



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica



"CALCULO DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO
DE VIENTO EXPERIMENTAL DE HASTA 0.25 HP"

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

Flavio Edmundo Ramos Yagual

Guayaquil - Ecuador

1989

AGRADECIMIENTO

Al Ing. HARCO PAZMIRO, por su
desinteresada ayuda para la
elaboración de éste Tópico.

A mis Profesores.

DEDICATORIA

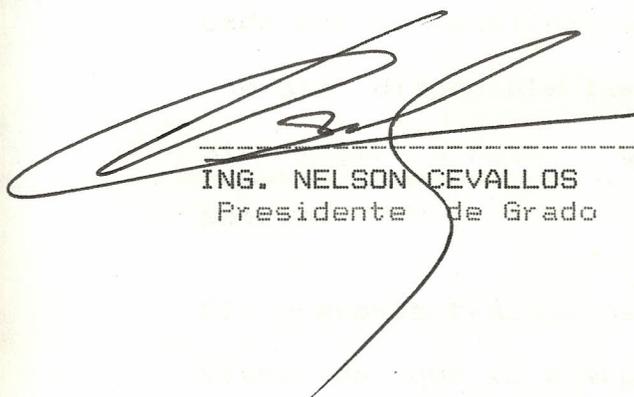
A mis Padres y Hermanos.

A mis tíos Gustavo y Piedad.

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas
expos~~t~~tos en éste PROYECTO DE GRADO, corresponden
exclusivamente a su autor y el patrimonio intelectual es
la Escuela Superior Politecnica del Litoral .

(Reglamento de Topico de Graduación)

Flavio Edmundo Ramos Yagual



ING. NELSON CEVALLOS
Presidente de Grado



ING. MARCO PAZMINO
Director de Tópico



ING. JORGE DUQUE
Miembro del Tribunal



ING. FRANCISCO ANDRADE
Miembro del Tribunal

R E S U M E N

Es por todos conocido el problema energético nacional y mundial, como así también el potencial eólico que existe en nuestro país como en los demás. Cada acción tendiente a posibilitar el empleo de esa energía disponible limpia y renovable, redituará, sin lugar a dudas, grandes beneficios a nuestra patria.

El presente trabajo ha acogido esta inquietud y en vista de que la energía eólica ha sido una de las pocas formas de energía renovable cuyo uso ha demostrado ser práctico y económico, de que desde mucho tiempo se ha dispuesto de tecnologías de aprovechamiento de la energía eólica; a saber, molinos de viento para generar potencias mecánicas y embarcaciones de vela para el transporte marino, y de que un aprovechamiento más generalizado de estos recursos, sobre la base de adelantos tecnológicos y de modificaciones para la satisfacción de las necesidades futuras de energía.

Este documento es un resumen de los aspectos principales realizados por el autor durante la investigación, preparación y construcción de la máquina eólica.

I N D I C E G E N E R A L

	Pág.
Resumen	VI
Indice General	VII
Indice de Figuras	IX
Introducción	XII
CAPITULO I	
Generalidades	13
CAPITULO II	
Disponibilidad de Energía Eólica	15
CAPITULO III	
Tipos de Vientos por Regiones	17
Clasificación de los vientos locales	17
El Viento	18
Tipos de vientos en las regiones del Ecuador.	20
CAPITULO IV	
Velocidad del viento en el sitio de prueba...	23
Dirección prevalente del viento	25
Tipos de Molino de viento	26
Molino de viento Arusha	27
Molino de Rotor axial horizontal	28
Molino de viento Sahores	29
Molino de viento Batalla	31
Molino de viento Creta	32

CAPITULO V

Ingenieria en Diseño de Molinos de viento	33
Consideraciones en el Diseño de Molinos de viento	34
Diseño del Molino de Viento experimental	34

CAPITULO VI

Construcción del Molino de viento	44
Construcción del Sistema Biela - Manivela para calcular el torque y la potencia	55
Montaje del Molino	58

CAPITULO VII

Toma de Datos experimentales en el sitio de prueba	64
Análisis de Datos y cálculo de potencia	68

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS

	Pag
Generación de Vientos Tierra y Océano.....	20
Molino de Viento Arusha	28
Molino Halladay	29
Partes del Socrensen	29
Molino de Viento Sahores	30
Molino de Viento Batalla	31
Molino de Viento Creta	32
Aspas	41
Soporte Superior Giratorio	42
Engranajes Cónicos	43
Foto de una aspa cortada	44
Dobléz del aspa	45
Soldadura de aspas	46
Parte de las aspas soldadas	47
Totalidad de las aspas soldadas	48
Foto del refuerzo	49
Construcción del Barlovento	50
Barlovento con su brazo	50
Proceso de Construcción del Castillo	51
Soporte Giratorio soldado al Castillo	52
Piñones Cónicos Maquinados	53
Sistema Montado	54
Sistema Biela - Manivela	56
Sistema de Apoyo y Transmisión	57

Montaje de la Parte Superior	59
Montaje Superior Completo	60
Manzana del Rotor	60
Foto Posterior del Molino Funcionando	61
Foto Lateral del Molino	61
Vista Posterior del Molino	62
Vista Inferior del Molino	63

I N D I C E D E T A B L A S

Velocidades Promedio del Viento en el año 1980	24
Velocidades Promedio Anuales del Viento en el sitio de Prueba	25
Dirección Prevalente del Viento	26
Datos Tomados a condiciones standar entre las 13 y 18 horas	66
Datos tomados a condiciones standar entre las 19 y 23 horas	67
Datos de Potencia obtenidos entre las 13' y 18 horas	70
Datos de Potencia obtenidos entre las 19 y 23 horas	71

I N T R O D U C C I O N

Desde mucho antes el hombre conoce la energía de los vientos es conocido que el viento es una masa de aire que se mueve, por lo que la energía eólica no es más que energía cinética. No se crea que la energía eólica representa un factor despreciable en el marco general aprovechable.

El aire posee un peso, y es más, tiene un peso muy considerable; un litro de aire tomado al nivel del mar pesa aproximadamente 1.2930 gr., con este dato y mediante un cálculo sencillo podemos determinar que el peso de un km.cúbico de aire superior a un millón de toneladas, no podemos ni imaginar el número de motores que podrían desarrollar el trabajo que se realizaría con una ligera brisa.

La energía desarrollada por el viento es muy considerable, ya lo hemos dicho, pero su grado de aprovechamiento técnico es muy bajo. Las variaciones de dirección e intensidad que experimenta el viento, reducen considerablemente sus posibilidades de utilización, sin embargo, durante muchos siglos, fue casi la única energía no muscular que se supo aprovechar mecánicamente para la propulsión de embarcaciones que hasta entonces habían funcionado exclusivamente a base de remos y posteriormente con los molinos de viento mediante velas

muy semejantes a las utilizadas en las naves, su aprovechamiento se conseguía logrando que la masa del aire empuje el elemento que ha de arrastrar la vela y mover el elemento mecánico.

El viento es una fuerza primitiva, que frenarlo, dominarlo, resultaría aún más difícil que dominar el agua, la formación de estos vientos se debe a la intensidad de la radiación solar que es variable sobre la tierra, existiendo diferencias de temperaturas que determinan el aire frío y caliente de las diferentes regiones.

Esto es significativo a la ingeniería de los vientos por que la velocidad y la temperatura son factores primordiales en la utilización de la energía eólica, debido a que la velocidad crece constantemente con la altura, por lo que podemos decir que los vientos son una energía solar natural almacenada en el sistema.

Teniendo el viento una determinada velocidad lo primero que pensamos es que tiene cierta cantidad de energía cinética, la cual se puede aprovechar para que nos realice algún trabajo según la utilidad que le pensemos dar a dicha energía aprovechada.

CAPITULO I

1.1. GENERALIDADES

El uso del viento como una fuente de energía ha pasado a ser un concepto muy atractivo. En éstos días cuando las fuentes de poder ya no son consideradas inagotables no solamente en éste país sino en todo el mundo, está creando serios problemas en la economía; la posibilidad de la potencia natural creada por la fuerza del viento, ha despertado más interés que en épocas pasadas.

En los Países Bajos, en Dinamarca, e inclusive en América particularmente en el lado este, los molinos de viento prevalecieron hace siglos , y fueron obviamente satisfactorios para los propósitos tales como el bombeo y la molienda de cereales por tales motivos se los considera tradicionales, en años más recientes éstos cayeron en desuso por el avance tecnológico de los países.

Si bien es cierto la forma tradicional del uso de la energía eólica se fundamento principalmente en el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica como una forma de conversión de energía, de igual forma en el presente trabajo se va a utilizar la misma energía eólica para la

producción de energía mecánica, expresado por el
trabajo entregado a un eje.

CAPITULO II

2.1. DISPONIBILIDAD DE ENERGIA EOLICA

Para poderse evaluar la disponibilidad de energía eólica se debe hacer un análisis del tipo de viento por regiones o divisiones necesarias donde se vaya a utilizar el viento, así también las velocidades del mismo, las direcciones prevalentes, para así determinar la cantidad de energía eólica aprovechable en el medio.

También se debe realizar una pequeña introducción al estudio de la cantidad de energía aprovechable, en el mundo, para que de ésta manera darnos cuenta si el estudio de la energía eólica y su aprovechamiento es importante para proseguir en la investigación; pero gracias a que existen estudios ya realizados por importantes institutos, tales como la NASA en los Estados Unidos, hemos obviado el mismo.

Así, pues el viento es una de las fuentes de energía más antiguas y más usadas. Aún cuando su empleo se remonta a muchos siglos, no ha sido un factor dominante en el consumo de energía para el desarrollo de los países en los últimos 50 años, debido a la abundancia de los combustibles orgánicos. En los años recientes, en que se está

realizando un suministro limitado de éstos, ha surgido la necesidad de desarrollar la energía del viento con moderna tecnología a gran escala. En consecuencia en los últimos años ha habido grandes esfuerzos para aprovechar la potencia del viento. De esto que acabamos de mencionar, pueden dar buena cuenta nuestros cholos ancestros de la costa y su historia, ya que por la zona de Posorja en donde debido a la falta de energía eléctrica y por ende en ese entonces energía mecánica producida por otras fuentes que no eran las tradicionales del hombre o la mula, utilizaban los molinos de viento para extraer agua de profundos pozos, de ello aún quedan vestigios si al viajar por esa vía, ponemos mucha atención se podrán observar estos restos oscilantes de los que fueron fuentes de generación de energía.

CAPITULO III

3.1. TIPOS DE VIENTOS POR REGIONES

Para realizar un análisis regional de nuestro país, debemos partir de su localización geográfica, estando el Ecuador localizado en Sudamérica y siendo éste atravesado por la línea ecuatorial, la que se encuentra en la zona tórrida y a 78 grados oeste, así también demarcada por los paralelos 81 grados 1 minuto al oeste y 71 grados 50 minutos al este y los meridianos 1 grado 51 minutos al norte y 5 grados 1 minuto al sur. Es así como los rayos solares inciden prácticamente en forma perpendicular sobre el territorio, y teniendo éste 3 cadenas montañosas, las cuales los cruzan de norte a sur, tiene una variada gama de climas, los cuales actúan directamente sobre la magnitud y tipo de viento en las distintas regiones. Para esto haremos un análisis sobre tipo de viento y direcciones prevalentes para las poblaciones con mayor posibilidad de obtención de energía eólica y situaremos el sitio más prometedor.

3.2. CLASIFICACION DE LOS VIENTOS LOCALES

En el sistema de designación de los vientos a más de la velocidad y dirección que se le da al viento,

algunos de éstos se los designan con nombres específicos por diferentes causas o razones. Unos porque su desarrollo proviene por la diferencia del calentamiento terrestre y el mar, otros tienen sus causas por el calentamiento y enfriamiento de las laderas de montaña, y un tercer grupo por la deformación que sufren las corrientes de aire al cruzar las cordilleras.

3.3. EL VIENTO

Los vientos se producen debido al ascenso del aire caliente de las partes bajas de las zonas tórridas y el vacío dejado es ocupado por el aire frío que se encuentra en las partes altas, lo cual ocurre por la diferencia de densidades, éste fenómeno da lugar al apareamiento de los vientos. En consecuencia, los vientos se producen también debido a que de los polos se dirige el aire hacia las zonas templadas tórridas y al chocar con aire caliente se producen grandes movimientos de éstos, es decir grandes vientos, los cuales se desplazan por distintas direcciones.

Así tenemos que los vientos regulares son aquellos que corren en forma permanente, siguiendo una dirección determinada mientras que los variables son aquellos que constantemente varían de dirección que

siguen, debido a la influencia de ciertos fenómenos atmosféricos, también tenemos los ocasionales o periódicos, se los denominan así porque se presentan ocasionalmente o en cierto período determinado, los vientos Alisios, son los que soplan de los polos y se dirigen a la línea Ecuatorial siguiendo una trayectoria de Noroeste y Suroeste, del polo Norte y Sur respectivamente, los vientos Contralisios son los que corren desde la Zona Tórrida que se encuentran más cerca de la línea ecuatorial hacia los polos, es decir siguiendo una dirección contraria a los Alisios.

Los vientos de Drenaje son los que se originan durante la estación fría, acumulando grandes cantidades de aire frío sobre los altiplanos y zonas montañosas, éste aire tiende a fluir por las laderas acumulándose en los valles y planicies y llegando hasta la costa como una brisa moderada y débil; sin embargo, cuando se aproxima a través de las grietas de las montañas, valles y cañones, el aire frío es acelerado y llegará como una cascada de aire frío con vientos fuertes, normalmente la diferencia de temperatura entre la costa y el interior será tan grande que el aire llegará a la costa como una corriente fría, los cuales son particularmente fuertes y algunas veces destructivos.

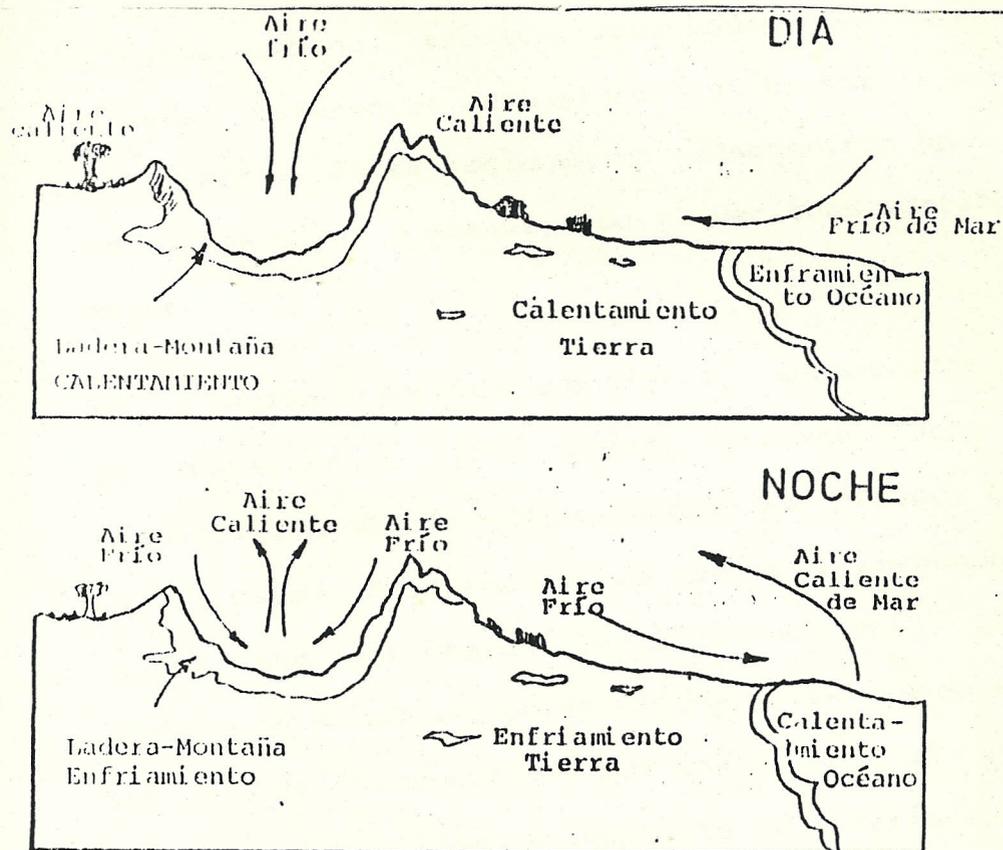


Fig.3.1.- Generación de Vientos Tierra y Océano.

3.4. TIPOS DE VIENTOS EN LAS REGIONES DEL ECUADOR

El Ecuador geográficamente se encuentra dividido en cuatro regiones:

- Región Litoral o Costa
- Región Interandina o Sierra
- Región Oriental o Amazónica
- Región Insular o Archipiélago de Galápagos

En la región del litoral o costa tenemos una variedad de climas, todos con sus diferentes temperaturas máximas y mínimas, de clima seco,

tropical sabana, tropical semihúmeda, que hacen que existan diferentes intensidades de brisas de aire y de tierra. Estas regiones se caracterizan por ser bastantes bajas y planas, con elevaciones montañosas pequeñas.

En la región interandina o sierra, encontramos que se caracteriza por poseer climas de tipo Mesopotámico húmedo - Mesopotámico semihúmedo, clima seco, clima frío andino los cuales corresponden a suelos que sobrepasan los 2.500 metros y llegan hasta los 4.700 metros de altura y se caracterizan por poseer temperaturas que van de los 15 grados centígrados y llegan a temperaturas inferiores a 10 grados centígrados, también la región se caracteriza por fuertes regímenes de lluvias, y por su naturaleza tenemos los vientos de drenaje, de montaña y valle.

En la región oriental o amazónica, se caracteriza por poseer un clima tropical húmedo, vegetación abundante y poseer pequeñas elevaciones, las cuales son poco pronunciadas, y teniendo zonas en que la intensidad de viento es casi nula.

En la región insular o archipiélago de Galápagos, se caracteriza por poseer un clima bastante seco en sus costas, y también posee un clima de páramo en su

región central, en donde predominan las brisas de mar y tierra, teniendo una velocidad de viento bastante baja lo cual, no nos permite el aprovechamiento de la energía eólica en esta región del país.

CAPITULO IV

4.1. VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL SITIO DE PRUEBA

Para poder determinar ésta velocidad, se debe tomar en cuenta datos inéditos de varios años atrás debido a que se necesita tener un dato de confiabilidad de viento para predecir el comportamiento del molino, sin experimentar cambios sobre la marcha, que podría resultar, no deseables para el propósito que nos hemos trazado.

Debido a esto se toman en cuenta datos proporcionados por el laboratorio meteorológico de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, que se han venido registrando desde el año 1980 hasta el año 1988, y de los cuales se toman promedios mensuales.

Para tal propósito se han escogido horas determinadas de toma de datos; tales horas se consideran las de mayor velocidad registradas en el anemómetro, de ahí que ésta toma promedio se la realiza a las 07, 13, 19, 24 horas y se las mide en metros/segundos.

En la figura 4.1 se registran las tomas promedios de las velocidades de viento detalladas a las horas señaladas

Año: 1980		Velocidad del Viento(m/s.)			
Meses	horas==>	07	13	19	24
ENERO		1.5	3.8	4.8	3.0
FEBRERO		1.5	3.1	2.5	2.3
MARZO		1.4	3.6	2.6	2.4
ABRIL		1.4	2.9	2.6	1.8
MAYO		1.4	2.5	2.9	2.7
JUNIO		2.0	3.1	3.9	2.8
JULIO		2.3	3.7	4.1	3.0
AGOSTO		2.6	3.9	5.5	3.0
SEPTIEMBRE		2.9	4.1	6.5	2.9
OCTUBRE		2.1	3.9	6.6	2.9
NOVIEMBRE		2.0	3.9	6.0	2.8
DICIEMBRE		2.9	3.5	6.0	2.8
TOTALES	====>	24	42	54	32.5
PROMEDIOS	====>	2.0	3.5	4.5	2.7

Tabla 4.1.- Velocidades Promedio del viento en el año 1980.

Años	Velocidades Promedios Anuales				
	horas==>	07	13	19	24
1980		2.00	3.50	4.50	2.70
1981		1.87	1.84	2.40	2.64
1982		1.75	1.99	2.56	2.72
1983		1.52	2.50	2.48	2.11
1984		1.26	1.61	1.95	2.02
1985		1.80	1.62	1.96	1.89
1986		1.41	1.72	2.00	2.28
1987		1.40	1.58	1.71	2.30
1988		1.42	1.68	1.88	2.00

Tabla 4.2.- Velocidades Promedio Anuales en m/seg.

4.2. DIRECCION PREVALENTE DEL VIENTO

De la misma manera que se hizo para obtener las velocidades promedio del viento, se lo realiza en la tabla 4.3. Así la interpretación de esta tabla se la debe hacer teniendo en cuenta que son direcciones promedios de viento, y no necesariamente en determinada fecha, el viento apuntó únicamente en ese sentido, pero de acuerdo a la manera en que funciona la "turbina" de viento experimental, ésta tendrá la característica de colocarse al sitio o posición en que éste se produzca sin necesidad de colocarlo manualmente.

DIRECCION DEL VIENTO EN GRADOS.					

Año	horas==>	07	13	19	24

1980		308.11	279.27	298.27	340.24
1981		303.94	231.65	315.88	343.05
1982		272.35	222.01	308.26	338.28
1983		137.48	206.51	108.75	114.35
1984		117.85	248.66	143.55	88.35
1985		107.58	250.91	125.91	90.75
1986		133.75	255.83	146.25	95.42
1987		135.83	225.00	181.66	85.00
1988		308.11	279.22	298.27	340.15

Tabla 4.3.- Direcciones Promedio del Viento en Grados.

4.3. TIPOS DE MOLINOS DE VIENTO

Haciendo un poco de historia todo parece indicar que el molino de viento se originó en Persia hace alrededor de dos milenios. En aquellas tierras, el Irán de nuestros días, funcionaban artefactos sobre ejes verticales que giraban a impulso del viento, y se utilizaban para moler granos y bombear agua.

El molino de viento desempeñó un papel importante en la historia del mundo, el primer molino utilizado fue de eje vertical por los Persas, luego se introdujo el molino de eje vertical por los

Holandeses y Franceses en el siglo XII.

En la clasificación de los molinos de viento por la posición del eje, tenemos los de eje vertical y los de eje horizontal, también podemos clasificarlos por la rotación del eje, con respecto a la dirección del viento, y por su aplicación específica, éstos entraron en uso desde tiempos muy remotos hasta nuestros días, no se puede decir que han sufrido grandes cambios en su diseño, los cambios que han sufrido han sido de tipo superficial, como número de aspas, modelos específicos, materiales utilizados, etc.

Por lo que podemos decir que son máquinas básicas y de ellas se han podido obtener grandes ideas, como son las turbinas, máquinas que hasta la actualidad son de gran utilidad para la humanidad.

4.3.1. MOLINO DE VIENTO ARUSHA

Este convertidor de energía eólica es enteramente metálico, su desarrollo lo tuvo en Tanzania y se efectuaron con éxito las pruebas de marcha, parece razonable suponer que esta unidad es adecuada en la producción y en funcionamiento para los países en vías de desarrollo.

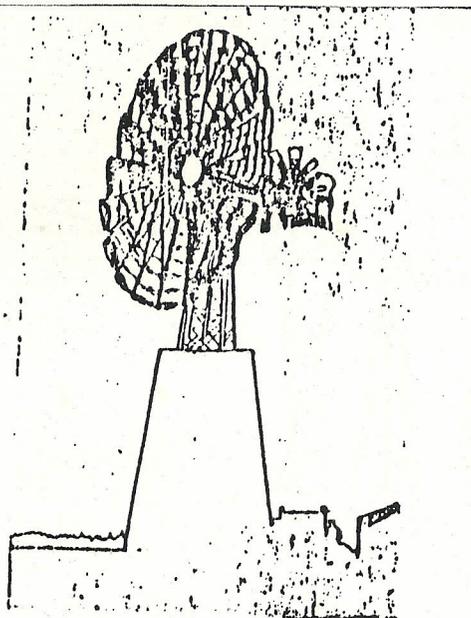


fig. 4.1.- Molino de Viento ARUSHA

4.3.2. MOLINO DE ROTOR AXIAL HORIZONTAL

Estos molinos están dentro de la denominación tipos convencionales de molinos de vientos, éstas son máquinas con eje de rotación paralelo a la dirección del viento, los cuales pueden ser sistemas de sustentación o arrastre, dependiendo de usos y diseños específicos.

Los diseños pueden variar considerablemente con la clase de turbina usada, las aspas desde 2 por unidad hasta sistemas multiaspas de 50 o más, las cuales son usualmente acopladas directamente a la salida del sistema por medio del eje como se aprecia en

las figuras 4.2 y 4.3 respectivamente.

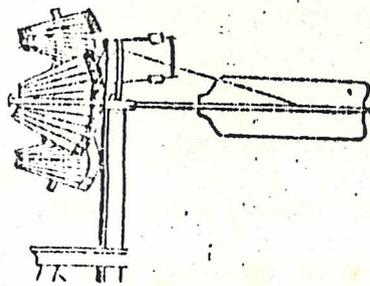


Fig. 4.2.- Molino Halladay

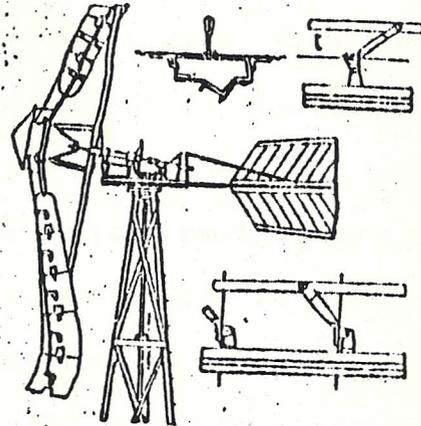


Fig. 4.3.- Partes del Socresen

4.3.3. MOLINO DE VIENTO SAHORES

El rotor que marcha lentamente, desarrollado por Sahores, con un molino de 3 metros de diámetro y con 16 paletas, trabaja con una veleta de control [barloventol].

Como característica se puede acotar que el montaje es posible con medios realmente sencillos, de acuerdo a Sahores no se requiere lubricación, ya que el teflón posee unas excelentes propiedades de deslizamiento sobre metales ya que es sobre él donde se pivotea la cabeza del molino.

Es preciso verificar regularmente el funcionamiento de todas las piezas de recambio, pueden ser fabricadas fácilmente con excepción de los anillos de teflón, de ésta manera la gran parte del equipo puede ser fabricada por trabajadores locales sin conocimiento técnico alguno, por lo tanto la construcción es sencilla y es recomendada a condición de que sea posible efectuar periódicamente los trabajos de mantenimiento y de inspección.

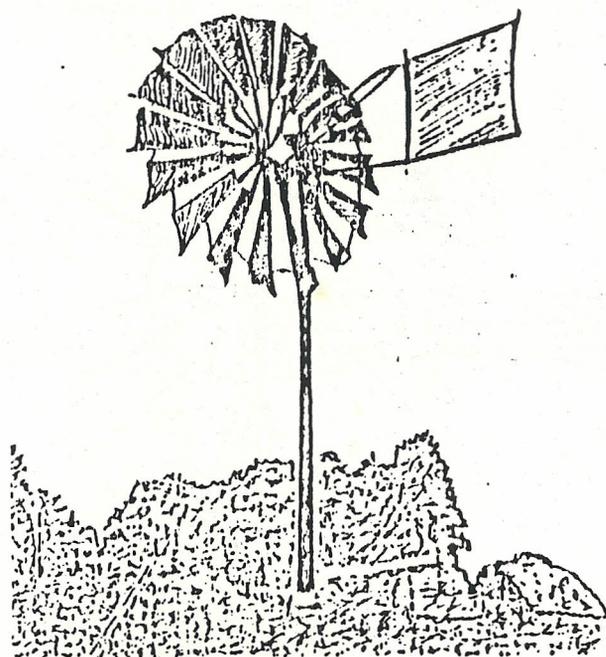


Fig.4.4.- Molino de Viento SAHORES

4.3.4. MOLINO DE VIENTO BATALLA

Este molino apareció en Nebraska [E.E.U.U.], al ser diseñado por un agricultor norteamericano, capaz de bombear 930 [3.500 lt/hora] de un pozo de 17 pies [5 metros] de profundidad, con una velocidad promedio de 11.5 mph [18.4 Km/h]. Este molino de viento fue montado sobre torres de madera con una combinación de 4,6,8 o más aspas acopladas a un eje horizontal, y frenos operados manualmente, con una revisión periódica de las partes móviles del molino. En la figura 4.5 tenemos un molino de esta clase.

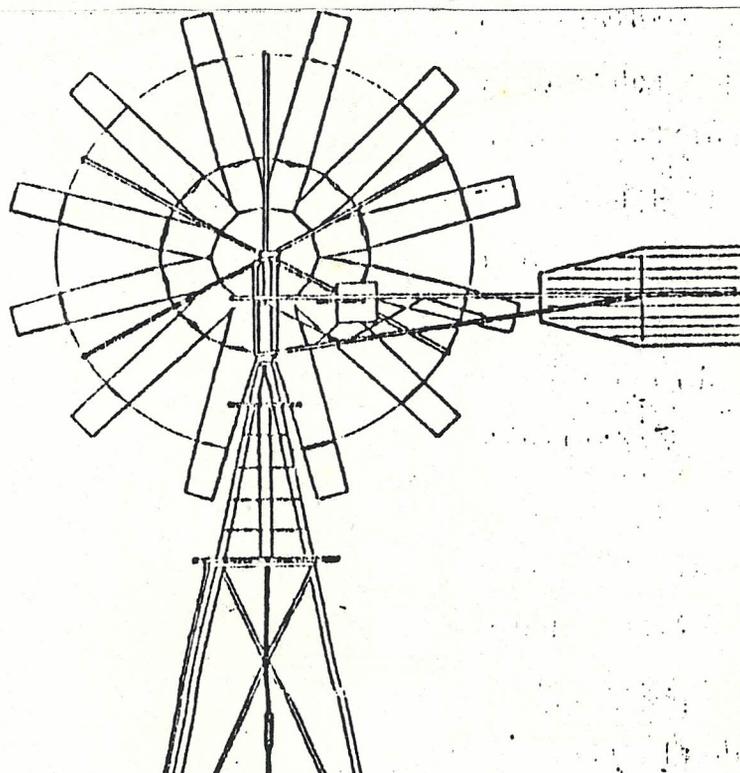


Fig.4.5.- Molino de Viento BATALLA

4.3.5. MOLINO DE VIENTO CRETA

Las instrucciones de construcción de N. Van contienen los detalles de la construcción de una bomba de pistón y de un molino de viento con velas de lona de marcha lenta. A continuación puede observarse en la figura 4.6 un molino tipo creta.

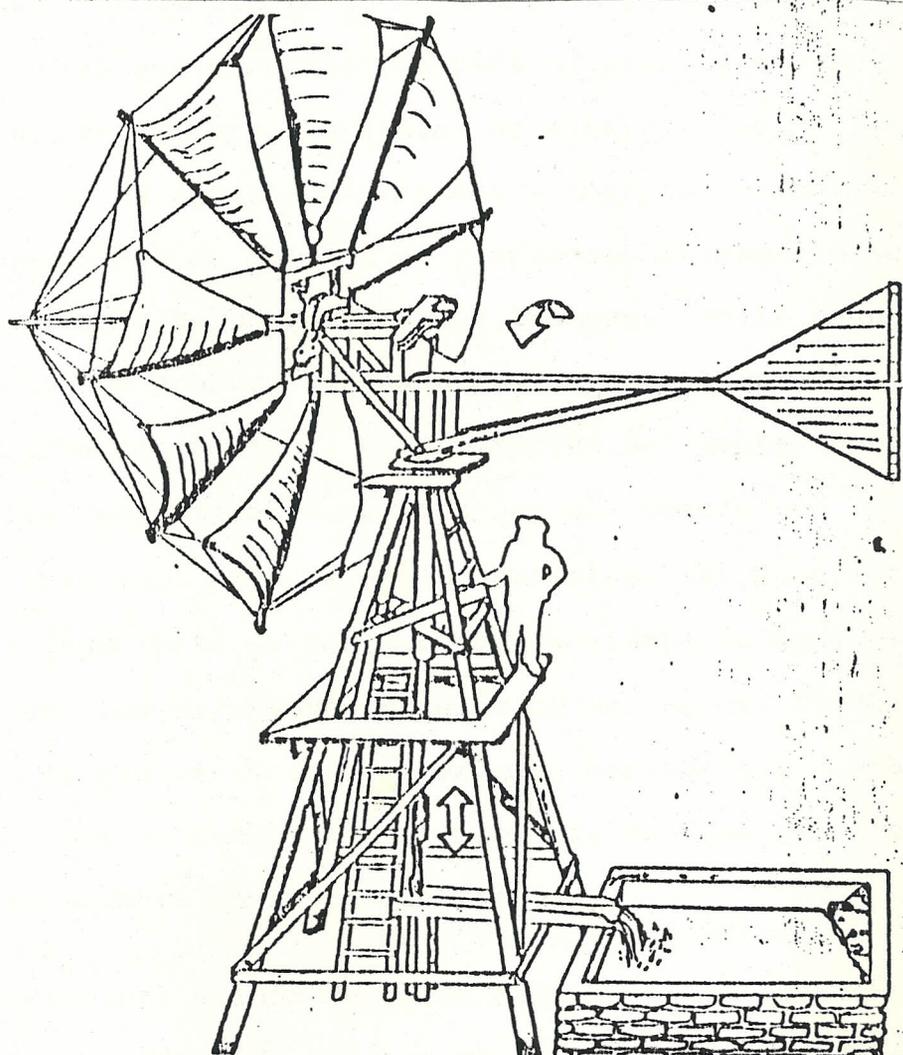


Fig. 4.6.- Molino de Viento CRETA

CAPITULO V

5.1. INGENIERIA EN DISEÑO DE MOLINOS DE VIENTO

Entre las generalidades del diseño de molinos de viento, observamos la similitud en su construcción para la obtención de diferentes potencias de acuerdo a la necesidad y disponibilidad de velocidad probabilística de viento para la zona ; la ingeniería de los molinos de viento no es avanzada ya que ésta es construída en forma rústica para diferentes usos, en campos para generación básica de electricidad, obtención de aguas subterráneas y energía mecánica, la ingeniería de molinos de viento paulatinamente se ha introducido en los últimos tiempos, en la construcción de grandes aerogeneradores en países desarrollados, construídos en prevención del agotamiento de los combustibles fósiles que el hombre en un principio supo eran recursos agotables. El progreso en la ingeniería de los molinos de viento lo podemos ver en los diferentes modelos de molino de viento tanto de eje vertical como de eje horizontal, pero todos ellos con un mismo principio fundamental de funcionamiento de la turbina de aire.

El principal origen de estos cambios lo tenemos en los inconvenientes básicos de la utilización de la energía eólica como en su baja densidad, y su inter-

mitencia e impronosticabilidad en la zona, por estos motivos generalmente los grandes aerogeneradores se encuentran interconectados con grandes centrales eléctricas para suplir la necesidad en caso de ausencia de viento en la zona.

5.2. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE MOLINOS DE VIENTO

En el estudio y desarrollo de los diferentes tipos de molinos de viento se han tenido que considerar varios parámetros para su diseño y optimización en la utilización de los recursos que proporciona el viento como fuente de energía; entre las consideraciones principales en el diseño de molinos de viento tenemos:

- a.- Velocidad del viento
- b.- Potencia del viento
- c.- Captación del viento
- d.- Número de alabes
- e.- Influencia Inercial
- f.- Diámetro del rotor
- g.- Bajo coeficiente de rozamiento

5.3. DISEÑO DEL MOLINO DE VIENTO EXPERIMENTAL

Como se ha presentado en los capítulos anteriores se han considerado todos los factores nombrados para el diseño del molino experimental, y dependiendo de

ello nos hemos tomado la libertad de utilizar el diseño que se encuentra realizado en el molino que se encuentra montado en la E.S.P.O.L. pero con diferencia que el que se encuentra montado inicialmente se lo utilizó para generar energía eléctrica.

El molino que se va a construir, tiene por objetivo utilizar la energía eólica para producir energía mecánica, la cual será entregada a forma de trabajo al eje, por medio de mecanismos tales como: engranajes, ejes, apoyos, etc., los cuales se detallan y se los explica en el capítulo siguiente que es el de construcción.

Por razones expresadas anteriormente, se toman los datos de diseño obtenidos en la construcción del molino que se encuentra instalado en la terraza de la Politécnica, pero con la diferencia que se utilizan elementos si se quiere más livianos que en los utilizados en dicho molino, tal es el caso del tipo de plancha que se utiliza en las aspas y del espesor de las mismas, así como el número de ellas.

A continuación se especifican los cálculos realizados, materiales utilizados, elementos, etc.

CALCULO DEL AREA DE TRABAJO

La energía cinética en una porción de masa m fluyendo a una velocidad u en la dirección x es:

$$U = 1/2 m u^2$$

$$\text{pero : } U = 1/2 (\rho Ax) u^2 \quad [J] \quad (1)$$

donde: A es la sección transversal de área en m² cuadrados, ρ es la densidad del aire en Kg/m³ y x es el espesor de la porción en metros.

La potencia del viento P, es la derivada con respecto al tiempo de la energía cinética:

$$P = dU/dt = 1/2 A u^2 \rho dx/dt$$

$$\text{luego: } P = 1/2 A u^3 \rho \quad [w] \quad (2)$$

Esto puede ser interpretado como la potencia que existe, suministrada a la causa que lo origina.

Una turbina de viento podrá extraer potencia del lado x con la ecuación (2) que representa la Energía total útil a esa superficie para posible extracción.

Una expresión para densidad del aire puede obtenerse a partir de la expresión :

$$\rho = m/v \quad (3)$$

donde: m es la masa de un Kmol y v es el volumen de éste Kmol.

El volumen de un Kmol varía con la presión y la temperatura como lo especifica la ecuación de la combinación de las leyes de Charles y Boyle para gases ideales:

$$pV = nRT \quad (4)$$

En esta ecuación, R es la constante universal de los gases, T es la temperatura en grados Kelvin, V es el volumen del gas en metros cúbicos, n es el número de Kmoles de gas, y p es la presión en (N/m²).

Cuando insertamos la ecuación (4) en la ecuación (3) la densidad estará dada por:

$$\rho = mp/RT = 3.484 p / T \quad [\text{Kg./m}^3] \quad (5)$$

donde p es en Kilopascales y T es en grados Kelvin.

Volviendo a la expresión de la potencia de viento, ésta será expresada como:

$$P_w = 1/2 A u^3$$

$$P_w = 1.742 p A u^3 / T \quad [\text{w}] \quad (6)$$

Si disponemos de condiciones estandares para la temperatura y presión tenemos entonces:

* p = 101.3 Kpa.

* T = 25 grados centigrados = 298 grados Kelvin.

luego nos queda:

$$P_w = 0.592 A u^3 \quad [\text{w}] \quad (7)$$

Si observamos las tablas de velocidades de viento se puede deducir que las velocidades varían entre 4.5 y 3.0 m/s en el lugar de prueba (a horas determinadas) pero como en el caso de diseño se escoge siempre de las condiciones críticas de funcionamiento y a

sabiendas que eventualmente el molino sea transportado para otros lugares de Guayaquil para pruebas de potencia alcanzada, se toma el valor de la velocidad máxima del viento como 5 m/s y con condiciones normales de operación.

Por lo tanto si tomamos la ecuación (7) y deducimos el valor del Área que se necesita y conociendo la potencia, que deseamos obtener del molino de viento se deduce que:

$$\text{si } P_w = 0.592 A u^3$$

por lo tanto:

$$A = P_w / 0.592 u^3 \quad [m^2]$$

Si sabemos que idealmente nos hemos propuesto conseguir, una potencia de 1/4 HP que es 0.25 HP, reemplazando ese dato en la ecuación de Área, tenemos que reduciendo el valor de 0.25 HP a wattios, éste es igual a 186.42 wattios.

$$A = 186.42 / 0.592 (5)^3$$

luego ; $A = 2.51 m^2$ Área necesaria de trabajo para producir los 0.25 HP de potencia.

Por lo tanto si debemos obtener idealmente esa potencia al eje debemos de construir la turbina para que abarque dicha Área, la potencia que nos hemos propuesto.

Pero debido a que la plancha que se compró para la construcción tiene las siguientes medidas: 1.2 x 2.4 metros y si tenemos una manzana de 22 cm no se puede obtener el diámetro deseado, ya que se requiere aprovechar en lo mejor posible la utilización de la plancha debido a que se ha escogido el número de aspas igual a diez.

Es por ese motivo que se escoge una longitud para la aspa de 72 cm y de espesor de 1/25 pulgadas de plancha galvanizada para evitar en lo posible el exceso de rozamiento o peso para vencer la inercia creada.

El área resultante sumando los valores de manzana y de aspas es reduciendo el valor de la fórmula:

$$A = \pi d^2 / 4$$

y si tenemos un diámetro de $d = 2 * (R_{\text{manz.}} + L_{\text{aspa}})$

Por lo tanto $r = 11 + 72 = 83$ cm.

luego $d = 166$ cm. = 1.66 mt.

Entonces el área que se obtiene en el molino es de :

$$A = \pi (1.66\text{m})^2 / 4$$

$$A = 2.16 \text{ mt.}$$

Si comparamos con el valor de área teórica tenemos un porcentaje de error de aproximadamente el 13% que por obvias razones influenciará en el valor final de

potencia, la cual será analizada en las pruebas finales.

ASPAS:

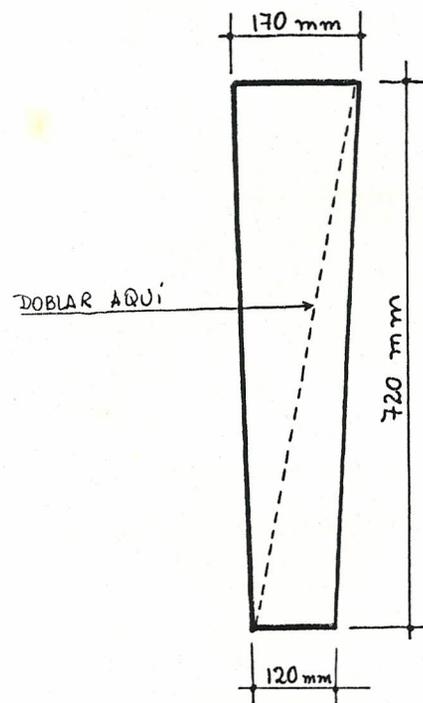
Numero : 10 aspas

Material : Plancha galvanizada de 1/25 "

Manzana : Plancha de hierro negra de 1/8"

Diámetro = 22 cm.

Diámetro del eje = 3/4" acero de
transmisión



ESCALA 1:10

CANTIDAD : 10

Fig. 5.1.- ASPA

SOPORTE SUPERIOR GIRATORIO

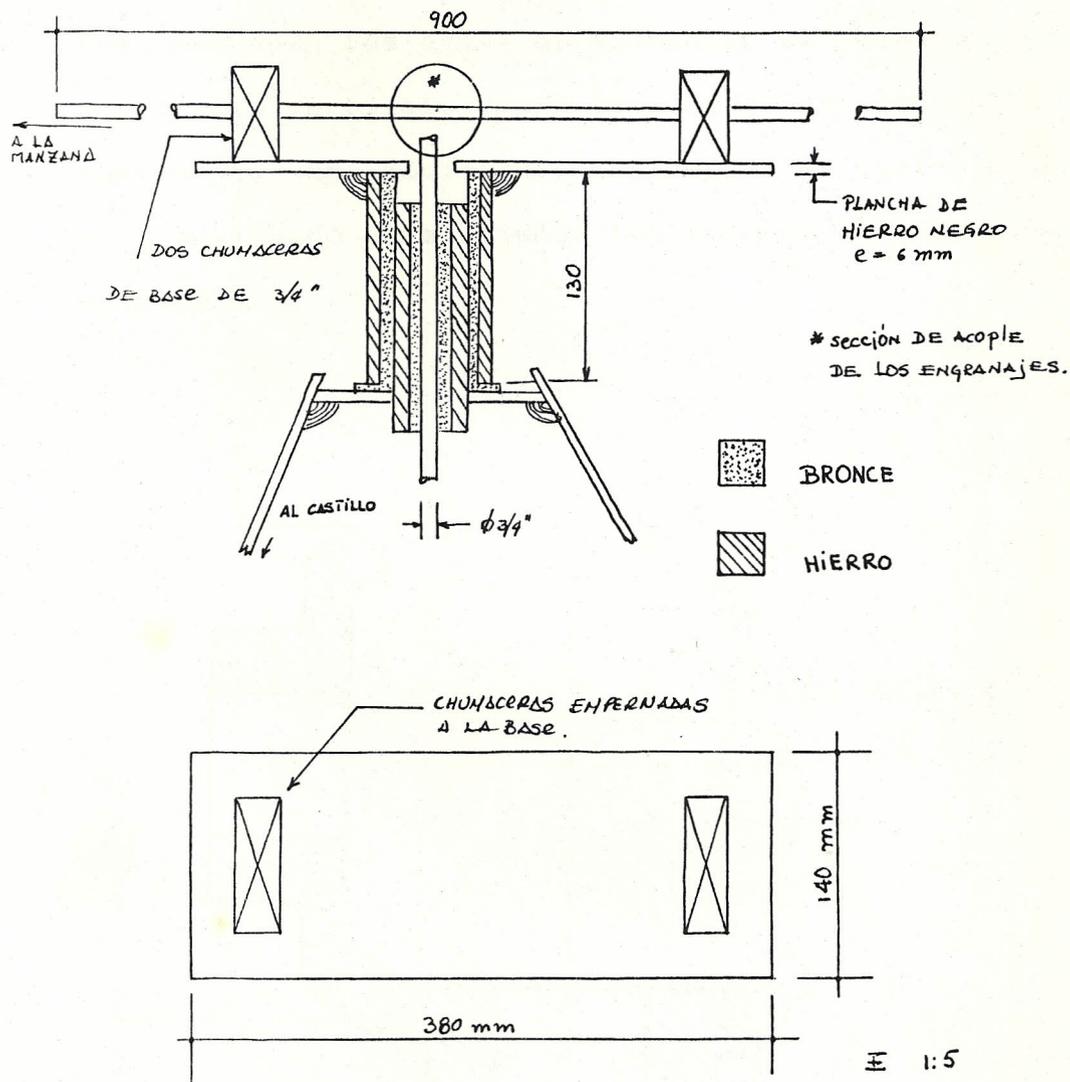


FIG. 5.2.- SOPORTE SUPERIOR GIRATORIO

Sobre este sistema se basa la estabilidad del molino ya que éste logra dirigir las aspas hacia la dirección del viento, si quedara desbalanceado el molino se quedaría en un punto fijo, además de ajustes y tolerancias para evitar que se "guinde".

ENGRANAJES CONICOS A 45 GRADOS

Sirven para convertir el movimiento horizontal que nos entregan las aspas al enfrenar al viento, en movimiento vertical, para éste luego ser convertido nuevamente en movimiento horizontal el cual luego será analizado para obtener los valores de potencia entregada.

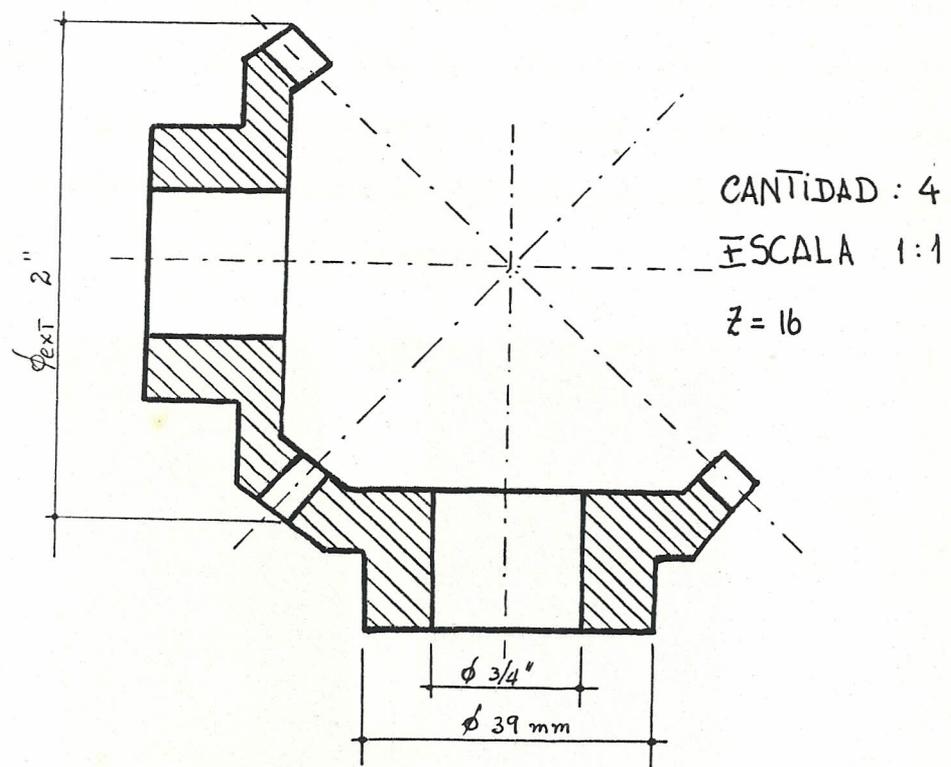


FIG.5.3.- ENGRANAJE CONICO A 45 GRADOS

CAPITULO VI

6.1. CONSTRUCCION DEL MOLINO DE VIENTO EXPERIMENTAL

Debido a que este capítulo es netamente práctico, es decir, no se puede explicar claramente el proceso de construcción si no se apoya el autor en notas fotográficas, es así que en cada etapa de construcción detallada se adjunta una foto del proceso o montaje realizado.

Como ya anotamos en el capítulo de diseño en la parte referente a las aspas, se diseñaron éstas de material de plancha galvanizada de 1/25" de espesor, en la fig. 6.1 se muestra la foto de una aspa luego se haber sido cortada en la guillotina a las medidas especificadas anteriormente.

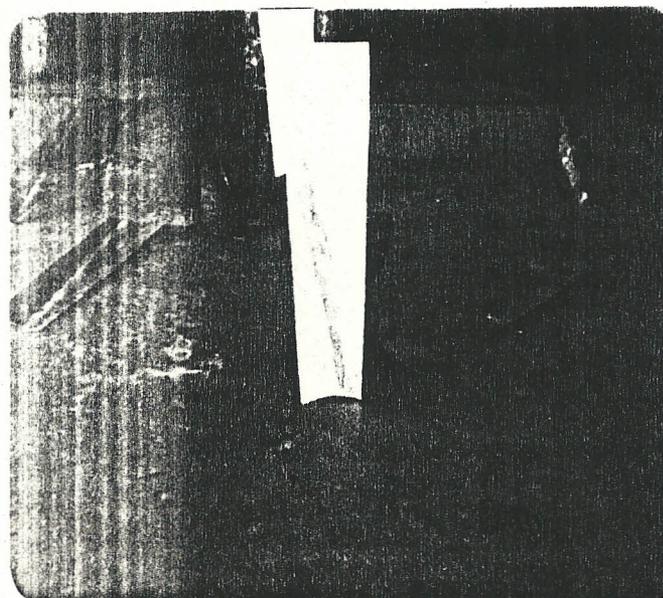


Fig. 6.1.- Foto de una aspa cortada en guillotina

Una vez cortadas todas las aspas se procede a doblar las mismas por la línea de dobléz marcada en el diseño para lograr los ángulo de 45 y 60 grados en la base y periferia respectivamente, para enfrentar el viento con mayor facilidad, ya que el mismo es captado de mejor manera en la parte exterior con un ángulo mayor , el cual hace que se requiera de menos esfuerzo, mientras que la fuerza se halla concentrada en la base, razón por la que el ángulo en ella es más enfrentada a la corriente de viento.

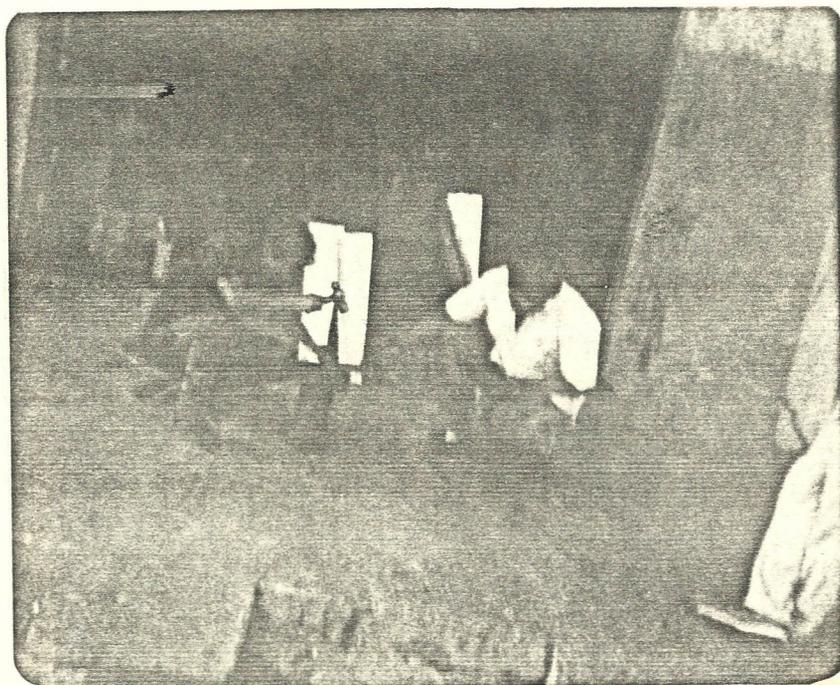


Fig.6.2.- Foto del momento en que se realiza el dobléz de la aspa

Como ya acotamos anteriormente, el ángulo de la aspa es importante por ello se muestra en la figura 6.3 la foto del momento en que se está soldando la aspa a la manzana y en ella se puede ver claramente el ángulo que se logra formar.

Para tal motivo la manzana ha sido marcada previamente en diez partes iguales en la máquina fresadora con el plato divisor y una cuchilla, para evitar de ésta manera, que alguna de las aspás quede en mala posición, lo cual incidiría enormemente en el momento del montaje ya que se producirían vibraciones.



Fig.6.3.- Foto de la forma en que se sueldan las aspás para lograr los ángulos de 45 y 60 en la base y periferia respectivamente.

La fig. 6.4 muestra la foto de la posición de 4
aspas soldadas, para ello se soldó una espiga a la
plancha de base que se ve, para evitar que se mueva
al momento de soldarlas a la manzana. La foto de la
figura 6.5 muestra la forma completa de las aspas
soldadas.

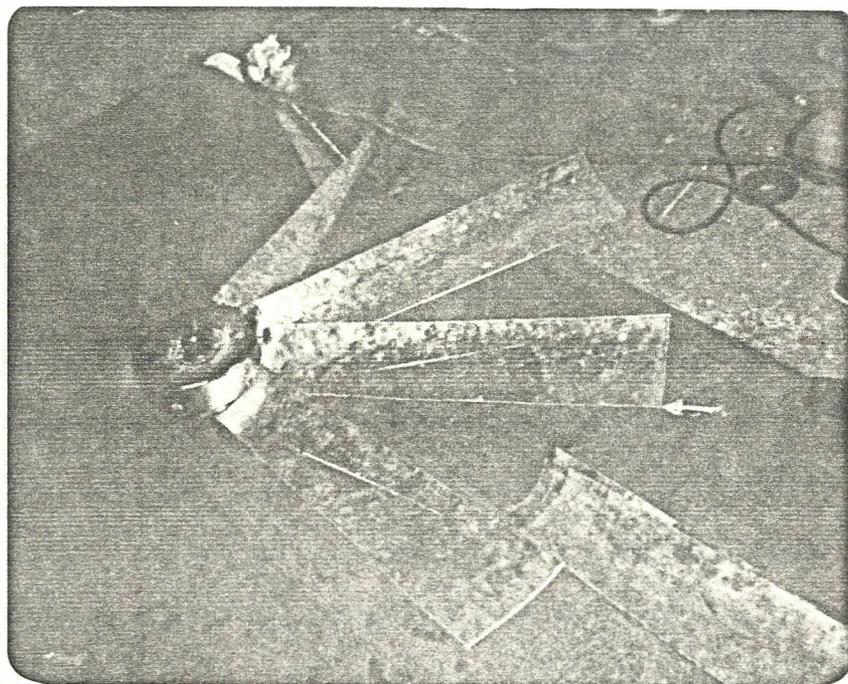


Fig. 6.4.- Foto de una parte de las aspas soldadas.

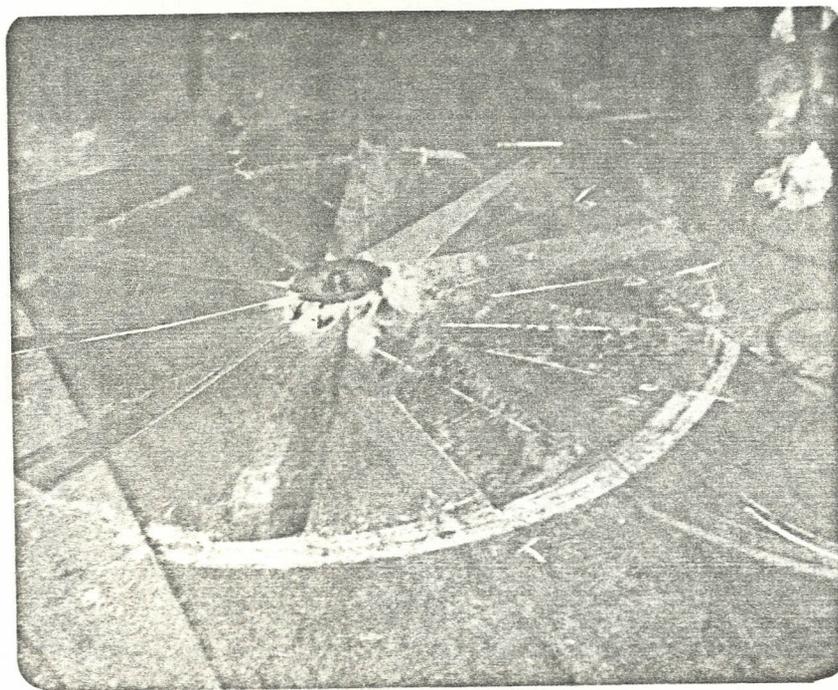


Fig. 6.5.- Foto de la totalidad de las aspas soldadas.

Si se pone a trabajar así las aspas éstas van a flexarse al mínimo intento de rotar, por ello se puso una cinta del mismo material, alrededor de las aspas, como se ve en la foto de la figura 6.6, incluso con ello se evita que se pierdan los ángulos de diseño.

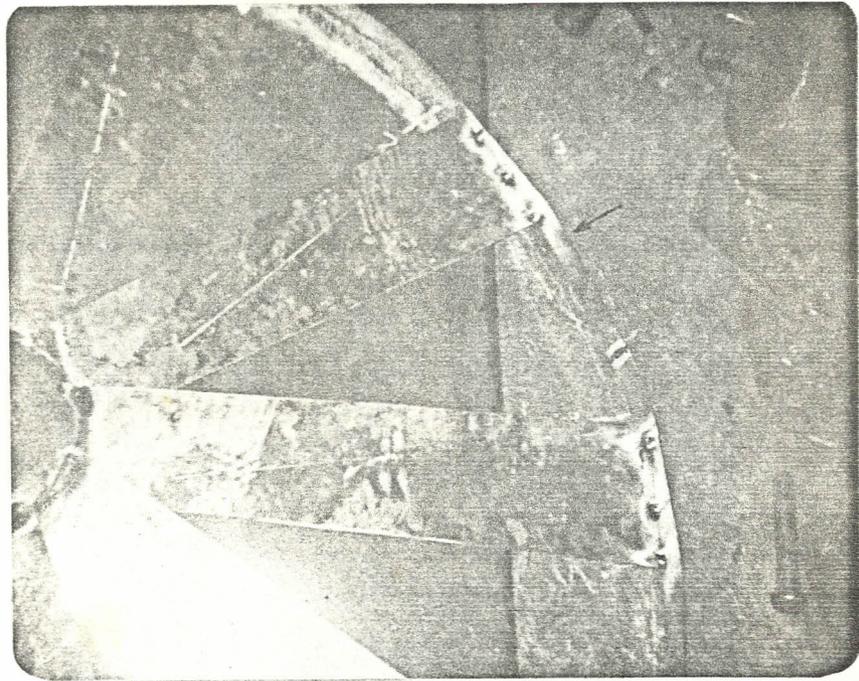


Fig.6.6.- Foto del refuerzo colocado en las aspas para evitar la flexión.

En las figuras 6.7 y 6.8 se muestran las fotos de la construcción del barlovento a aleta directora del molino, cuyas dimensiones son 40 x 20 cm. y de 50 cm. de largo con un brazo de 1,5 metros.



Fig. 6.7.- Foto de la construcción del barlovento.

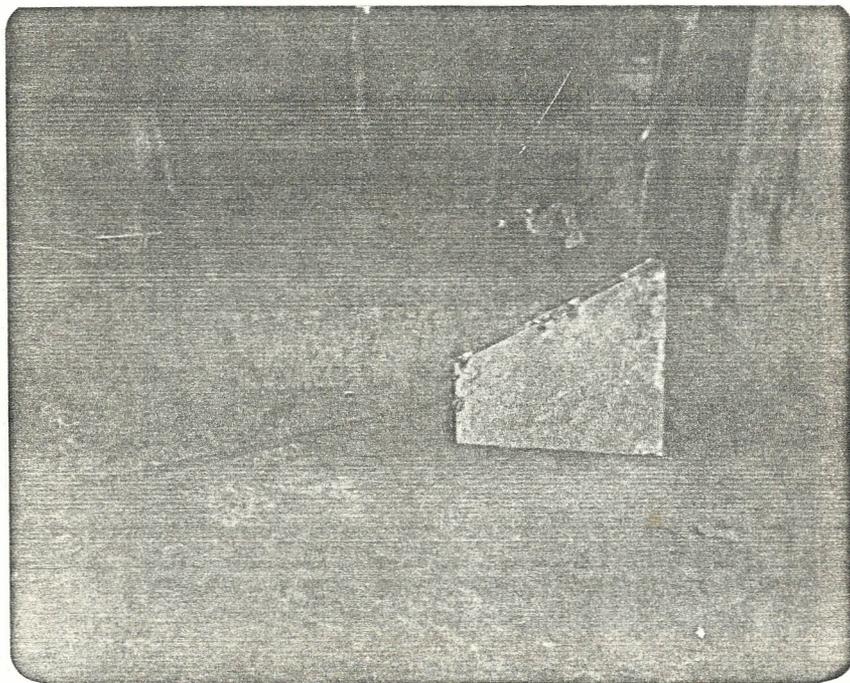


Fig. 6.8.- Foto general del barlovento con su brazo.

Una vez que se tiene las partes anteriormente señaladas se procede a construir el castillo o torre donde se va a asentar el mecanismo giratorio superior y las aspas con su respectiva manzana, así como el eje y los piñones de transmisión de potencia.

Es así que se construye el castillo en forma triangular, particular en éstos tipos de molinos y terminado en punta con cuatro tirantes de apoyo, y de 2 metros de altura, en la figura 6.9 se muestra parte de la construcción del mismo.

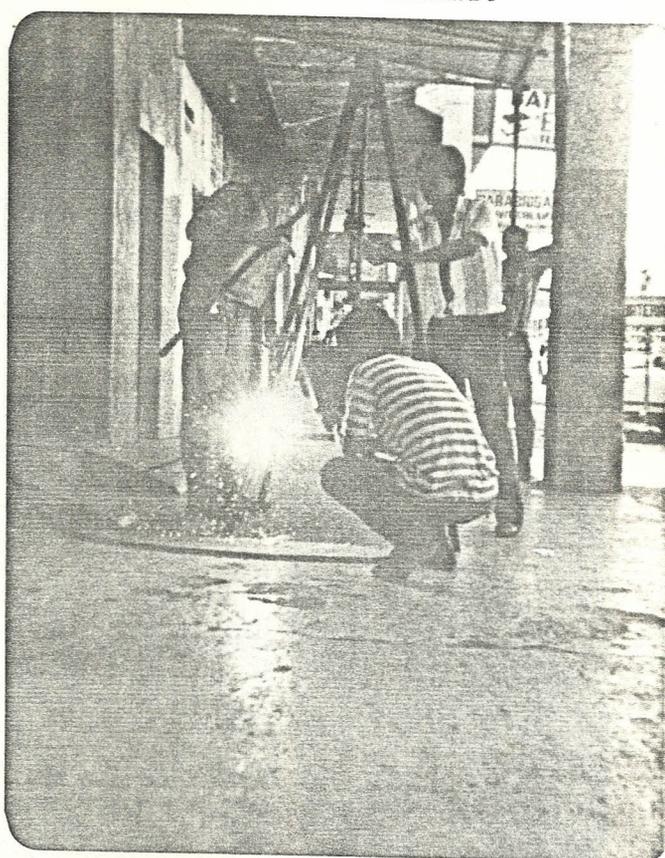


Fig.6.9.- Foto que muestra el proceso de construcción del castillo de apoyo.

Así se pasa a soldar la parte del mecanismo de giro que se ubica en la parte más alta del molino, ésta ha sido previamente construida en un proceso de máquinas y herramientas, y más precisamente en un torno ya que implica la mecanización de bocines de bronce y rectificación, para que gire el eje en el respectivo bocín y evitar de ésta manera que se guinde el mismo debido al peso que soporta el eje. En la figura 6.10 se muestra la parte señalada anteriormente, ya soldada pero antes se ha realizado la plomada del mismo como se muestra en la figura anterior.

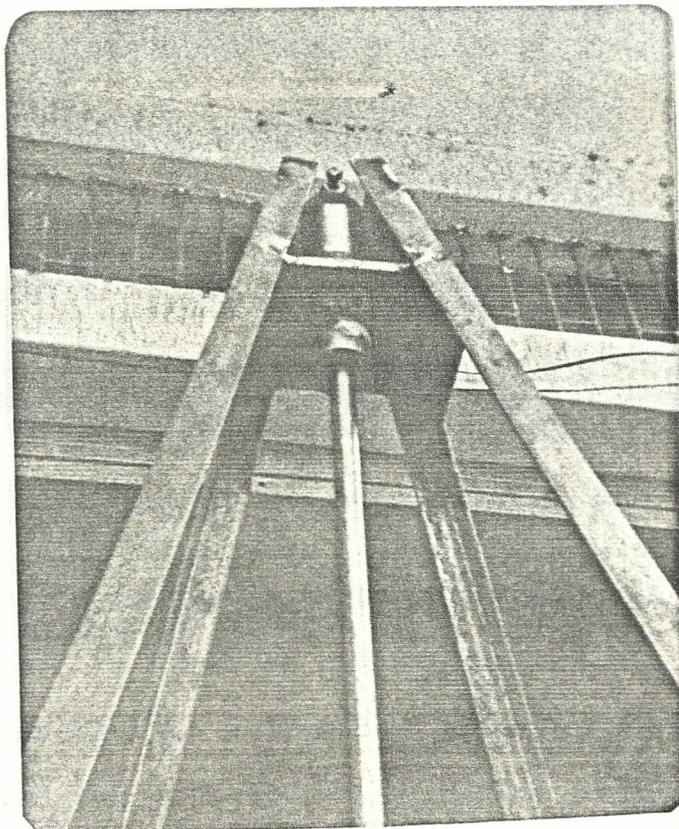


Fig.6.10.- Foto del sistema de soporte giratorio soldado al castillo.

En la figura 6.11 se ilustra la foto del sistema de transmisión de potencia, esto es por medio de dos piñones cónicos a 45 grados, lo cual permite convertir el movimiento horizontal que entrega el molino, en movimiento en posición vertical para transmitirlo al sistema de cálculo de potencia. Estos como se parecía están sujetos por medio de seguros tipo Allen prisioneros de cabeza perdida.

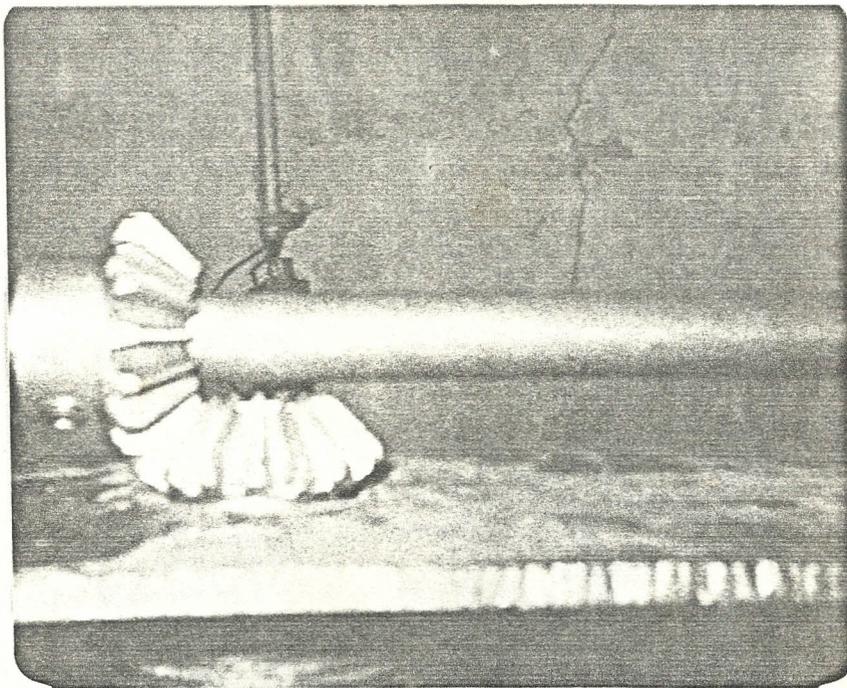


Figura 6.11.- Foto de los piñones cónicos.

Colocando la partes construidas tenemos el sistema montado de la forma en que se muestra la figura 6.12 en que la foto indica las aspas girando, el eje de la manzana colocado en su sitio y asegurado con prisioneros Allen de $3/8$ " y chavetero de $1/4$ " con una tuerca soldada en la parte de atrás para evitar

que la turbina se deslice para o hacia el centro.

Así también muestra la forma o disposición del sistema de transmisión junto con las chumaceras de 3/4" según el diámetro del eje principal, de igual modo señala el sistema giratorio soldado a la base junto con parte del barlovento orientador.

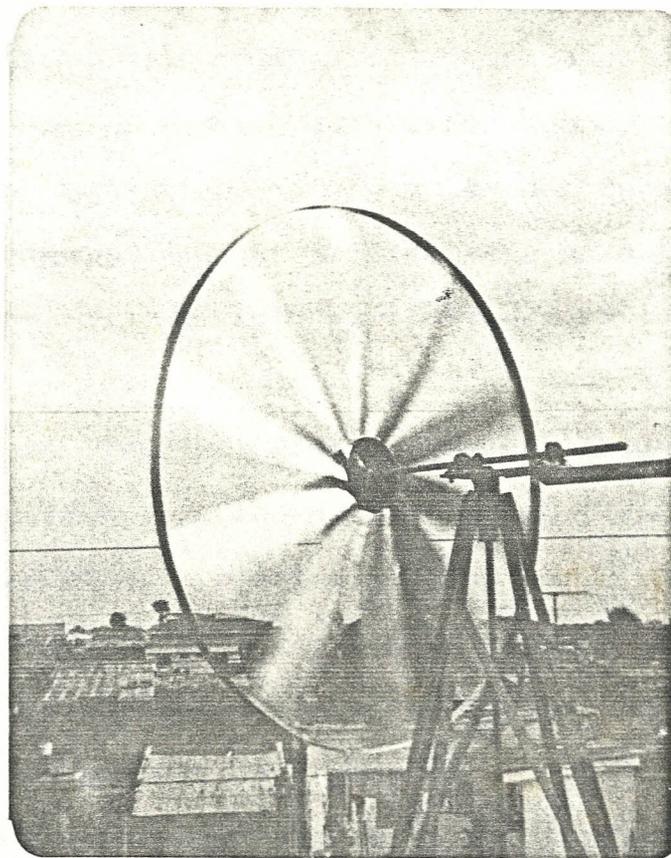


Fig.6.12.- Foto del sistema montado, previo a un ajuste general y adecuaciones posteriores.

6.2. CONSTRUCCION DEL SISTEMA BIELA = MANIVELA PARA CALCULAR EL TORQUE Y POTENCIA

En ésta parte se destaca que se toma el sistema de cálculo de torque aplicado, utilizando pesas y colcándolas a cierta distancia del entro, con lo cual se logra tener, una fuerza y un radio, para con ello y recurriendo a la fórmula del torque se pueda calcular dicho parámetro.

Así se tiene que construido un disco de 1/4" de espesor de plancha de hierro negro, con un descentramiento de 10 cm., en la cual se soldó una punta con tope la cual servirá para en ella colocar las pesas que servirán para obtener la fuerza de frenada.

De ello se tiene entonces un descentramiento de 10 cm., que vendría a ser para nosotros y despreciando pesos pequeños, nuestro radio para cálculo de torque, y las pesas colocadas en la periferia serían las fuerzas tangenciales logradas, tomando en cuenta el peso tan pequeño pero peso al fin del portapesas que para éste experimento es de 0.5 libras.

En la figura 6.13 se muestra la foto del sistema ya montado y sujetado al eje de trabajo por medio de prisioneros Allen de 3/8" de cabeza perdida exagonal. Así mismo se presentala forma en que éste,

el eje se sostiene en la base y es por medio de chumaceras de $3/4$ " sujetadas o empernadas a la base. Igualmente en la misma foto se muestra la forma de transmisión del movimiento al eje de trabajo por medio de los piñones cónicos a 45 grados, el eje vertical descansa sobre un rulimán de $1/2$ " de diámetro para evitar en lo más posible las pérdidas por rozamiento, es de ésta manera que también se construyó un bocín de bronce que se embona sobre una base de hierro de transmisión torneada a la medidas del eje para guiar el centrado.

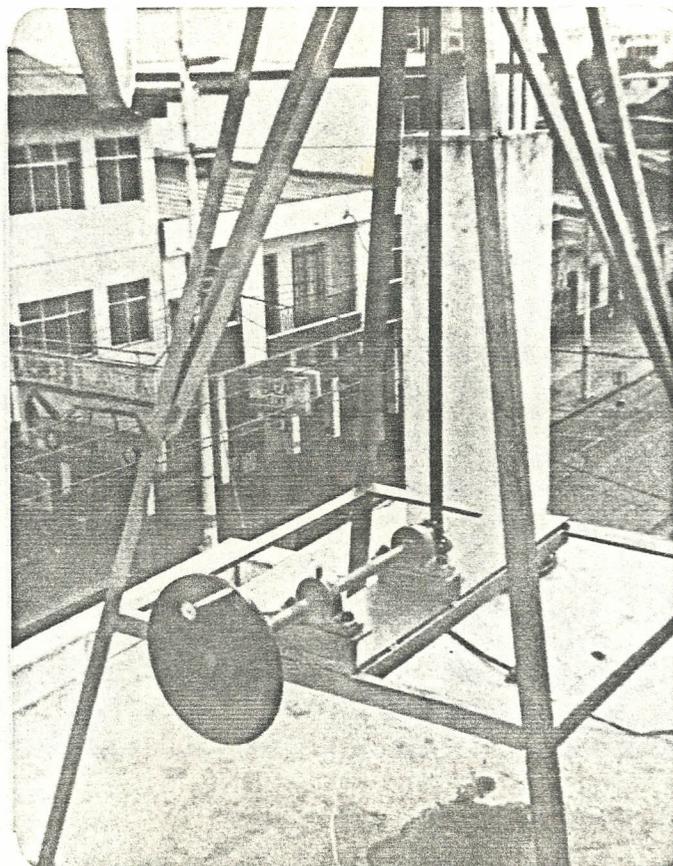


Fig. 6.13.- Sistema Biela Manivel para el cálculo del torque.

Para ilustrar mejor el sistema de transmisión y el apoyo que se colocó en la parte inferior el sistema biela- manivela, en la figura 6.14 se presenta la foto de la forma como se dispuso éste mecanismo antes de la soldada definitiva.

Se ve claramente el bocin de hierro exterior que va soldado a la base inferior y en cuyo interior va colocado a presión uno de bronce con un rulimán para evitar como ya se explicó, el excesivo rozamiento. Se observa también las chumaceras empernadas con sus respectivas bases.

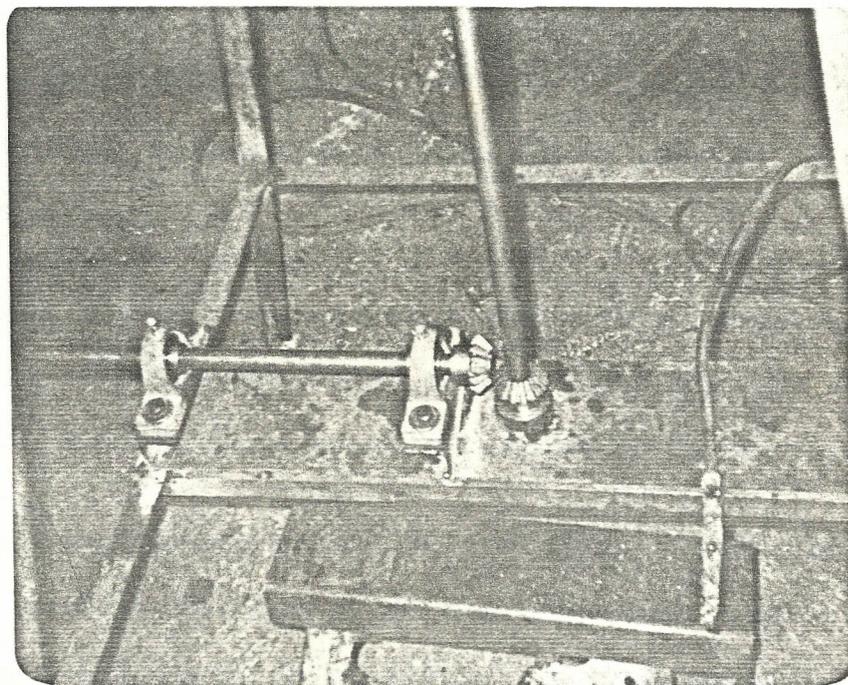


Fig.6.14.- Foto que ilustra más detalladamente el sistema de apoyo y transmisión.

6.3. MONTAJE DEL MOLINO

Se tiene que considerar que si el molino va a trabajar en diversos sitios, para concepto de varias pruebas posteriores se debe tener en cuenta la practicidad para el armado y desarmado y, para el transporte del mismo.

Por ello se diseñó para tal motivo, de manera que se descompone sencillamente en las siguientes partes para un transporte mejor.

-el rotor o aspas

-sistema giratorio superior

(incluye la aleta guía o barlovento)

-el castillo

(incluye sistema de transmisión y para el cálculo del torque)

Es así que se facilita el transporte y movilización hacia el ó los sitios de prueba, que por lo general son elevados, para nuestro caso es en la terraza.

Para asegurar el molino al sitio se lo ancla al piso por medio de pernos de acero de 3/8" con cabeza exagonal y tacos de plástico, con anillos plano y de presión. En la subida del molino en sus partes se utilizó bandas de nylon de gran resistencia.

La figura 6.15 muestra la foto del momento en que se

asegura y coloca la parte superior del molino, que ya ha sido empotrado al piso.

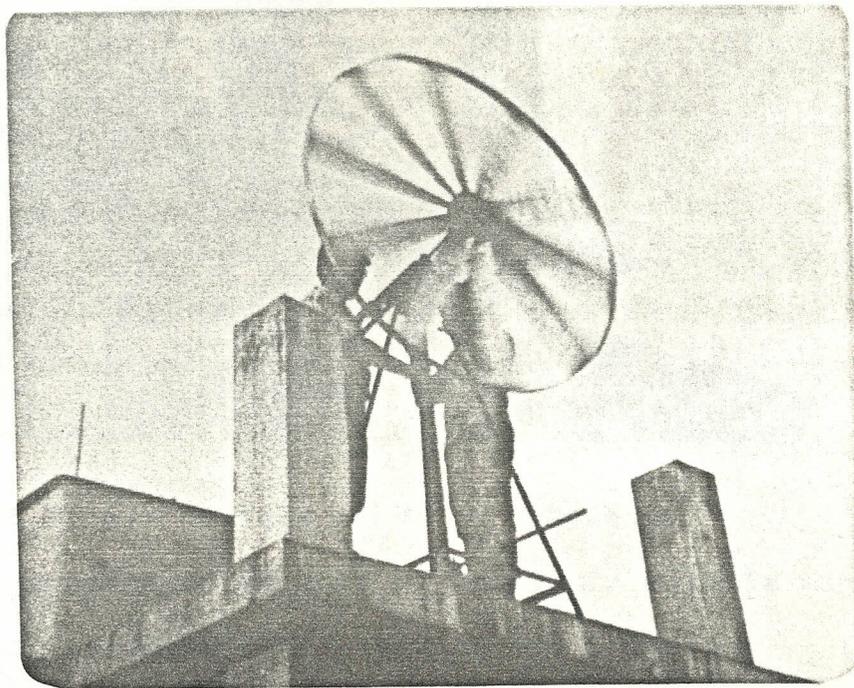


Fig.6.15.- Foto del montaje de la parte superior del molino, véase la velocidad del rotor.

En la figura 6.16 se nota que ya se ha colocado la parte superior y se lo suelta al viento para lograr una primer prueba.



Fig.6.16.- Montaje superior completo.

Se muestra en la foto de la figura 6.17 la manera en que se aseguró el rotor al eje principal y también se aprecia parte de la chumacera y pistón.

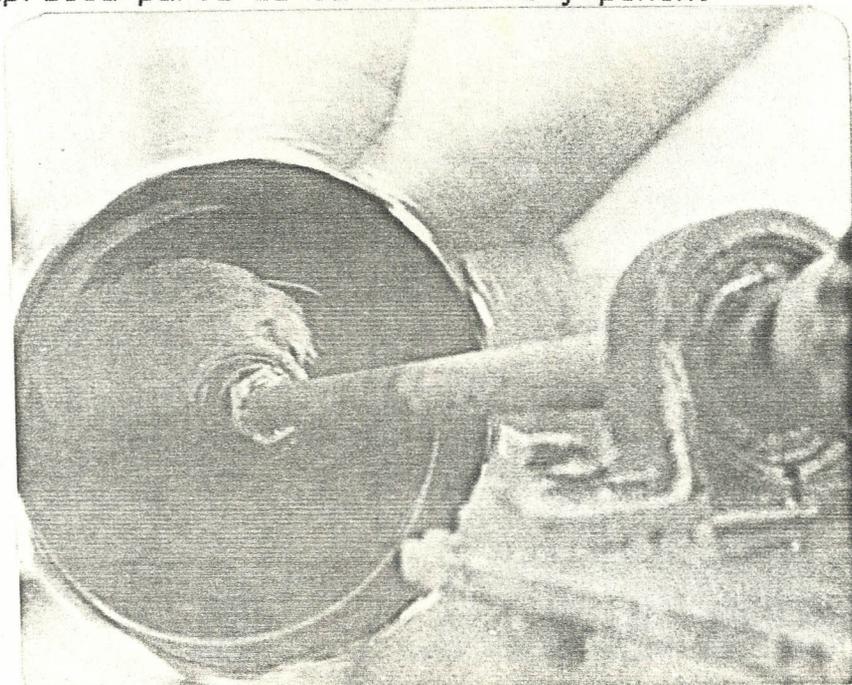


Fig.6.17.- Foto de la manzana del rotor por la parte posterior.



Fig.6.18.- Foto posterior del molino en funcionamiento.

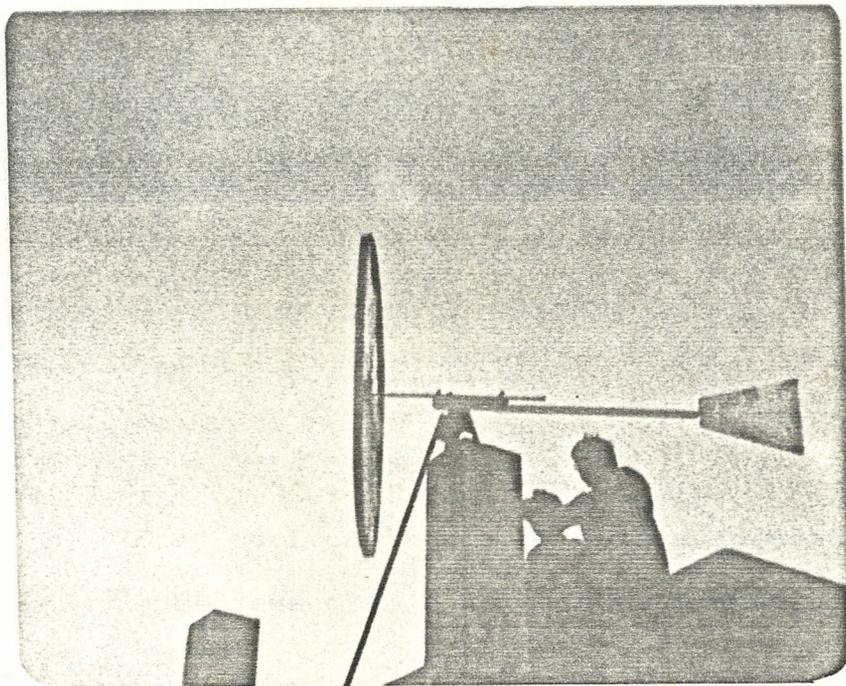


Fig.6.19.- Foto del molino viéndolo lateralmente.

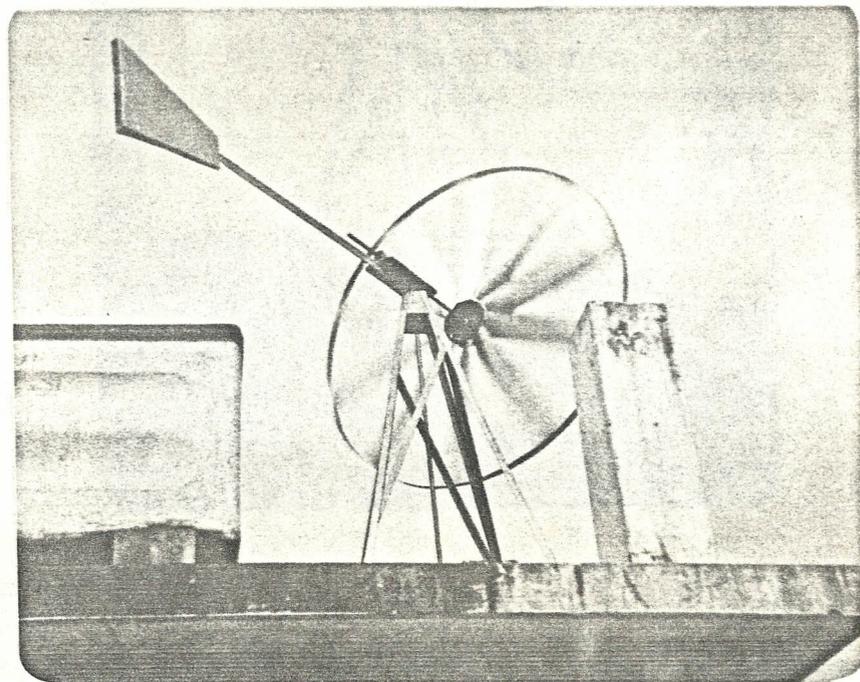


Fig.6.20.- Foto del molino con vista posterior-inferior, apréciese el eje bajante de transmisión y el barlovento.

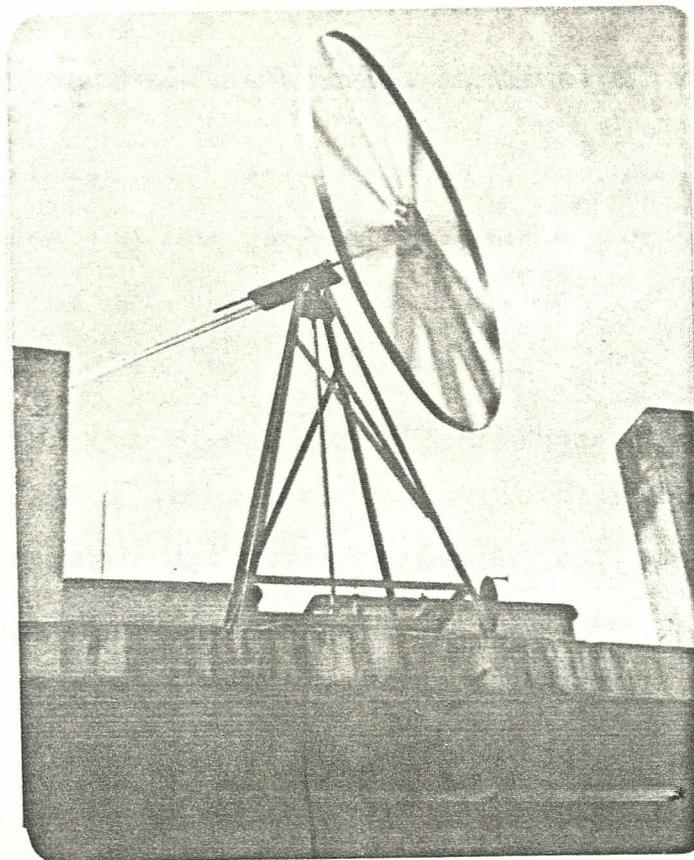


Fig.6.21.- Foto del molino visto de abajo hacia arriba, notése el sistema del cálculo de torque a la salida.

CAPITULO VII

7.1. TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES EN EL SITIO DE PRUEBA

Para llevar a cabo este paso debemos tomar en consideración los parámetros que se van a medir, es decir los datos necesarios para poder calcular la energía que es suministrada por el molino experimental, en el sitio de prueba.

Para ello es dable conocer que la potencia obtenida en el eje de salida cuando ésta está siendo transmitida en función del torque que se obtiene en él, ya que el torque está dado por:

$$T = P/w \quad \text{N.m/rad.}$$

donde:

P es la energía mecánica en wátios.

w es la velocidad angular en rad./seg/

Las unidades pueden ser expresadas como N.m/rad. ó en su lugar como N.m según sea la preferencia del usuario.

Por lo tanto si necesitamos la potencia entregada al eje por la turbina de viento, ésta es despejada de la ecuación anterior, por lo que tenemos:

$$P = T \times w$$

De ésta manera los datos a tomarse del molino experimental estarán basados en la cantidad de

revoluciones que entregue dicho eje y la energía necesaria para frenarlo o para detener un poco su marcha.

Es de anotar que los datos que se obtienen a las horas indicadas, son datos promedios de velocidad, ya que como, es lógico pensar, la velocidad del viento en zonas urbanas por lo general no se mantiene constante por mucho tiempo, esto sucedió muchas veces en el momento de tomar datos; en alguna ocasión el molino se "embaló" en los primeros diez segundos, para luego casi detenerse, en los cincuenta minutos restantes, por eso es que se asume valores de velocidad constante.

Revoluciones/minutos (R.P.M.)	Peso Colocado : P (libras)
86	3.5
80	3.0
124	5.5
226	5.0
220	7.0
198	6.5
322	7.0
88	6.0
176	5.5
133	6.0
77	2.5
173	5.5
220	6.0
96	5.5
104	4.0
66	5.5
275	6.0
316	7.5
287	7.5
206	7.0
102	4.5
165	4.5
187	4.5

Tabla 7.1.- Datos tomados a condiciones standar
entre las 13 y 18 horas.

Revoluciones/minutos (R.P.M.)	Peso Colocado:P (Libras)
276	3.5
165	3.5
207	3.5
273	4.5
212	1.5
180	1.5
95	1.5
122	2.0
334	5.5
325	6.5
340	7.0
278	6.0
209	5.5
87	5.5
117	4.5
82	4.5
111	4.5
202	5.5
75	1.5
85	1.5
176	2.5
124	3.0
239	5.0

Tabla 7.2.- Datos tomados a condiciones standar
entre las 19 y 23 horas.

7.2. ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE POTENCIA

Para llevar a cabo el análisis de los datos obtenidos, debemos primero calcular los valores de potencia alcanzados por el molino experimental, para tal efecto partimos de la ecuación planteada en el capítulo anterior donde:

$$P = T * w \quad \text{luego : } P = \text{potencia}$$

$$T = \text{torque}$$

$$w = \text{velocidad}$$

angular

para calcular el valor del torque ,tenemos:

$$T = F * r$$

donde:

$$F = \text{valor del peso colocado (en libras)}$$

$$r = \text{radio del disco} = 10 \text{ cm.}$$

pero:

$$F = 1 \text{ lb.} * 1 \text{ Kg}/2.2 \text{ lb} * 9.8 \text{ m}/\text{seg}$$

$$F = 4.46 * (\text{peso colocado}) \quad [\text{N}]$$

luego :

$$T = 10 \text{ cm.} * 1 \text{ m.}/100 \text{ cm.} * 4.46 (\text{peso})$$

$$T = 0.446 (\text{ peso colocado }) \quad [\text{N.m}]$$

Para el número de revoluciones w , se tiene:

$$w = \text{rev.}/\text{min.} * 1 \text{ min.}/60 \text{ seg} * 2 \text{ rad}/1 \text{ rev.}$$

$$w = 0.105 \text{ rad.}/\text{seg}$$

luego tenemos el valor a ingresar directamente:

$$w = 0.105 \text{ (R.P.M.) } \quad [\text{rad./seg}]$$

Para poder ingresar en un programa de computador sencillo debemos simplificar las unidades para que nos de el resultado directamente en H, ya que la actual nos lo entrega en N.m/seg que es igual a J/seg. y un J/seg. es igual a 1 watt.

Entonces si teníamos en la ecuación anterior el valor de w y de T se aplica reducción de unidades y se obtiene;

$$P = 0.105 * 0.046 * (\text{R.P.M.}) * (\text{peso})$$

$$P = 0.04683 * (\text{R.P.M.}) * (\text{peso}) \quad [\text{watt}]$$

reduciendo a HP luego;

$$\text{como un wattio es igual a } 1.341 \times 10^{-3} \text{ HP}$$

por lo tanto :

$$P = 0.04683 * 1.341 \times 10^{-3} * (\text{R.P.M.}) * (\text{peso})$$

$$P = 6.2799 \times 10^{-5} (\text{R.P.M.}) * (\text{peso}) \quad [\text{HP}]$$

De ésta manera como ya se dijo en un sencillo programa, se ingresa los valores de peso en libras y el número de revoluciones por minuto lo cual nos arroja directamente el valor de la potencia suministrada por el molino en HP.

A continuación en la tabla 7.3 se dan los valores de potencia obtenidos de acuerdo a los datos tabulados en las tablas 7.1 y 7.2

R.P.M. [rev/min]	PESO [libras]	POTENCIA [HP]
80	3.0	0.0151
124	5.5	0.0428
226	5.0	0.0710
220	7.0	0.0967
198	6.5	0.0808
322	7.0	0.1415 *
88	6.0	0.0302
176	5.5	0.0608
133	6.0	0.0501
77	2.5	0.0121 #
173	5.5	0.05975
96	5.5	0.0331
104	4.0	0.0261
66	5.5	0.0228 #
275	6.0	0.1036
316	7.5	0.1488 *
287	7.5	0.1352
206	7.0	0.0906
102	4.5	0.0288
187	4.5	0.0528

Tabla 7.3.- Datos de potencia obtenida a condiciones normales de operación entre la 13 y 18 horas.

* valores máximos

valores mínimos

R.P.M. [rev/min]	PESO [libras]	POTENCIA [HP]
165	3.5	0.0363
207	3.5	0.0818
273	4.5	0.0771
212	1.5	0.0199
180	1.5	0.0170
95	1.5	0.0089 #
122	2.0	0.0153
334	5.5	0.1154
325	6.5	0.1330 *
340	7.0	0.1495 *
278	6.0	0.1048
87	5.5	0.0300
117	4.5	0.0331
82	4.5	0.0232
111	4.5	0.0314
202	5.5	0.0698
75	1.5	0.0071 #
85	1.5	0.0080 #
176	2.5	0.0276
239	5.0	0.0750

Tabla 7.4.-Datos obtenidos a condiciones normales de operación entre las 19 y 23 horas.

* valores máximos

valores mínimos

CONCLUSIONES

Si bien es cierto según los datos obtenidos de potencia, no están al nivel o dentro de los rangos que nos habíamos propuesto como meta, que es de 0.25 HP (1/4 HP); pero también no es menos cierto y conocido que el área nominal teórica, fue un poco más grande que la obtenida en la construcción del molino de viento experimental, razón por la cual y como es lógico pensar, la potencia decayó notablemente, pero aún así el resultado obtenido como potencia máxima entregada es muy bueno; ya que como se indica en las tablas 7.3 y 7.4 hay valores de potencia que llegan y sobrepasan incluso el 1/7 HP; peor cabe recalcar, que en las primeras pruebas realizadas, el valor que se obtenía era muy pobre, apenas si llegaba a 1/20 de HP a duras penas, pero mejorando el sistema deslizante como se lo hizo, y liberando así el exceso de rozamiento, se logró aumentar los valores de potencia que entregaba el eje.

También tuvieron su influencia los vientos alcanzados en los días de prueba, pues éstos registraron muchas veces valores bajos de velocidad; o algunos de aceleración elevada pero mientras se estaban tomando los datos decaían bruscamente, desfavoreciendo de esta manera los datos y resultados finales.

En líneas generales los resultados obtenidos producto del

ensayo, realizado con el molino experimental son de esperanza para los objetivos que nos hemos propuesto al inicio del proyecto, y éste es el de aprovechar la fuente inagotable de energía gratis, que representa la energía eólica, pues como se acotó al inicio nuestras fuentes tradicionales de energía ya no se consideran inagotables y el devenir del tiempo está dando la razón a ésta teoría, como lo señalan diversos editorialistas en los diversos medios de comunicación, tal es el caso de DIARIO "EL UNIVERSO" el día 6 de Junio de 1989, donde hace alusión a los molinos de viento con el siguiente título: Redescubrimiento de los Molino de Viento, es por esto y por los resultados, para el autor satisfactorios, se debe proseguir con el estudio del proyecto.

RECOMENDACIONES

Como se acota en las conclusiones, los datos de potencia obtenidos son de mucha esperanza, y debido a ésto sería conveniente que éste proyecto se sigue analizando y mejorando aún más; de manera que se logren superar los objetivos propuestos en el mismo y aún más alcanzar nuevas metas, para la superación del país.

Entre una de las recomendaciones sería la de ver la factibilidad económica de transportar el molino a otro sitio de prueba más alto, y de mayor potencial eólico, como puede ser el mirador turístico "Cometa Halley", o a las orillas del estero salado para su oxigenación, con ello se podría tomar nuevos datos y se compararía la fiabilidad del diseño, trabajando a condiciones críticas de funcionamiento.

Otro de las recomendaciones sería implementar cambios en el diseño del molino al colocar un volante en el eje vertical, para que el mismo trabaje dentro de un rango de velocidades determinado, aumentando su inercia, es decir, que se mueva con vientos un poco mayores que el actual, y así mismo, que se detenga en el mayor tiempo posible, logrando de ésta manera que el molino de viento trabaje más uniformemente y dentro de rango de velocidades aproximadamente constantes.

BIBLIOGRAFIA

1. E.R.A. ; Reports on wind power.
2. E.R.A. ; Wind driven plant and it's application.
3. E.S.P.O.L. ; Fuentes Alternativas de Energia
Estación Metereológica de la
E.S.P.O.L.
4. INAMI ; Anuario Metereológico.
5. JHONSON L. GARY ; Wind Energy Systems.
6. Marks ; Manual del Ingeniero Mecánico.
7. MATAIX ; Mecánica de Fluidos y Máquinas
Hidráulicas
8. MORA IDROVO ; Utilización de Energia eólica para
extracción de agua.
9. OLADE ; Prospect, Evaluation and
Characterization of Aeolian Energy.
10. SECRETARIA GENERAL ; Aero generadores : Su
desarrollo en la República Argentina
11. SHIGLEY ; Diseño Mecánico.