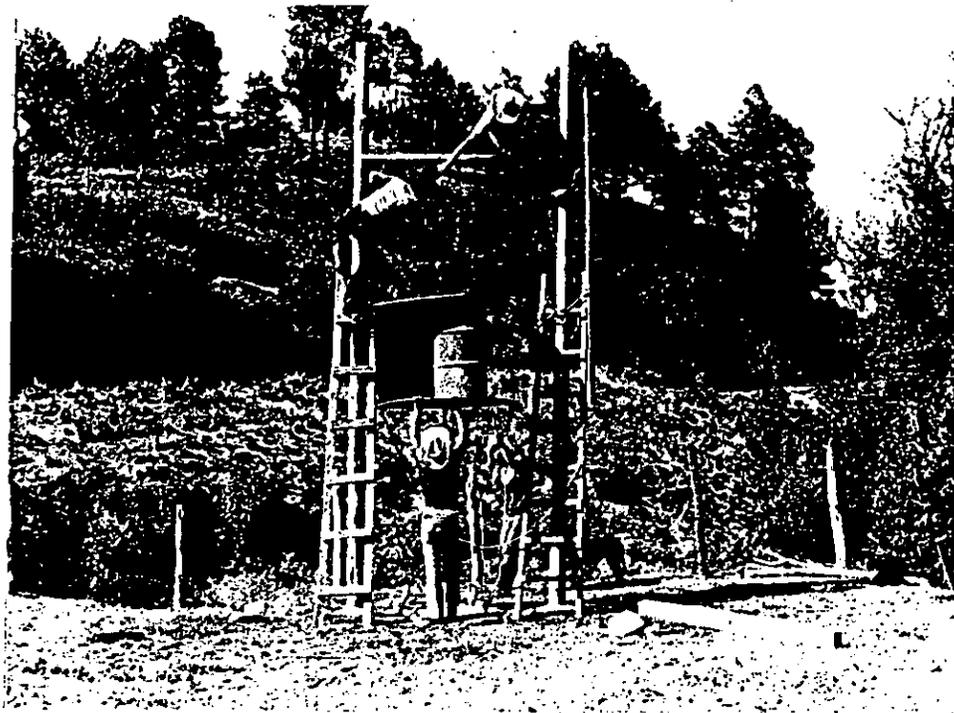
Acción	reciprocante de simple efecto
Diámetro del émbolo	2 pulgadas
Tubo de succión	2" x 5 metros
Tubo de descarga	1 1/4 de pulgada
Altura de bombeo	4 metros
Carrera de émbolo	N 0.30 metros

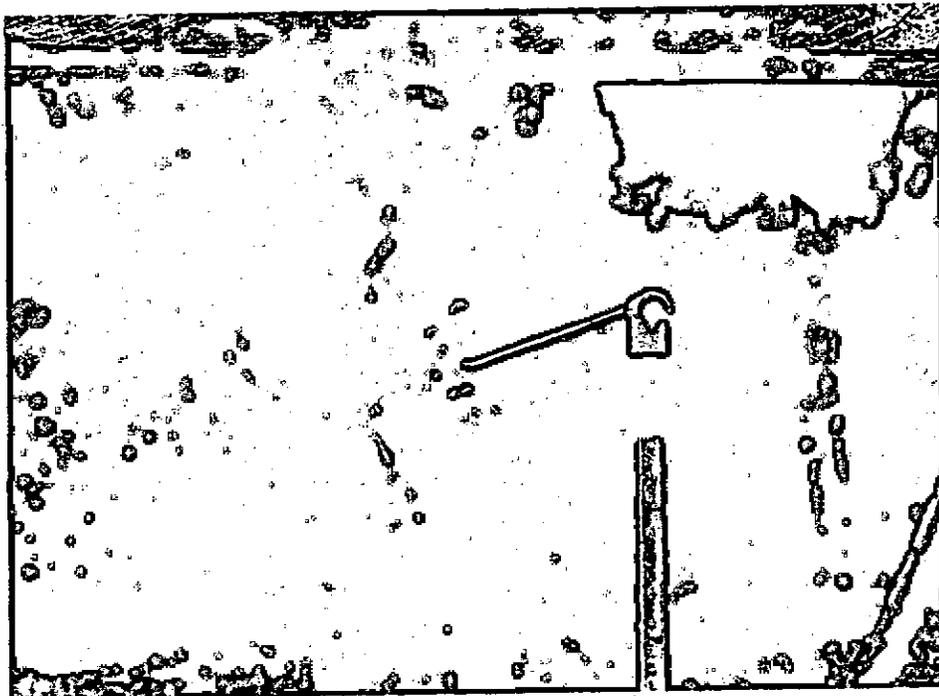
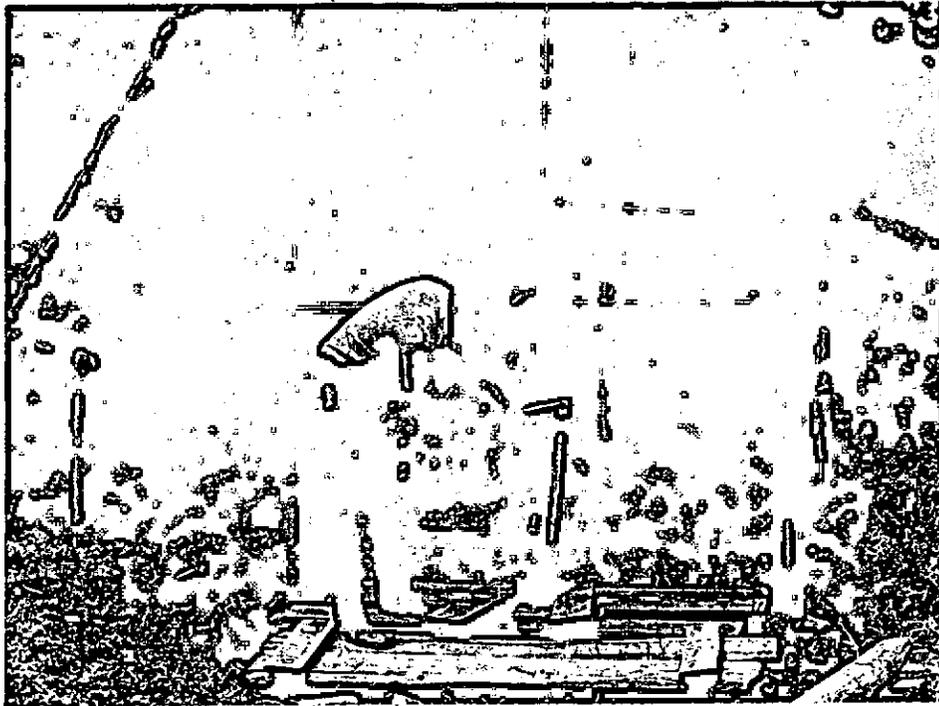
Sistema de transmisión

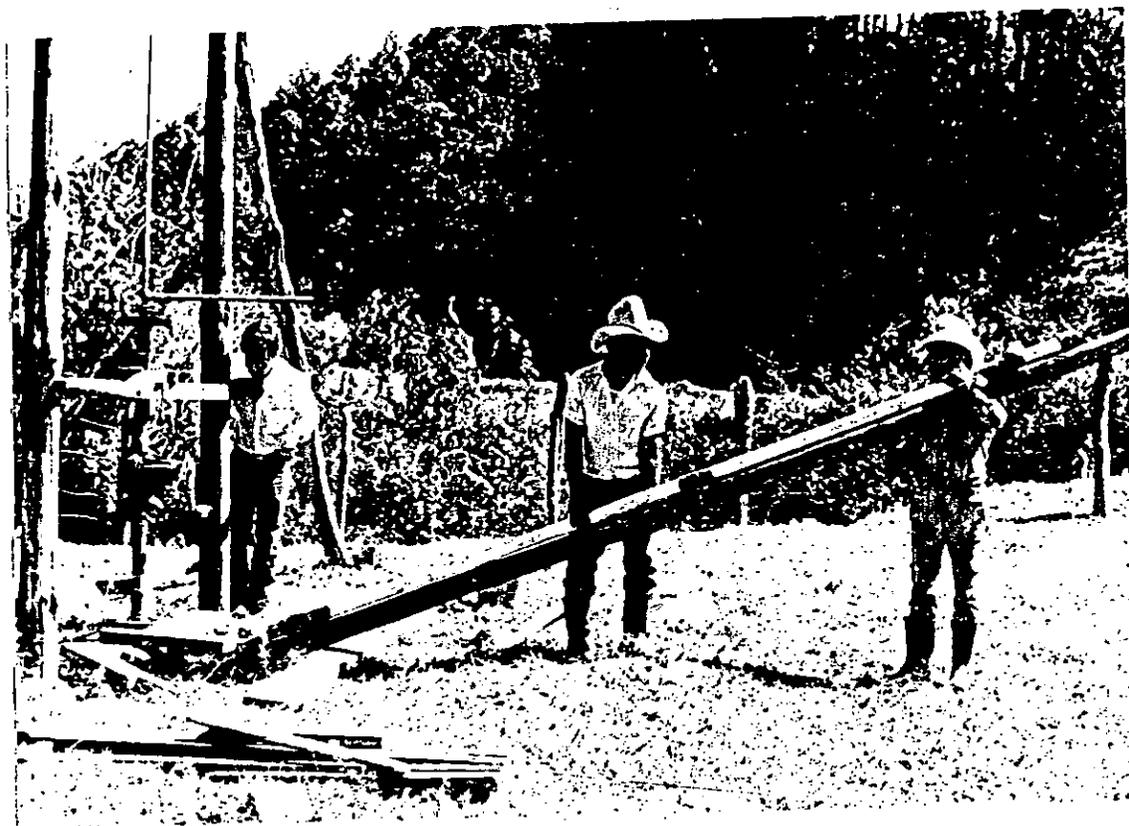
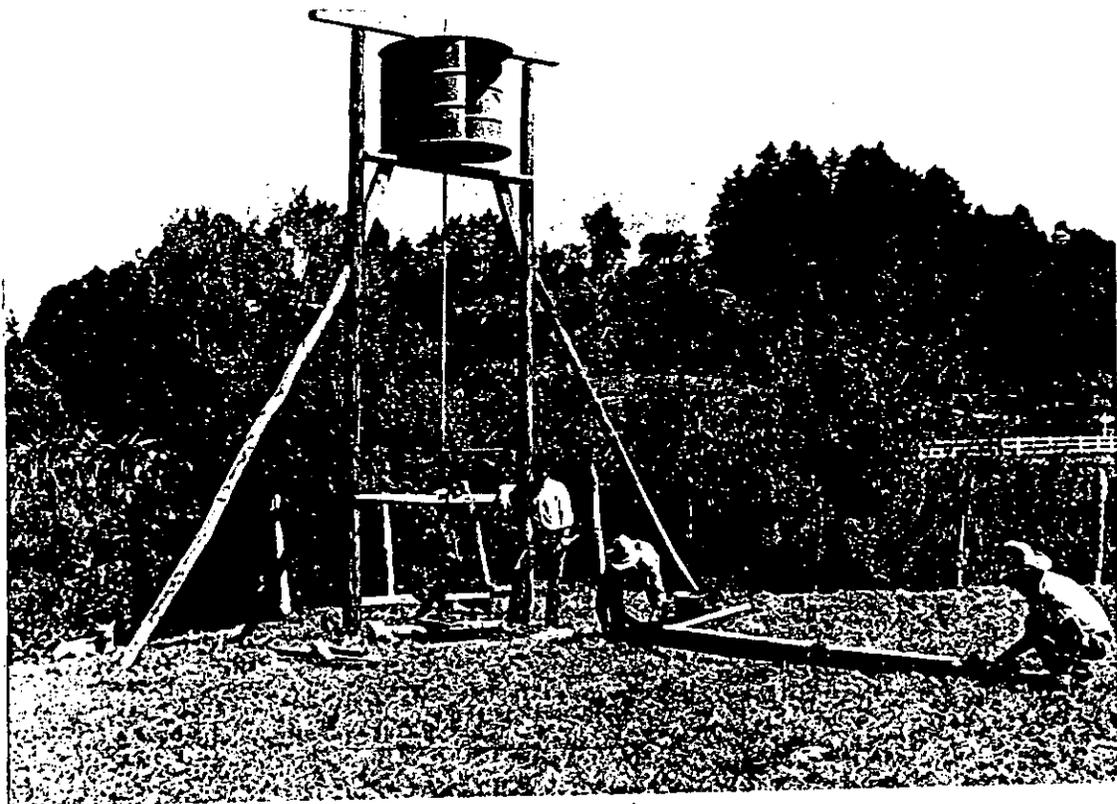
Eje de vehículo	catarina-piñon
Relación de engranajes	2:1
Movimiento de viéla	radio 0.15 metros

Torre			
Altura	del	nivel	del
suelo		5.50 metros	
Altura del nivel del			
pozo		9.50 metros	
Altura del rotor		4.25 metros	

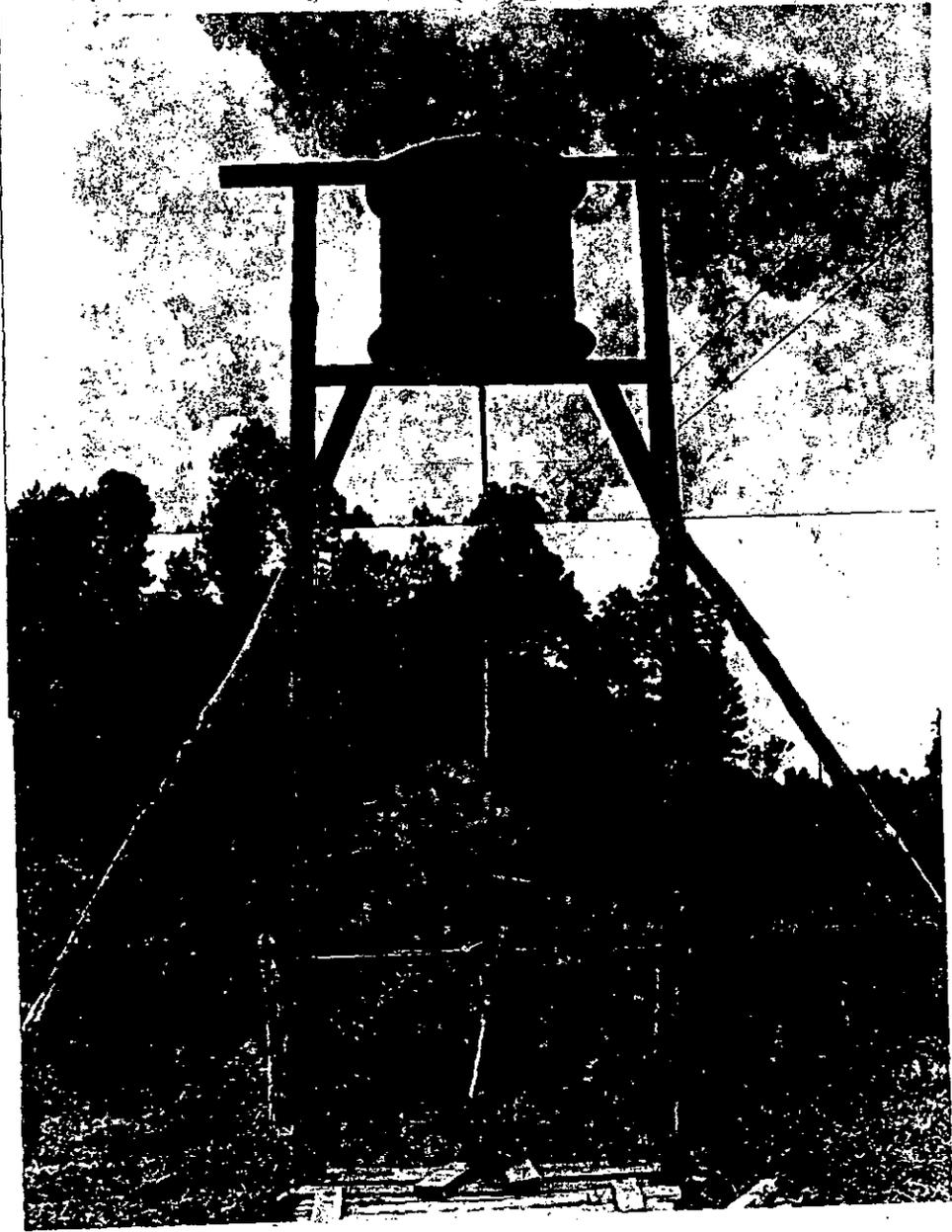
Estos materiales sirvieron de base estructural para la construcción del prototipo del molino de viento y la bomba de agua. A continuación se ilustran fotografías de la construcción y ya terminado puesto a funcionar en la Finca la Soledad.







PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL
BIBLIOTECA GENERAL





6.2 Análisis económico comparativo sobre bombeo

En este análisis se presenta la evaluación de los costos de bombeo en metros cúbicos, comparando el prototipo experimental con un aereomotor de uso tradicional en nuestro medio, asumiendo una duración de 5 años para ambos sistemas y brindándoles un mantenimiento efectivo con reviciones perennes y periódicas.

Prototipo experimental

Duración	5 años
Uso efectivo	5 meses por año
Vida útil	18,000 horas
Volumen desplazado	15,000 m ³
Costo original	Q 460.80

Mantenimiento

Materiales:

- Grasa 1 libra/año x 5 años x Q.5.00	Q. 25.00
- Aceite 1/2 litro/año x 5 años x Q.4.50	Q. 11.25
- Pintura 1/4 Gal/año x 5 años x Q 33.00	Q. 41.25
- Aceite quemado 1 Gal/año x 5 años x Q.0.95	Q. 4.75
	<u>Q. 82.25</u>

Mano de obra

- Jornales 8.31 j/añ x 5 años x Q.4.20	Q.174.51
- Prestaciones 25%	Q. 43.63
- Contribuciones 11.3%	Q. 19.72
	<u>Q.273.86</u>

Costo de operación = Q. 82.25 Q.273.86
 Total = Q.356.11

- Costo original Costo de operación
 Q.460.80 Q.356.11
 Costo total = Q.816.91

- Costo total/volumen desplazado
 - Q.816.91 / 15,000 m³ = Q.0.05

Aereomotor tradicional

Duración 5 años
 Uso efectivo 7 meses
 Vida útil 25,200 horas
 Volumen desplazado 18,000 m³
 Costo original Q.5,145.00

Mantenimiento

Materiales:

- Grasa 1 libra/año x 5 años x Q.5.00	Q. 25.00
- Aceite 1/2 lts/año x 5 años Q.4.50	Q. 11.25
- Pintura 1 Gal/año x 5 años x Q.33.00	<u>Q. 165.00</u>
	Q. 201.25

Mano de obra

- Jornales 15.19 j/años x 5 años x Q.4.20	Q. 318.99
- Prestaciones 25%	Q. 79.75
- Contribuciones 11.3%	<u>Q. 36.05</u>
	Q. 434.79

Costo de operación = Q.201.25 Q.434.79

Total = Q.636.04

- Costo original Costo de operación

Q.5,145.00 Q.636.04

Costo total = Q.5,781.04

- Costo total/volumen desplazado

- Q.5,781.04/18,000 m³ = Q.0.32

6.3 Resumen de costos comparativos

	Prototipo Experimental	Aereomotor Tradicional
Costo original	Q. 460.80	Q 5,145.00
Costo operación	Q. 356.11	Q 636.04
Costo total	Q. 816.91	Q 5,781.04
Costo m ³	Q. 0.05	Q. 0.32

VII CONCLUSIONES

1. El promedio de revoluciones por minuto del prototipo fue de 52.5 r.p.m., con una intensidad de viento promedio de 9.95 Km/Hr., lo que indica su aplicación efectiva en casi todo el territorio nacional.
2. Se obtuvo un caudal promedio de 0.0138 m³/minuto, alcanzando una eficiencia volumétrica de 43.5%, lo que demuestra su aplicación práctica y funcional.
3. Se logró una forma fácil, el desarrollo de una tecnología apropiada, aprovechando los recursos naturales energéticos y los recursos materiales de bajo costo.

VIII RECOMENDACIONES

1. Que se desarrollen planes de estudio sobre la energía eólica para la Facultad de agronomía donde pudieran evaluarse a nivel rural.
2. La investigación del uso de este prototipo experimental para la generación de energía eléctrica y para la molienda de granos.
3. La revisión periódica y mantenimiento, principalmente de las partes móviles, las cuales sufren desgaste por lo que de éste servicio dependerá el buen funcionamiento y su vida útil.
4. Estudiar la forma de incrementar la eficiencia del prototipo, para obtener así un ahorro mayor en los costos por metro cúbico bombeado.
5. Analizar los parámetros climatológicos que influyen en la intensidad de los vientos, pues de esto dependerá el tipo de estructura a utilizar.
6. Que la construcción de un prototipo de éstas características se lleve a cabo lo más alejado posible de obstáculos que impidan la eficiente captación de los vientos.

IX BIBLIOGRAFIA

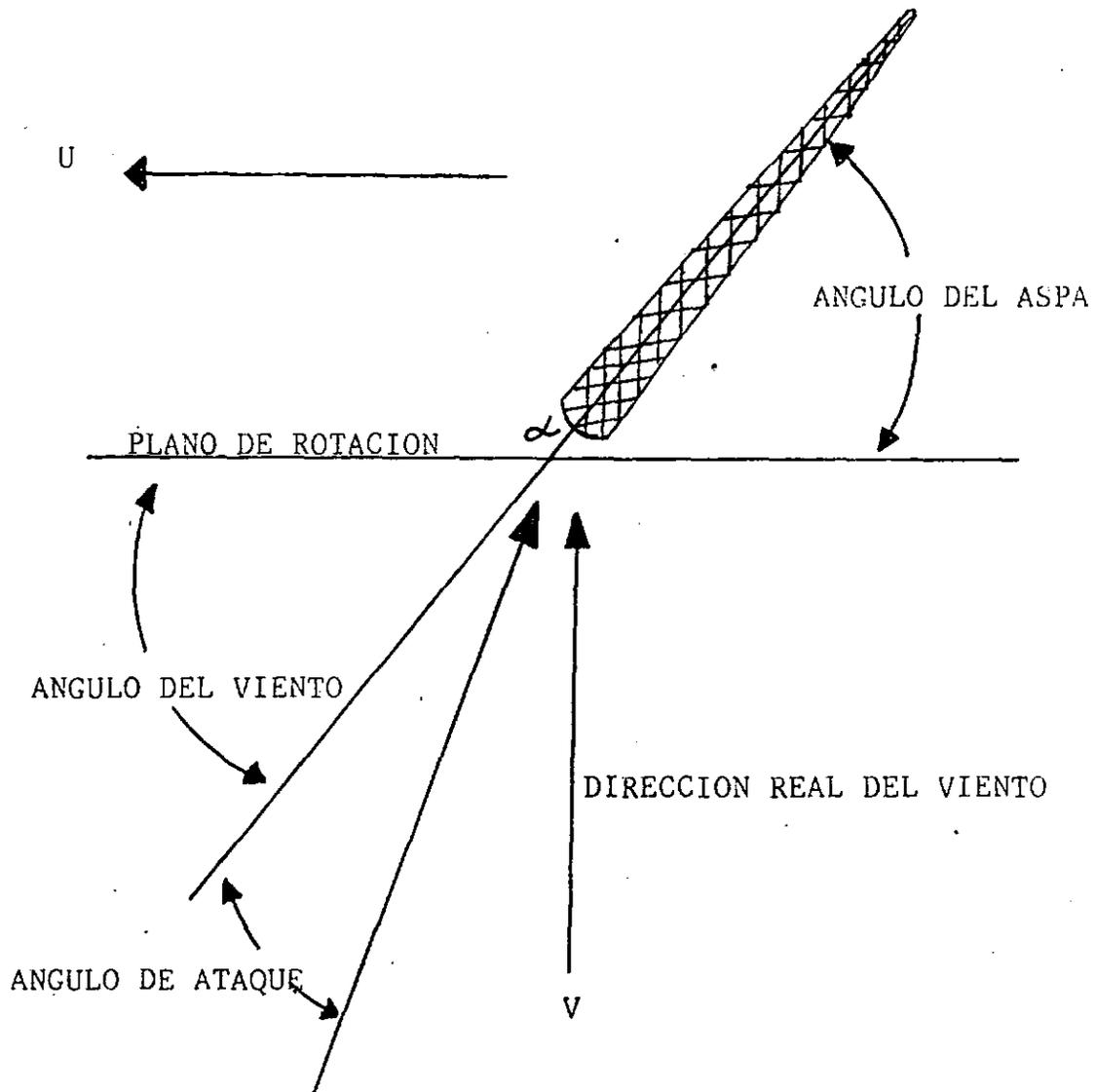
1. GOLDING, E. s.f. Wildmills for water lifting and the generation of electricity of the farm. Rome. FAO. Informal working bulletin. no. 17 . 60 p.
2. GUATEMALA. INSTITUTO DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1979-1986. Atlas climatológico de Guatemala. Guatemala, s.p.
3. HALACY, S. 1978. Tierra, agua, viento y sol nuestras alternativas. México, Nuevomar. 367 p.
4. MOTA VIDAURRE, A.B. 1982. La energía eólica y medios de su aprovechamiento. Tesis Ing. Mecánico Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería. 107 p.
5. McJUNKIN, F.E. 1977, Bombas de mano, para uso en abastecimiento de agua potable en países en desarrollo. Holanda. Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente. Documento Técnico no. 10. 234 p.
6. SHARP, D.; GRAHAM, M. 1984. Tecnología de bombas manuales investigación y evaluación en Asia. Ottawa, Wardrop & Associated Ltd. 72 p.
7. VIEJO, M. 1977. Bombas, teoría, diseño y aplicaciones. México, Limusa. 290 p.
8. WAGNER, E.; LANOIX, J. 1961. Abastecimiento de agua en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades. Ginebra, OMS. Serie de monografías no. 42. 366 p.
9. WILSON, W. 1950. Positive displacement pumps and fluid motors. New York, Pitman publishing. 250 p.

Vo. Bo.
Patruall



X

A P E N D I C E



V = VIENTO

U = ASPA

α = ANGULO DE SUSTENTACION CERO

FIGURA 1

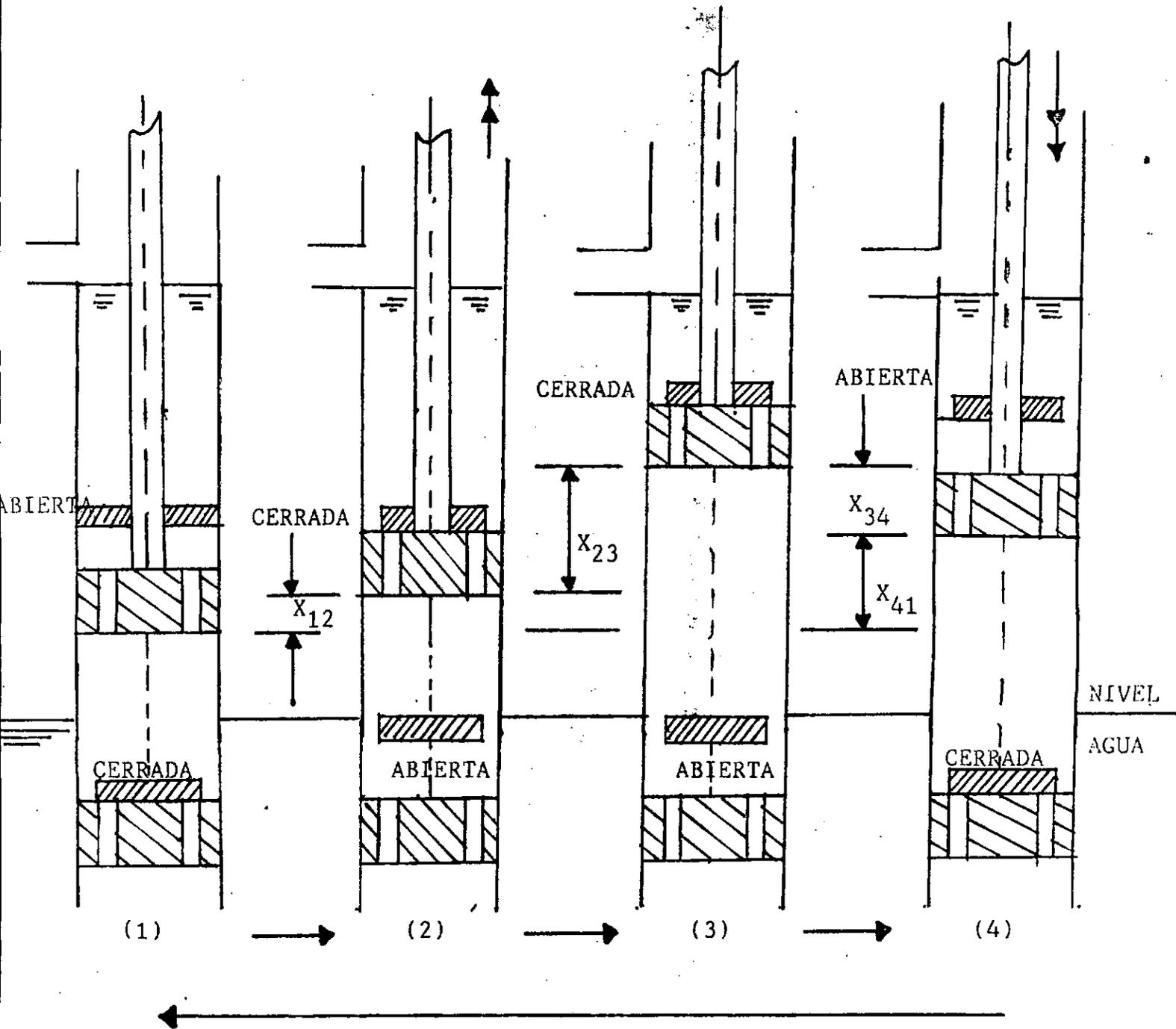


FIGURA 2. CICLO DE OPERACION DE LA BOMBA DE MOVIMIENTO RECIPROCO.

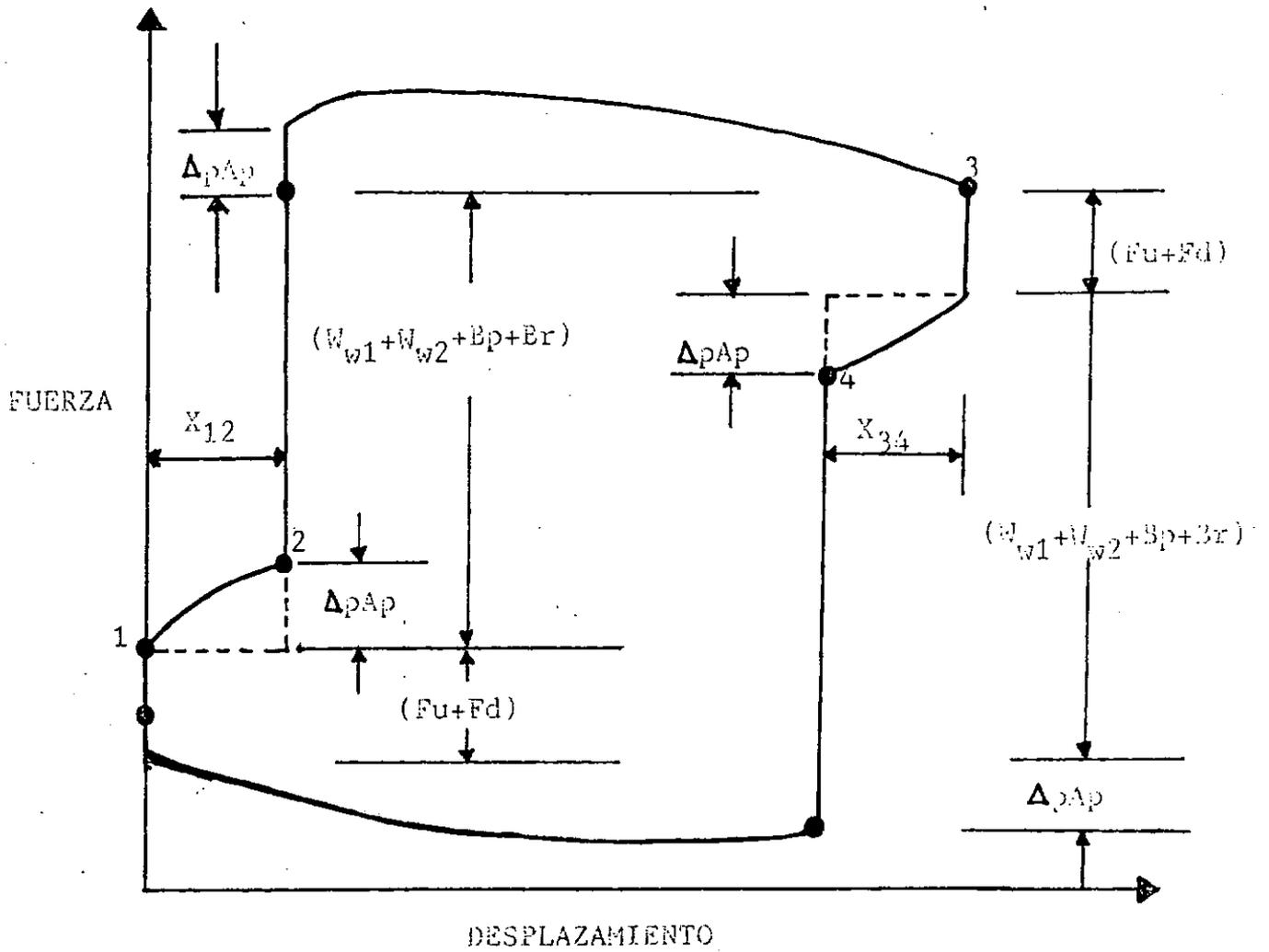


FIGURA 3. DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTO DE LA FUERZA.

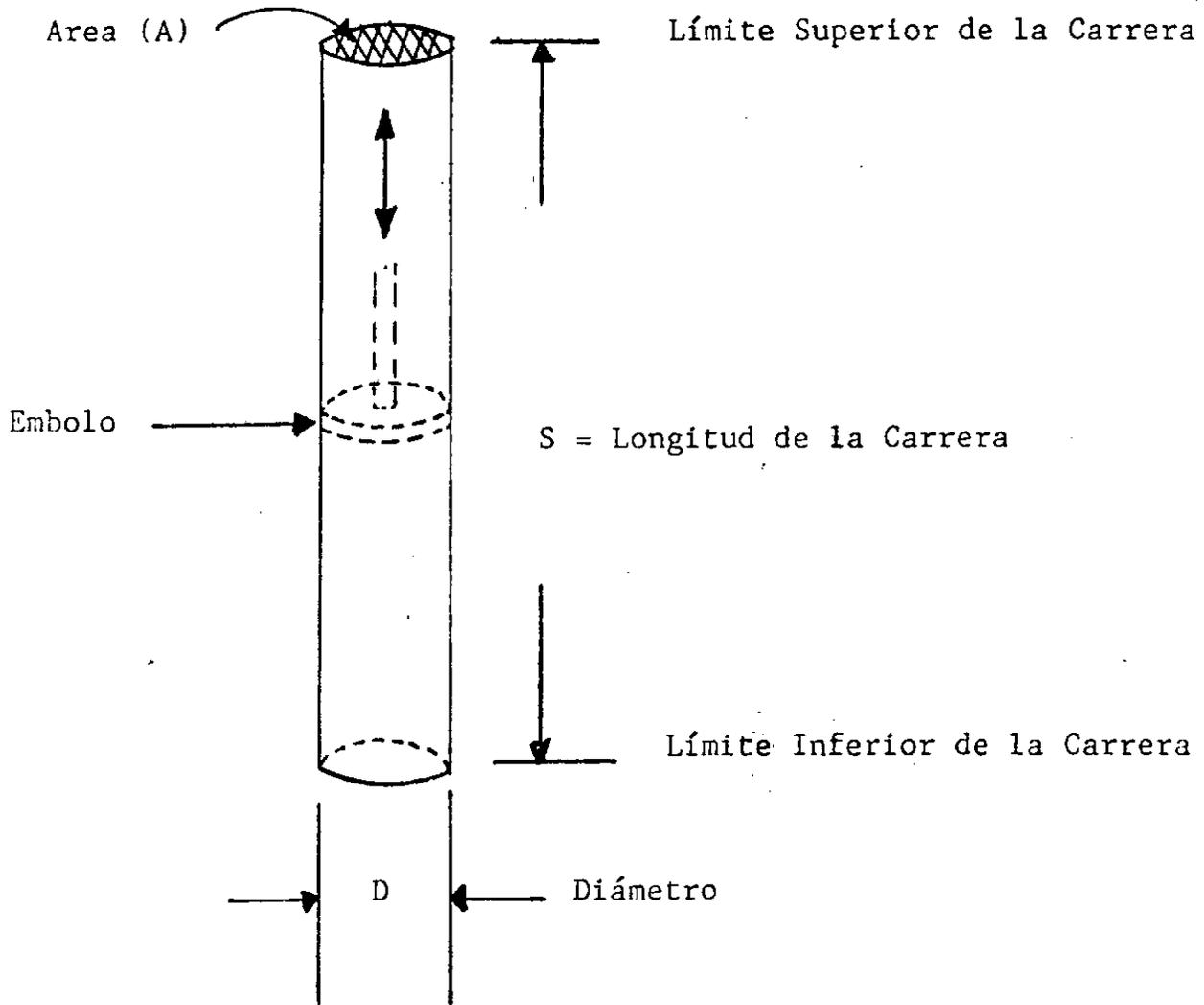
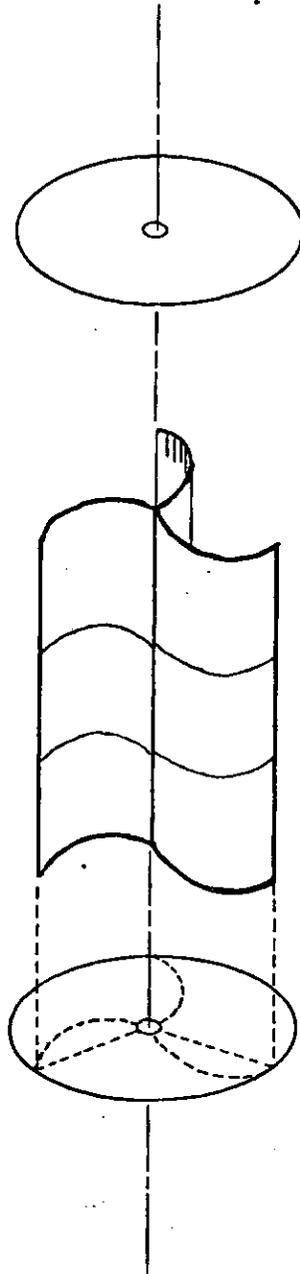


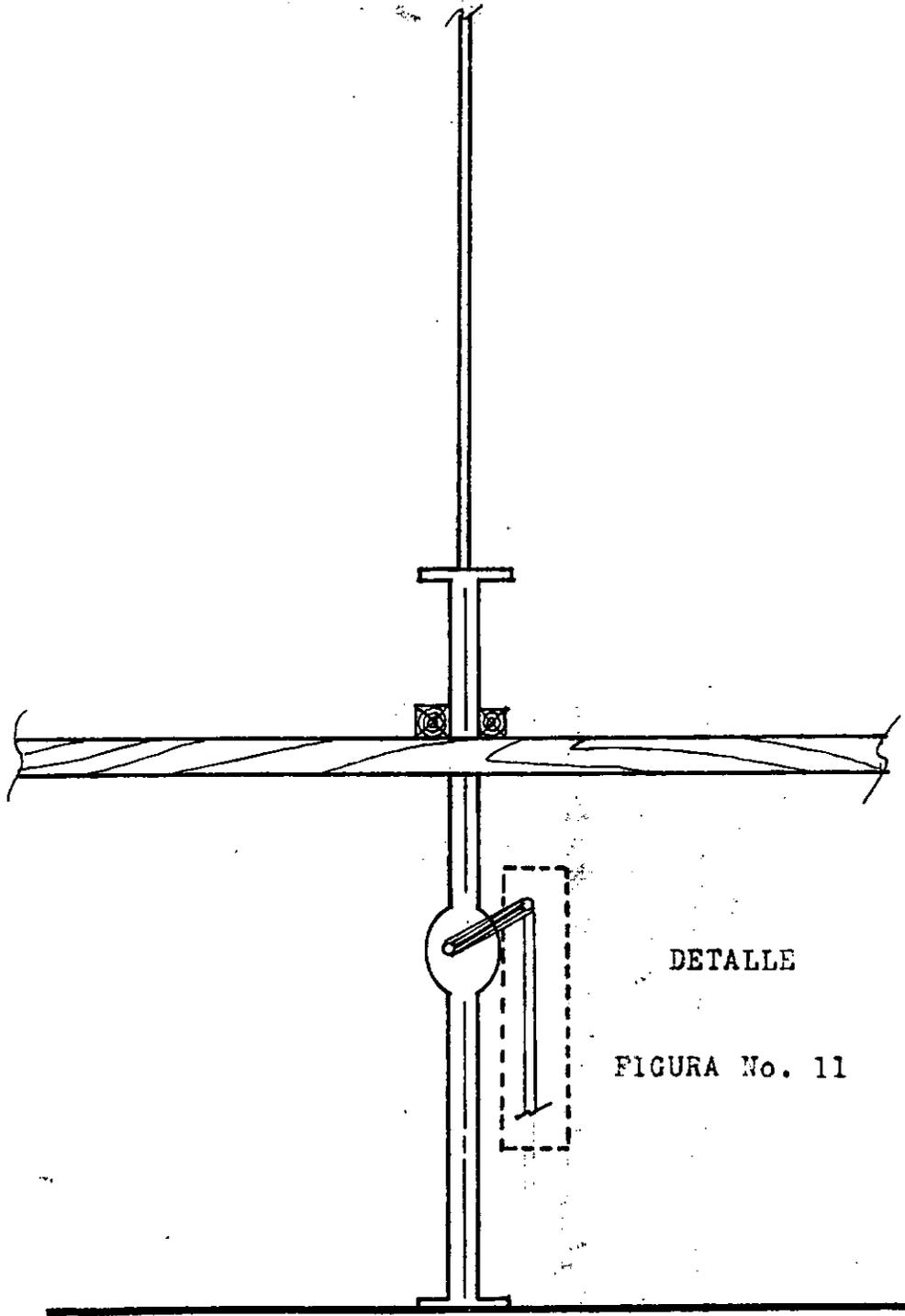
FIGURA 4. VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO DEL CILINDRO

FIGURA No. 5



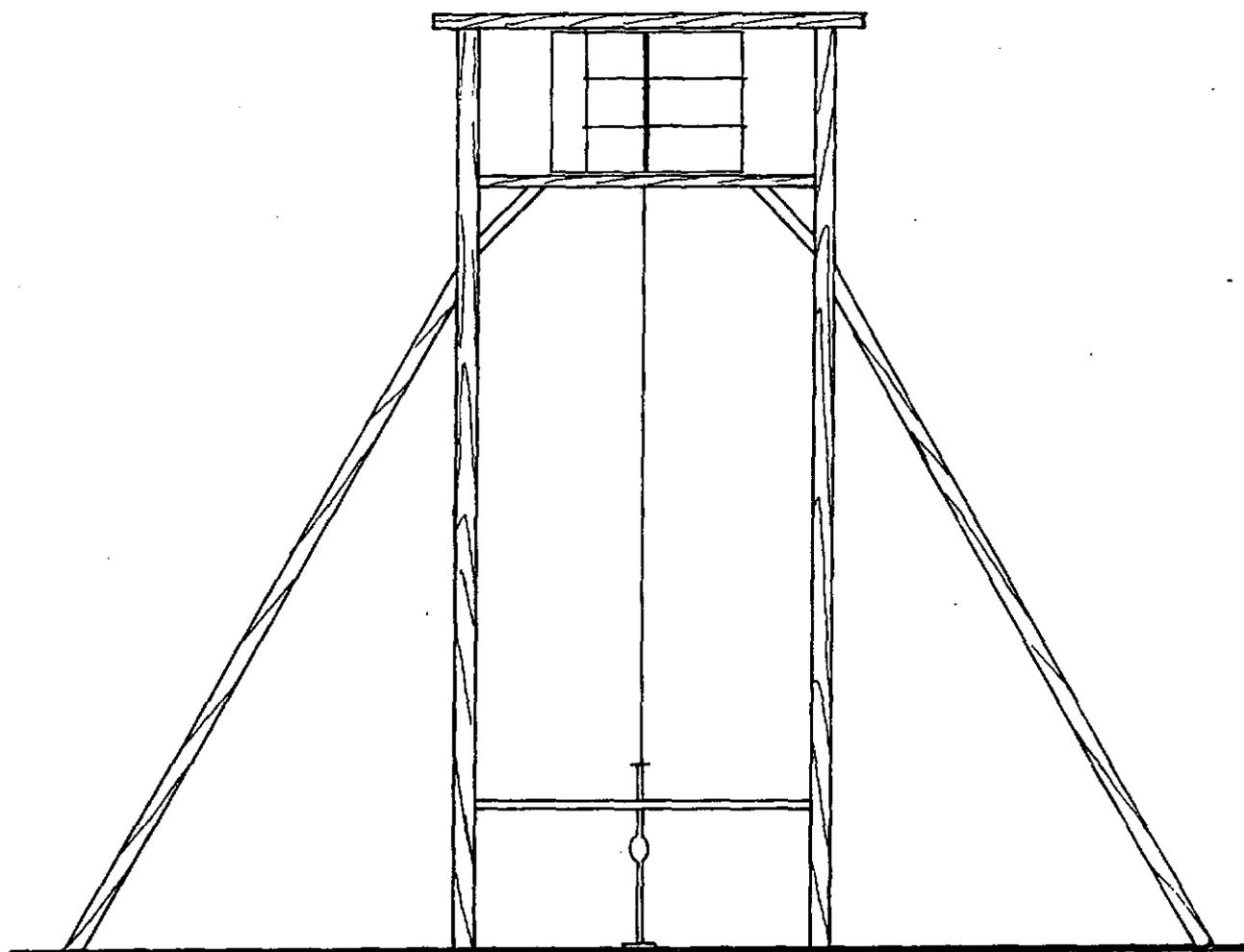
ASPAS
TRES MEDIOS TONELES DE 55 GAL.
DISPUESTOS EN ANGULO DE 120°

FIGURA No. 6



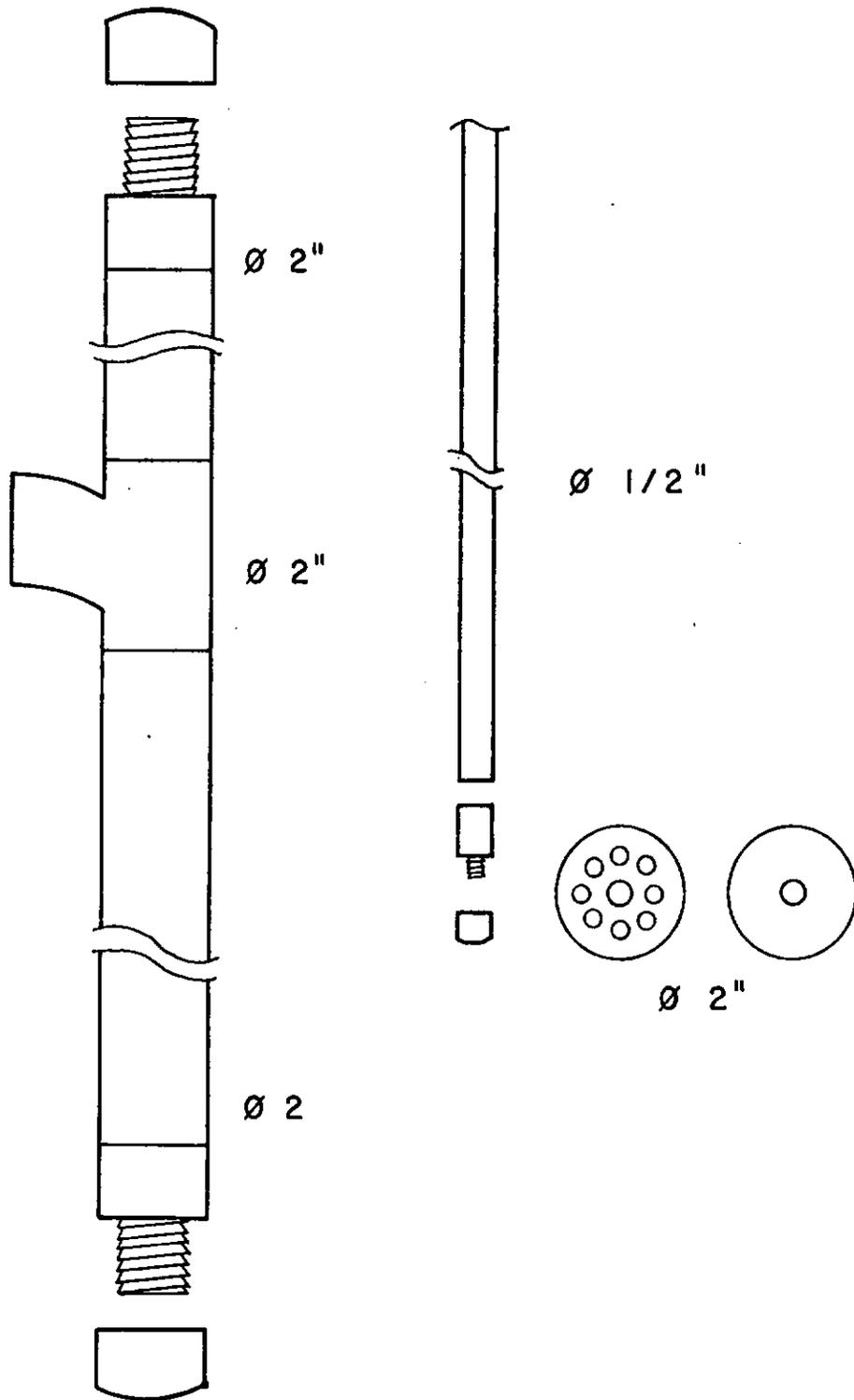
SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA

MOLINO DE VIENTO



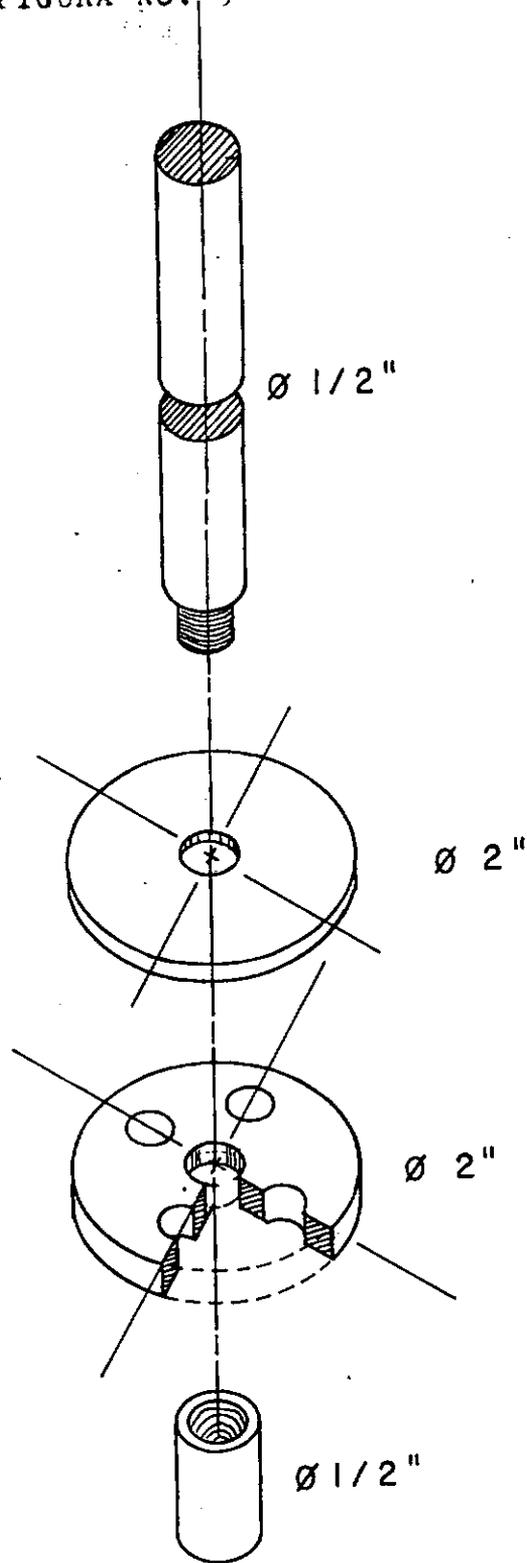
SISTEMA DE TRANSMISION MECANICA

FIGURA No. 8



SISTEMA DE LA BOMBA

FIGURA No. 9



SISTEMA DEL EJE
Y EMBOLO PISTON

FIGURA No. 10

SISTEMA DE VALVULA DE PIE

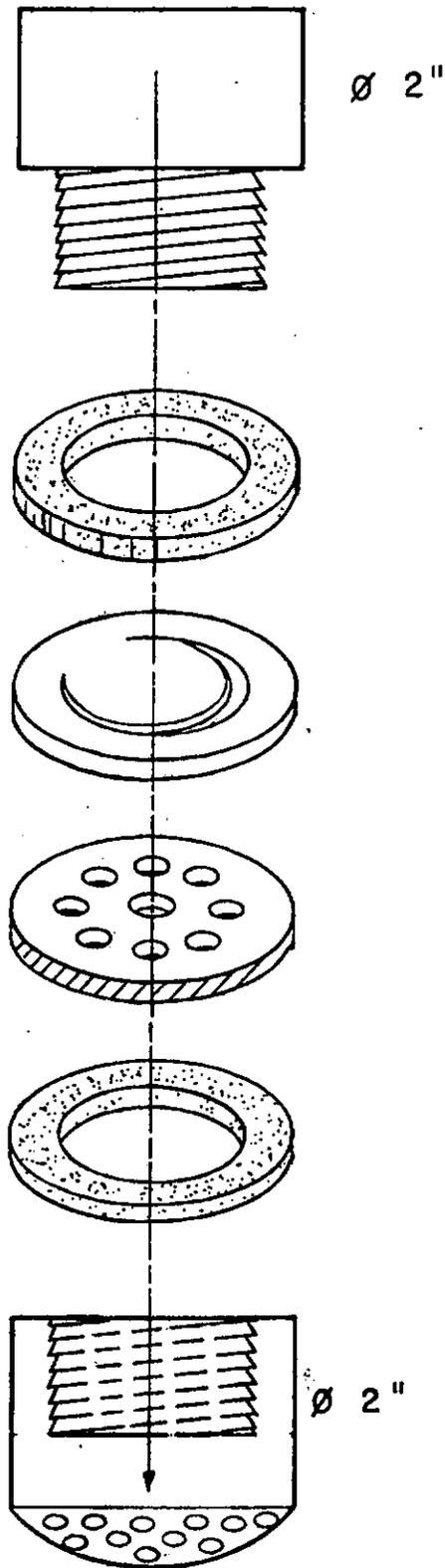
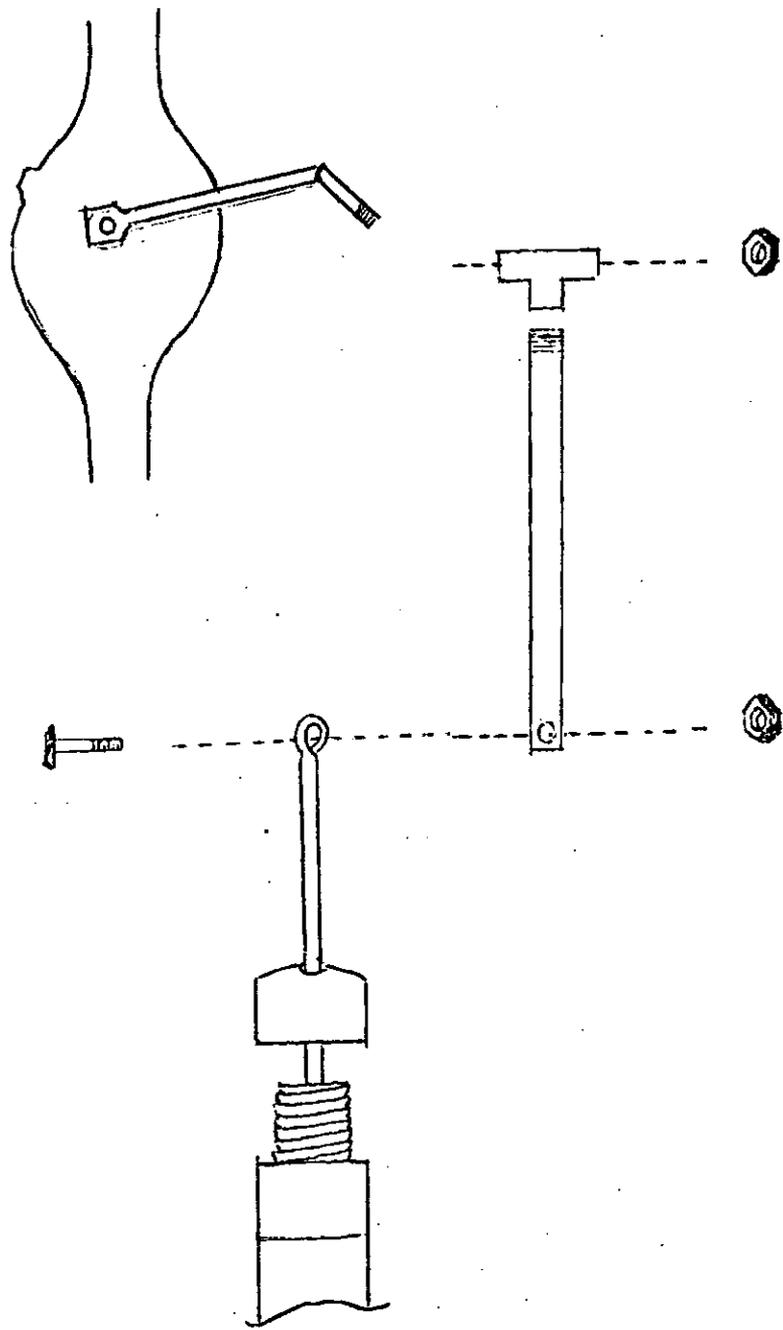


FIGURA No. II



SISTEMA DE BIELA

CUADRO 1

$$P = (KAV)^3 \quad (0.5926) \quad (5)$$

UNIDAD DE POTENCIA P	UNIDADE DE AREA A	UNIDAD DE VELOCIDAD V	VALOR DE K K
Kw	pies ²	Milla/Hora	0.0000053
Kw	pies ²	Nudo	0.0000081
Hp	pies ²	Milla/Hora	0.0000071
W	pies ²	Pies/Seg.	0.0016800
Kw	Mts. ²	Metros/Seg.	0.0006400
Kw	Mts. ²	KPH	0.0000137

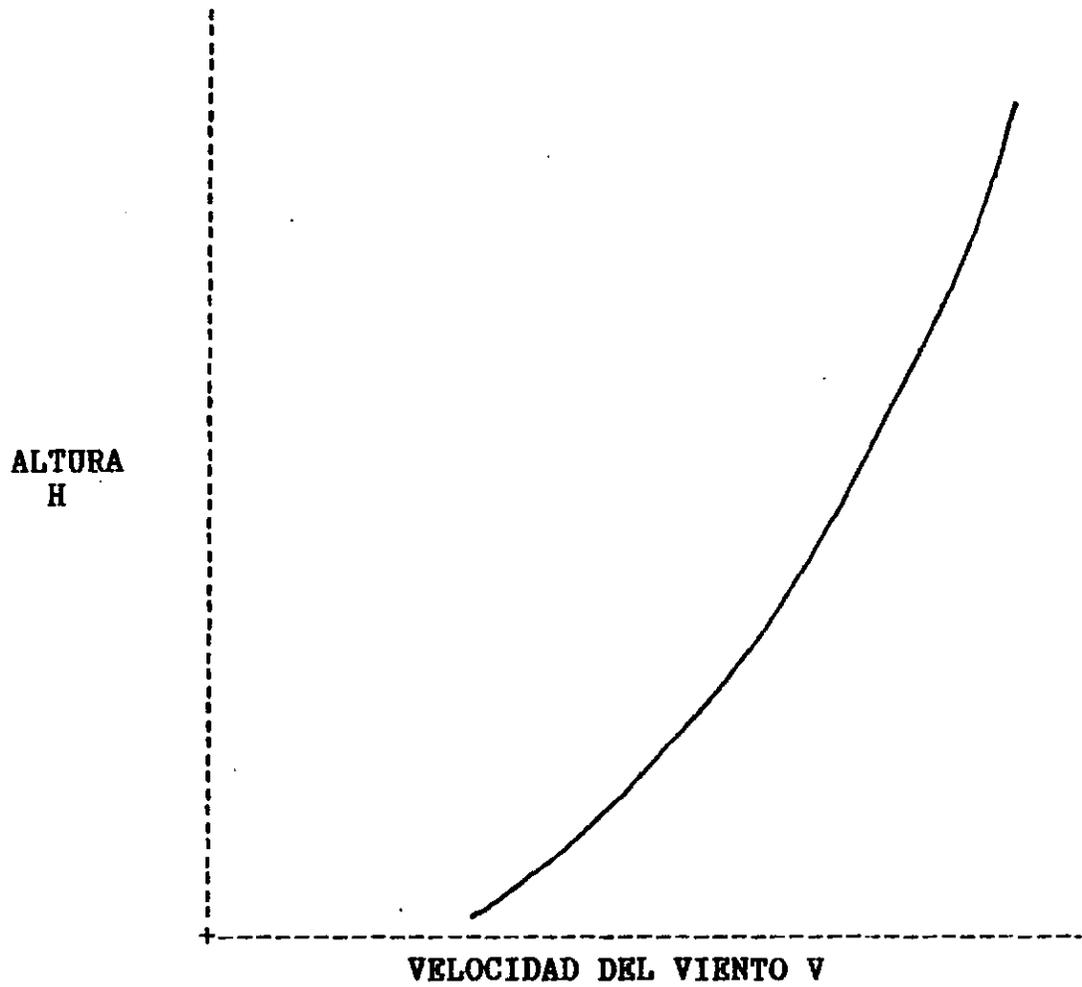
CUADRO 2

VELOCIDAD DEL VIENTO	CARGA = 50 PIES (15 metros)		
	DIAMETRO DEL ROTOR DEL MOLINO DE VIENTO		
Mph (Km/hr)	6 pies (2m)	8 pies (2.5m)	10 pies (3m)
5 (8.1)	0.4 (1.4)	0.7 (2.7)	1.0 (3.9)
7 (11.3)	1.0 (3.8)	1.8 (6.8)	2.8 (11.0)
10 (16.1)	3.0 (11.0)	5.2 (20.0)	8.2 (31.0)
12 (19.3)	5.0 (20.0)	8.8 (24.0)	14.0 (53.0)
14 (22.6)	7.9 (31.0)	14.0 (53.0)	22.0 (85.0)
16 (25.8)	12.0 (46.0)	21.0 (80.0)	33.0 (125.0)

La eficiencia del viento-agua asumida 20%.

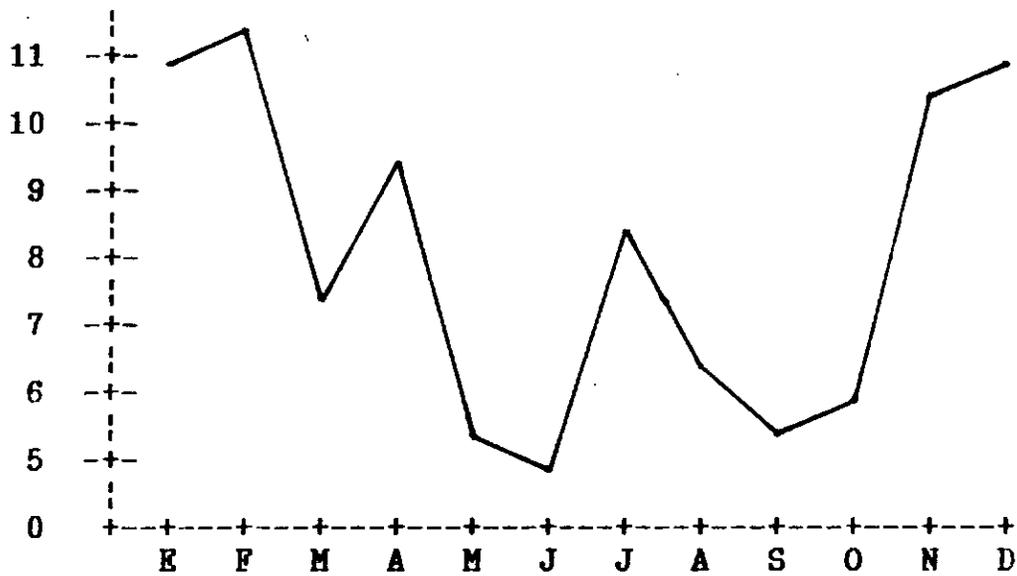
Las unidades métricas aparecen entre paréntesis.

CAUDAL DE BOMBEO DE MOLINOS DE VIENTO DESCARGA EN
GALONES EUA POR MINUTO (LITROS POR MINUTO)



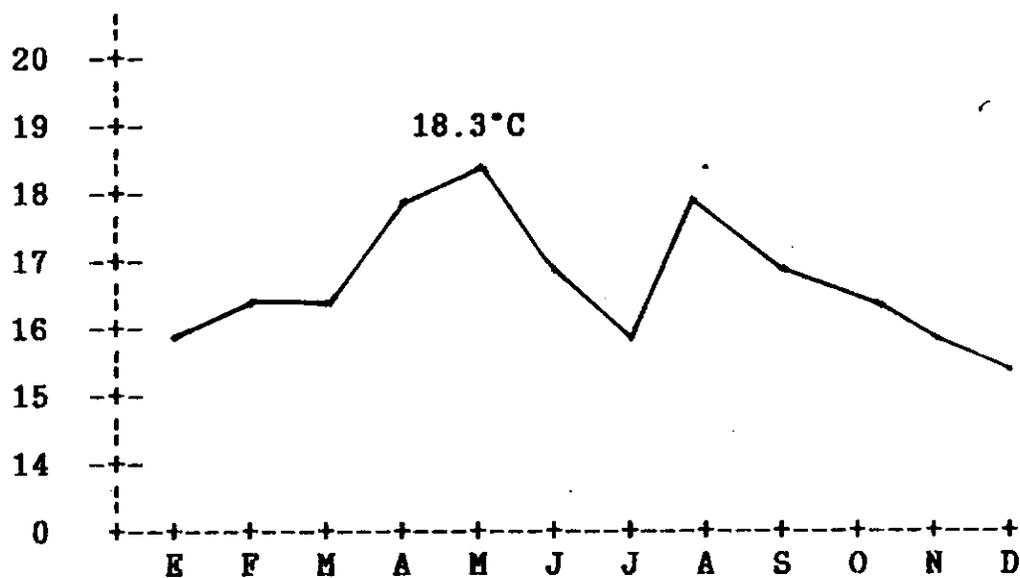
Gráfica No.1 Comportamiento de la velocidad del viento a una altura H

Fuente : Tesis de MOTA A. ING. MEC. IND. Guatemala USAC-Fac. Ingeniería, 1982.



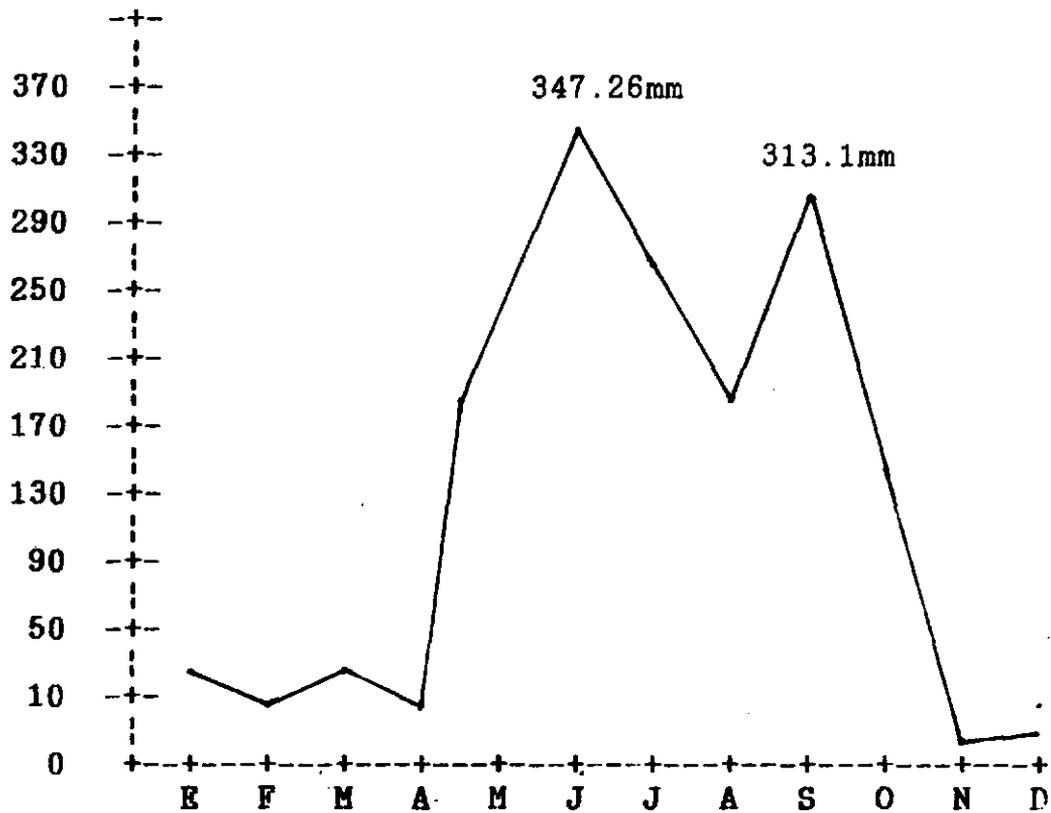
Gráfica No.2 Comportamiento de la intensidad eólica media anual para la Finca La Soledad.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, vulcanología
Meteorología e Hidrología INSIVUMEH
Tarjetas de control estación 6.9.3. 1960-1979



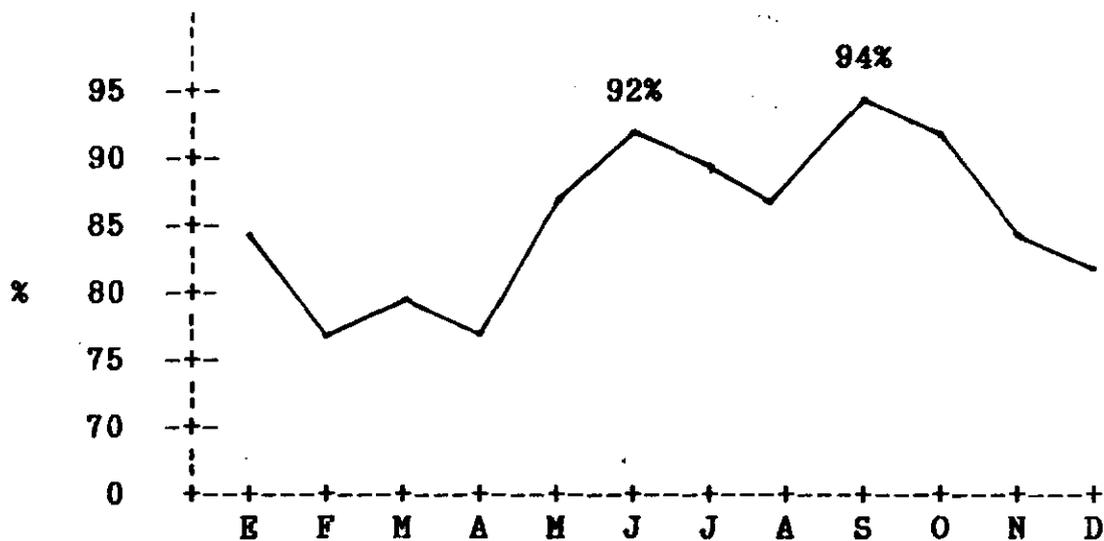
Gráfica No.3 Variaciones de temperaturas medias mensuales para el área de la Finca La Soledad.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. INSIVUMEH. Targetas da control de la estación 6.9.3. 1982



Gráfica No.4 Distribución de la Precipitación Pluvial media anual para La Finca La Soledad.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, meteorología e Hidrología. INSIVUMEH.
Targetas de control estación 6.9.3. 1980-1985.



Gráfica No.5 Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual para la Finca La Soledad.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. INSIVUMEH. Targetas de control estación 6.9.3. 1980-1985.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Campus Universitario, Zona 12.

Código Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto 29 de junio de 1988

"IMPRIMASE"



ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.
D E C A N O

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central