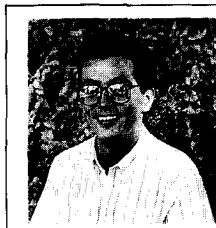


Resumen



Alvaro Pinilla, Ph.D., M.Sc.

Ingeniero Mecánico
Director y Profesor Ingeniería
Mecánica Uniandes.

Agencia
Internacional de
Energía para la
prueba de equipos
eólicos para el
bombeo de agua.

Localización y preparación.

El presente trabajo describe las actividades del grupo de investigación en Energía Eólica (FIVA) del Departamento de Ingeniería Mecánica de UNIANDES en lo que respecta a la instalación

El campo de pruebas de aerobombas está localizado en la Sabana de Bogotá aproximadamente a 25 km al

todas las direcciones y el terreno es plano. La velocidad de viento promedio en el lugar es baja, sin embargo, durante las horas del día la velocidad adquiere valores suficientemente altos para inducir un apropiado funcionamiento de las aerobombas. La Figura No 1 esquematiza las condiciones de la estación de pruebas. Por razones de seguridad, además de conveniencia, una pequeña caseta (4 metros cuadrados de área) se construyó. La caseta esta conectada a la red eléctrica (Ver Fotografía No 1).

Instalación de aerobombas

Un molino de viento clásico multipala americano fue instalado en el lugar de la estación desde 1949 y continúa suministrando agua a un conjunto de casas que conforman la granja. Con esta experiencia, es claro que el lugar presenta un régimen de viento adecuado para convertirse en un campo de prueba. Hasta el momento, esta aerobomba no figura en ninguno de los proyectos de investigación que

está realizando el grupo.

En la actualidad se han instalado cuatro aerobombas en la estación, estas son: dos equipos comerciales colombianos, el molino de viento

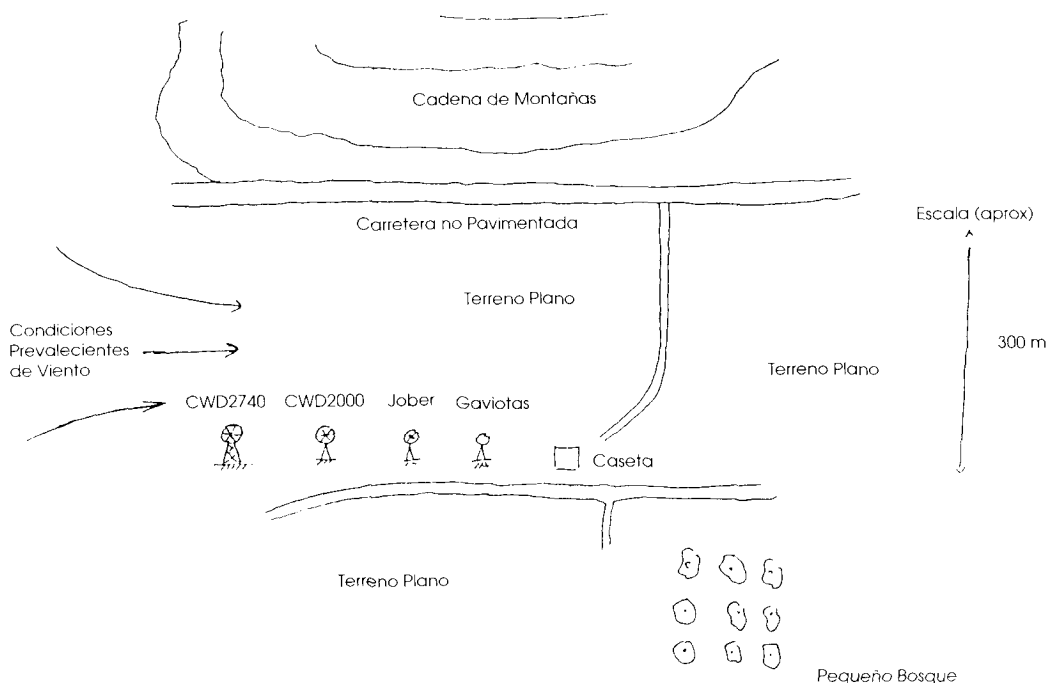
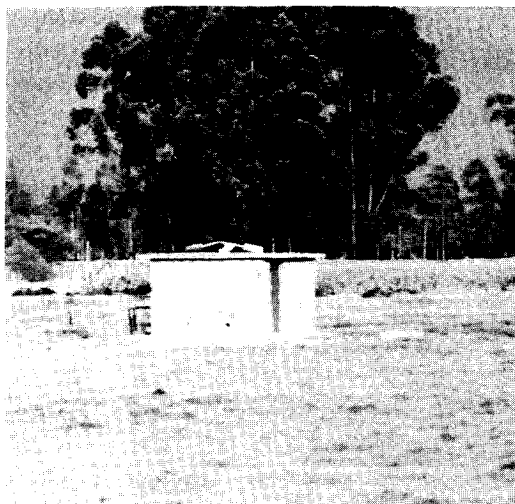


Figura No. 1 - Disposición de Estación de Pruebas

y puesta en marcha de una estación de pruebas para aerobombas. La estación ha sido concebida, de manera que cumpla con las normas internacionales propuestas por la

occidente de las instalaciones de la Universidad de los Andes. El campo de pruebas tiene unas condiciones limpias de viento, en lo que corresponde a condiciones eólicas libres de obstáculos, en



Fotografía No. 1

GAVIOTAS MV2E (Morales, 1992; Sanint, 1992), el molino de viento JOBER (Granados, 1991); un molino de viento holandés CWD2000 (Mateus, 1991) y mas reciente el molino de viento CWD2740 (Beller, 1993). Las especificaciones técnicas de cada uno de los cuatro equipos mencionados se encuentran en el apéndice No 1.

Los molinos han sido emplazados, en una franja de aproximadamente 400 metros en longitud y 50 metros de ancho, distanciados sucesivamente desde la caseta (Ver fotografías Nos. 2 y 3).

Fuente de agua

Para la prueba de equipos en condiciones reales de operación, se perforaron tres pozos. El primer pozo fue perforado y encamisado (camisa de PVC 2") a una profundidad de 21 metros. El molino de viento Gaviotas MV2E fue colocado sobre este pozo. La camisa de la bomba ha sido sumergida a 15 metros. El segundo pozo tiene 26 metros de profundidad y tiene una camisa de PVC 3". El molino Jober ha sido instalado en este segundo pozo, con su bomba sumergida a 21 metros. El tercer pozo, perforado a 36 metros con una camisa de PVC 3", está asignado al molino CWD2000.

Cada pozo tiene un filtro de 3 metros de largo, en su parte inferior. Piedras de gravilla llenan el espacio entre la pared del pozo y la camisa de PVC para estabilizar los tubos. El nivel del agua se encuentra a una profundidad de 4 metros del piso. Este nivel puede ser alterado reciclando el agua. Consecuentemente, los molinos pueden ser probados a diferentes niveles de cabezas estáticas.

Para los otros molinos de viento, el lugar cuenta con canales de riego alrededor, los cuales permiten probar equipos de bombeo remoto neumático e hidráulico.

Instrumentación y adquisición de datos

La mayoría de los instrumentos utilizados en la estación tuvieron que ser importados. Los tacómetros y los instrumentos de medición de ángulo han sido desarrollados por miembros del grupo.

Los instrumentos con que se cuenta y listos para implementación son:

- Tres anemómetros: NRG Systems Type # 40 Maximum Anemometer.
- Tres veletas: NRG Systems 200 Series Wind Direction sensor
- Un computador de velocidad de viento: NRG Systems 7010 Wind Challenger.
- Trece transductores de presión: Motorola y Microswitch: Transductores diferenciales, absolutos y manométricos.

- Diez transductores de temperatura: Motorola
- Un flujometro Doppler: Dynamic Flow Systems
- Dos tarjetas de adquisición Metrabyte DAS-16G
- Dos microcomputadores DTK 386, 210 Mb disco duro, 8 Mb RAM.
- Un paquete para análisis y procesamiento de datos Quinn Curtis.

El propósito es instrumentar todos los equipos de forma tal que se puedan realizar pruebas extensivas (de larga duración) reales de comportamiento de cada uno; así pues, para determinar el régimen de viento se instaló una torre meteorológica, con los siguientes instrumentos: un anemómetro, un sensor de dirección de viento (veleta), un sensor de presión barométrica y un sensor de temperatura ambiente.

Para caracterizar las aerobombas, estas se acondicionan con los siguientes instrumentos: medidor de velocidad de giro del rotor (tacómetro), sensor de flujo electrónico a la salida de la bomba, medidor de cabeza estática con un transductor de presión y un sensor electrónico para medir el ángulo de orientación del molino con respecto al viento incidente. Cada



Fotografía No. 2

uno de los sensores suministra una señal electrónica (generalmente en milivoltios) proporcional a la variable medida. Debido a que las distancias entre los molinos de viento en prueba y la caseta donde se aloja el computador

con una tarjeta de adquisición Metrabyte, montada en un computador personal. Todo el proceso, desde la medición hasta los datos procesados y almacenados, toma 1.5 segundos para 8 variables. La tarjeta de

en la universidad, del adecuado funcionamiento de los molinos en prueba.

Algunas ventajas adicionales se han logrado al tener instalada esta



Fotografía No. 3

pueden ser de hasta 250 metros, se presenta el problema de transmisión de la señal electrónica sobre todo la caída de voltaje en la línea. Este problema se resolvió con el diseño de un sistema de telemetría, el cual convierte las señales de los sensores en una señal de frecuencia (Procel - Telmec) y a su vez estas frecuencias son transmitidas a la caseta (Rojas 1993).

Paralelamente, se desarrolló un paquete de software de propósito específico, el cual realiza análisis de transformada rápida de Fourier de las señales de frecuencia (demodulador), identificándose así, el valor de la variable física medida. Esta adquisición se realiza

adquisición permite, entonces, realizar mediciones de hasta 64 variables físicas, simultáneamente. Para el postprocesamiento y análisis, toda la información es transferida a medio magnético, tal como una cinta back up, con el fin de ser analizada en otros equipos sin interrumpir el proceso de adquisición continuo en tiempo real. Los datos son procesados siguiendo las normas internacionales establecidas para prueba en campo de molinos de viento.

Un paso siguiente, es enviar a través de ondas de radio, las correspondientes señales hasta el campus de la universidad. Esto permitiría un permanente chequeo,

estación de pruebas de molinos de viento, ya que ha servido para propósitos demostrativos de potenciales usuarios de esta alternativa energética, al mismo tiempo que facilita el entrenamiento de estudiantes, a nivel de pregrado y postgrado.

Vale la pena anotar que la adecuación de esta estación, ha sido posible ya que todos los gastos (personal, instrumentos, transporte, etc), han sido sufragados con la ayuda financiera de los proyectos pagados por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia (COLCIENCIAS) y la Comisión de las Comunidades Europeas (DGXII).

Referencias.

Beller, T. (1993). *Manufacturing and Installation of the Dutch CWD2740 Windpump. Final year Project. Department of Mechanical Engineering. Universidad de Los Andes, Bogotá, Enero.*

Granados, A. (1991). *Estudio y Evaluación Técnica del Molino de Viento JOBER. Tesis de Magister en Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes, Bogotá, Septiembre.*

Mateus, L. (1991). *Detalles de la Construcción del Molino holandés CWD2000. Informe interno de actividades. Grupo FIVA. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes. Bogotá, Marzo.*

Mateus, L. (1993). *Adecuación de Estación de Pruebas para SCEE Reporte Interno FIVA - 93-06-11. Proyecto. Development of a 3S Pump. Bogotá, Junio.*

Morales, R. (1991). *Evaluación de la Aerobomba Gaviotas MV2E. Proyecto de Grado. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes. Bogotá, Julio.*

Pinilla, A. (1993) *First Annual Report. Development of a 3S Pump. The Commission of European Communities. contract CI 1*. CT 92-0021 Universidad de Los Andes, Bogotá, Agosto.*

Pinilla, A. (1993) *Informe Técnico de Avance No.2. Programa de Investigación en Sistemas de Aerobombeo Remoto. Proyecto COLCIENCIAS - CIFI. Molinos de viento REF NO. 141 CO 1204-06-038-90. Bogotá, Febrero.*

Rojas, F. (1993) *Diseño y Construcción de un sistema de telemetría por cable. Sistema de Telemetría TELMEC. Procesador de Señales. PROCSEL. Descripción y características generales. Reporte Interno Grupo FIVA. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes, Bogotá.*

Sanint, J. (1992). *Performance Laboratory Test on the Gaviotas MV2E pump. Final Year Project. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes. Bogotá, Septiembre.*

Apendice No. 1 - Datos técnicos de aerobombas

Molino de Viento Gaviotas MV2E

ROTOR

Tipo: Horizontal a Sotavento
-(Downwind)
Diámetro (m): 2.05
Diámetro de Raíz (m): 1.15
Número de aspas: 5
Longitud de Cuerda (m): 0.34 - Constante
Angulo de Paso: 21°
Material de aspas: Lámina de aluminio
Momento de Inercia (kg-m²): 3.12
Peso del rotor (kg): 10.4
Veloc. Específica de Diseño (λd): 1.6
Coeficiente Par de arranque: 0.2
Coeficiente de Potencia máx. (C_{po}): 0.28
Veloc. Específica de Desboque: 3.0

SECCION DEL ALABE

Máxima combadura (%C): 11
Loc. Máxima combadura (%C): 41.2
Máximo espesor (%C): 5.14

SISTEMA DE CONTROL Y SEGURIDAD

Rotor cónico a 12 grados para orientación

TORRE

Tubo de acero de 1 1/2", con base tetrahedral en tubo de acero de 1".
Altura (m): 9

TRANSMISIÓN

Directa con mecanismo biela-manivela,
Carrera de 88 mm.

BOMBA

Tipo: Diferencial
Diámetro (mm): 28
Material Cilindro: Acero inoxidable 304
Tubo de ascenso: PVC 1" - rde 21

Longitud Tubo de ascenso (m): 15
Válvulas: de pie, en la entrada de la bomba.
Altura máxima de bombeo (m): 25

Molino de Viento Jober

ROTOR

Tipo: Horizontal a barlovento (Upwind)
Diámetro (m): 2.5
Diámetro de raíz (m): 0.58
Número de aspas: 10
Angulo de paso: 45°
Material de aspas: Lámina galvanizada calibre 20
Momento de Inercia (kg-m²): 10.56
Peso del rotor (kg): 22
Veloc. Específica de diseño (λd): 1.2
Coeficiente Par de arranque: 0.24
Coeficiente de Potencia máx (C_{po}): 0.26
Veloc. Específica de desboque: 2.4

SECCIÓN DEL ALABE

Máxima combadura (%C): 8.3
Loc. máxima combadura (%C): 33.8
Máximo espesor (%C): 6.1
Loc. máximo espesor (%C): 21.2

SISTEMA DE CONTROL Y SEGURIDAD

Veleta de orientación posterior y veleta de regulación lateral, paralela al rotor.

TORRE

Estructura piramidal en ángulo de acero.

Altura (m): 9

TRANSMISION

Directa con mecanismo biela-manivela, carrera de 50 mm.

BOMBA

Tipo: Reciprocante de acción simple.
Diámetro (mm): 63.5
Material Cilindro: PVC
Tubo de ascenso: Galvanizado de 1"
Longitud Tubo de ascenso (m): 21
Válvulas: de pie, en la entrada de la bomba.
Altura máxima de bombeo (m): 40

Molino Holandes CWD2000

ROTOR

Tipo:

Horizontal a barlovento (Upwind)

Diámetro (m): 2.0

Diámetro de raíz (m): 0.78

Número de aspas: 6

Angulo de paso:

Variable 37 a 23 grados en la punta.

Material de aspas:

Lámina galvanizada espesor 0.5 mm.

Veloc. específica de diseño (λ_d): 1.5

Coefficiente torque de arranque: 0.15

Coefficiente de potencia máx (Cpo): 0.33

Veloc. específica de desboque: 3.0

SECCION DEL ALABE

Máxima combadura (%C): 10

Loc. Máxima combadura (%C): 50

SISTEMA DE CONTROL Y SEGURIDAD

Control de velocidad activado por rotor excéntrico y veleta lateral en madera, abisagrada

TORRE

Tubo de acero de 2" reforzado con varilla de 1/2". Base tetrahedral con tensores

Altura (m): 6.5

TRANSMISION

Directa con mecanismo biela-manivela, carrera ajustable de 25, 50, 75 y 100 mm.

BOMBA

Tipo: Reciprocante de acción simple.

Diámetro (mm): 49 ó 63.5

Material Cilindro:

PVC ó acero inoxidable

Tubo de ascenso: PVC

Longitud tubo de ascenso(m): 21

Válvulas:

de pie, en la entrada de la bomba.

Molino Holandes CWD2740

ROTOR

Tipo: Horizontal a barlovento (Upwind)

Diámetro (m): 2.74

Diámetro de raíz (m): 0.74

Número de aspas: 6

Angulo de paso:

Variable 27 a 19 grados en la punta.

Material de aspas:

Lámina galvanizada espesor 0.5 mm

SECCION DEL ALABE

máxima combadura (%C): 10

Loc. máxima combadura (%C): 50

SISTEMA DE CONTROL Y SEGURIDAD

Control de velocidad por veleta paralela al rotor y veleta en madera eclíptica.

TORRE

Estructura piramidal, en ángulo de acero

Altura (m): 9

TRANSMISIÓN

Directa con mecanismo biela-manivela, carrera ajustable hasta 60mm

BOMBA

Tipo: Reciprocante de acción simple.

Diámetro (mm): 81 o 145

Material Cilindro:

PVC o acero inoxidable

Tubo de ascenso: PVC

Válvulas

de pie, en la entrada de la bomba.

