

CONSTRUCCION Y MONTAJE DE
GENERADOR EOLICO TIPO SAVONIUS

JOSE ARMANDO DUITAMA VERGARA
LUIS ARMANDO MONGUA CAMARGO

Trabajo de proyecto de grado
presentado como requisito parcial
para obtener el titulo de
Ingeniero Mecánico.

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.
CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

1995

CONSTRUCCION Y MONTAJE DE GENERADOR
EOLICO TIPO SAVONIUS

JOSE ARMANDO DUITAMA VERGARA
LUIS ARMANDO MONGUA CAMARGO

DIRECTOR
GERMAN PALACIOS
INGENIERO MECANICO

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.
CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

1995

CONSTRUCCION Y MONTAJE DE GENERADOR
EOLICO TIPO SAVONIUS

JOSE ARMANDO DUITAMA VERGARA
LUIS ARMANDO MONGUA CAMARGO

DIRECTOR
GERMAN PALACIOS
INGENIERO MECANICO

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.
CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA

1995

Cartagena, Febrero de 1995

Señores

COMITE CALIFICADOR DE PROYECTOS

Facultad de Ingeniería Mecánica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Ciudad.

Respetados Señores:

Es para nosotros causa de orgullo y satisfacción, presentar a ustedes, la entrega del Proyecto: "Construcción y Montaje de el Generador Eólico Tipo Savonius"; desarrollado y apoyado por las directivas tanto de la Facultad de Ingeniería Mecánica como de la CUTB, para la cual en su fachada estará como símbolo del agradecimiento de todos sus egresados.

Formalmente hacemos entrega de la Obra, a manera de cumplir el último requisito para optar al título profesional de Ingeniero Mecánico.

ARMANDO MONGUA C.

JOSE ARMANDO DUITAMA

Cartagena, Febrero de 1995

Señores
COMITE CALIFICADOR DE PROYECTOS
Facultad de Ingeniería Mecánica
Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar
Ciudad.

Respetados Señores:

La presente tiene como objeto comunicarle que he aceptado la asignación de Director de proyecto que me han hecho los estudiantes JOSE A. DUITAMA Y LUIS A. MONGUA C.

El proyecto titulado Construcción y Montaje de Generador Eólico tipo Savonius, como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Mecánico.

Conciente de la responsabilidad que esto implica, he aceptado esta designación y daré todo lo que esté a mi alcance para lograr el buen desarrollo de este proyecto.

Cordialmente,

GERMAN PALACIOS
Ing. Mecánico

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al profesor Ing. Luis Majana Coneo

Ing. Miguel Romero

Al Taller IMEC LTDA

Al Taller HOGON LTDA

Y a todas aquellas que de una u otra forma contribuyeron a que este trabajo de grado se realizará.

DEDICATORIA

- A Dios
- A la Virgen de Mongui
- A mi esposa e hijos que me brindaron apoyo en todo momento durante mi carrera.

- A mis primos, tíos y familiares por su apoyo moral y confianza durante el estudio.

JOSE DUITAMA VERGARA

La Corporación se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

BIBLIOGRAFIA

- SHIGLEY, Joseph y MICTCHELL, Larry D. Diseño en Ingeniería mecánica. Ed. Mac Graw Hill. 1985
- MORING Faires, Virgil. Diseño de elementos de máquinas. Ed. Montaner y Simone. Barcelona - 1977.
- CADIZ DELEITO. Juan Carlos. La energía eólica, tecnología e historia. Ed. Herman Blume, España 1984.
- BAUMEISTER Theodore, AVALLONES A. Eugene, MARKS Manual del Ingeniero mecánico; octava Ed. en inglés (segunda edición en español) Mc Graw-Hill impresor Carvajal S.A. Cali Colombia 1990.
- G. Gary. Electrónica de automóvil. Ed. Bloume. España, Barcelona 1976.
- IRIARTE A. Carlos A. RADA JULIO Felix, RUIZ MEZA Leonel de un molino

de viento tipo Savonius para generación de energía eléctrica. Tesis de grado
Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar - Facultad Ingeniería
Mecánica.

Cartagena D.T. y C., 1994.

LISTA DE PLANOS

Plano VS-01 PUNTA INFERIOR DEL EJE

Plano VS-02 ESTRUCTURA DEL ALABE Y APOYO

Plano VS-03 ALABE

Plano VS-04 APOYOS DE ANCLAJE DE ALABES

Plano VS-05 EJE EXTREMO SUPERIOR TUERCA

Plano vs-06 PUNTA SUPERIOR DE EJE

Plano VS-07 SOPORTE INFERIOR PARA RODAMIENTOS

Plano VS-08 SOPORTE SUPERIOR PARA RODAMIENTOS

Plano VS-09 SISTEMA DE FRENO

Plano VS-10 DESPIESE SISTEMA FRENO

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. ALTURA Y DIAMETRO DEL SAVONIUS	7
Figura 2. SEPARACION Y TRASLAPO	9
Figura 3. CURVATURA DEL ALABE	11
Figura 4. EJE SUPERIOR	17
Figura 5. EJE INFERIOR	18

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Velocidad y Frecuencia	13
Tabla 2. Velocidad y Potencia	15

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. DESARROLLO DE ACTIVIDADES	3
1.1 DISEÑOS Y CALCULOS	3
1.2 ELABORACION DE PLANOS	20
1.3 CONSTRUCCION DE ELEMENTOS	20
1.3.1 Ejes	20
1.3.2 Platina de apoyo	21
1.3.3 Alabes	22
1.3.4 Adicionales	23
1.4 MONTAJE	24
2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
2.1 CONCLUSIONES GENERALES	26
2.2 CONCLUSIONES PARTICULARES POR OBJETIVOS	

PROPUESTOS

27

2.2.1 Objetivo general

2.2.2 Objetivos específicos	29
2.3 RECOMENDACIONES	32
3. PAUTAS DE MANTENIMIENTO	35
3.1 SEMANALES	35
3.2 MENSUALES	35
3.3 ANUALES	36
BIBLIOGRAFIA	37

INTRODUCCION

El presente informe es un resumen del trabajo realizado como requisito último para obtener el título de Ingeniero Mecánico, que nos orienta acerca de los objetivos logrados en el desarrollo de este.

En el se plantea como nació la necesidad de construir y montar el generador eólico tipo Savonius, su proceso de fabricación y montaje, además se hace un recuento de los capítulos desarrollados en el trabajo escrito.

Finalmente se esbozan las recomendaciones, pautas de mantenimiento, bibliografía y conclusiones que se obtuvieron al finalizar el proyecto.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una vez realizado el proyecto de grado "Diseño de un Molino de viento tipo Savonius para generación de energía eléctrica", se crea la necesidad de la construcción y montaje del generador tipo Savonius.

Con base en el anterior proyecto y en los esquemas del conjunto, se requiere realizar la ingeniería de detalles y despiece; formular sus construcción para facilitar el ensamble y mantenimiento en el lugar del montaje.

Se debe estudiar y analizar dos o tres alternativas de manteriales, tales como aluminio-acero galvanizado, fibra de vidrio o material aglomerante o combinarlos para obtener una relación de rigidez contra peso apropiado.

Se debe diseñar un sistema de freno fácil de operar y que posea rigidez.

Como utilidad del proyecto se debe construir un sistema, que permita

aprovechar la energía cinética para transportarla en energía eléctrica.

Paralelo a lo anterior se debe analizar en detalle el anclaje apoyos, soportes alineamientos de unión (soldaduras, remaches recubrimientos etc.), construcción de partes, doblados y finalmente ajustes, ensamble, montaje y pruebas.

En la etapa de construcción y montaje se debe prever el apoyo de los talleres de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar (Industrial, soldadura y electricidad) con el fin de cumplir con el cronograma, así como de reducir los costos que en conjunto son apreciablemente altos.

2. METODOLOGIA EMPLEADA

Para la realización del proyecto de grado se basó en el proyecto de grado "Diseño de un molino de viento tipo Savonius para generación de energía eléctrica", la colaboración de un asesor, el director de proyecto y con el visto bueno del señor Decano Ing. Luis Majana C. quien seguía detalladamente el trabajo para alcanzar los objetivos propuestos.

Los Parámetros para la fabricación del generador eólico que se tuvieron en cuenta son:

- Solidez de la hélice
- Número de aspas
- Secciones o etapas en que se divide el rotor
- Separación
- Traslapo
- Curvatura de la hélice
- Relación de altura-diámetro
- Coeficiente de celeridad
- Frecuencia

- Coeficiente de potencia
- Potencia
- Diámetro de los ejes
- Selección de valineras
- Multiplicador

Una vez estudiados los parámetros se procedió a la elaboración de planos, construcción de los elementos, el montaje y la puesta en marcha.

Para la construcción de los elementos se desarrollaron las siguientes actividades:

- Fabricación de los ejes, consistentes en dos extremos montados en valineras permitiendo el giro del generador.
- Trazado corte y soldadura de las platinas de apoyo que son unidas a las puntas interiores de los ejes y a los extremos de los alabes.
- Trazado corte y soldadura del armazón que forma los alabes, buscando esbeltez sin desmejorar la rigidez requerida para transmitir la fuerza variable del viento.
- Seleccionar los elementos adicionales como son: Freno, poleas,

multiplicador soporte del generador y correas.

El montaje se realiza en cuatro etapas:

La primera etapa consiste en el montaje de los apoyos inferiores controlando la verticalidad.

La segunda, el montaje del apoyo superior verificando alineamiento y la distancia entre los apoyos inferior y superior.

La tercera, consiste en el montaje de los alabes.

La cuarta, es la instalación de los elementos adicionales como el freno, las poleas, los soportes para el multiplicador y el generador; al final los ajuste y la puesta en marcha.

3. CONCLUSIONES

Realizado el proyecto se pueden resaltar los siguientes aspectos:

De acuerdo a medidas reales tomadas con un Solmac (aparato para medir la velocidad del viento) se establecen las condiciones de operación, que permitirá en el futuro desarrollar la teoría apropiada y un sistema que modifique la tobera la cual facilitará obtener mayor rendimiento.

Con el generador Savonius construido se consiguieron resultados relativamente buenos, el éxito radica en mejorar los sistemas de control y medidas de eficiencia para desarrollar el generador a manera comercial.

Constructivamente es un proyecto de ingeniería completo que garantiza su funcionalidad y condiciones de arranque en cualquier posición para velocidad mínima de 2.17 mts x seg.

4. RECOMENDACIONES

- Adquirir un sistema de control digital (medidores de temperatura, humedad, presión, velocidad del viento, etc.) el cual es un gran apoyo a las ramas como térmicas, refrigeración, neumáticas, hidráulicas, resistencia de materiales, etc.
- Optimizar el funcionamiento del túnel de viento.
- Analizar materiales no rígidos para la fabricación de los alabes con menos peso.
- Realizar estudios y diseños de mecanismos que aprovechen el menor torque producido por Savonius y transmitirlo a otros ejes para crear altas velocidades, para un mejor aprovechamiento en la transformación de la energía cinética en la energía eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

- SHIGLEY, Joseph y MICTCHELL, Larry D. Diseño en Ingeniería Mecánica. Ed. Mac Graw Hill. 1985
- MORING Faires, Virgil. Diseño de elementos de máquinas. Ed. Montaner y Simone. Barcelona- 1977.
- CADIZ DELEITO. Juan Carlos. La energía eólica, tecnología e historia. Ed. Herman Blume, España - 1984.
- BAUMEISTER Theodore, AVALLONES A. Eugene, MARKS. Manual del ingeniero mecánico; octava Ed. en inglés (segunda Ed. en español) Mc Graw Hill impresor Carvajal S.A. Cali - Colombia 1990.
- G. Gary. Electrónica de automóvil. Ed. Bloume. España - Barcelona 1976.

- IRIARTE A. Carlos A. RADA JULIO Felix, RUIZ MEZA Leonel Diseño y
construcción de un molino de viento para la generación de energía
eléctrica. Tesis de grado Corporación Universitaria Tecnológica de
Bolívar- Facultad de Ingeniería mecánica. Cartagena D.T. y C.
1994.

INTRODUCCION

De acuerdo a la planeación de la facultad de ingeniería Mecánica y del Comité de Proyectos de Grado, el presente trabajo es continuación (construcción y montaje de generador eólico tipo Savonius) de la tesis, presentada a la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar en 1994, a las facultades de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, con el título de "DISEÑO DE UN MOLINO DE VIENTO TIPO SAVONIUS PARA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA" con el número Tim-62145 - I68 - Ej: 2. En la practica se ha logrado en dos etapas el desarrollo integral.

En la practica se ha logrado en dos etapas el desarrollo integral del proyecto con la supervisión acertada y permanente de la decanatura de la Facultad así como de los docentes de área, con las modificaciones realizadas, como en todo proyecto para lograr optimización y mejores resultados.

El presente informe, resume la realidad técnica de optimización que

transcurre desde el proyecto de Diseño de un generador eólico tipo SAVONIUS hasta la construcción de partes, ensamble y montaje, así como la responsabilidad de puesta en marcha. El anterior proceso se evaluó, se optimizó y se realizó con bases en pruebas de ajustes de perfil mediante la construcción de cuatro prototipos a escala, para tener una garantía inicial sobre la fiabilidad técnica de funcionamiento.

Se analizarán los objetivos planteados, sus modificaciones, la relación de acuerdo a una gama prevista de construcción el porcentaje de cumplimiento, las recomendaciones y conclusiones, así los planos definitivos de subconjuntos de construcción.

En realidad se siente satisfacción profesional por el respaldo de la CUTB, ante un reto tan importante que solo busca mostrar la integridad y capacidad de los Ingenieros de este importante centro de formación superior.

1. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

1.1 DISEÑOS Y CALCULOS

Del proyecto "Diseño de un molino de viento tipo Savonius para generación de energía eléctrica" registrado en la biblioteca como "Tim 621,45 -I68 - Ej: 2" se requería como en todo proyecto de Ingeniería entenderlo, evaluarlo y optimizarlo. Al transcurrir las tres primeras semanas sólo se había logrado comprender a fondo toda la información.

Con la colaboración de un asesor, el director del proyecto Ing. GERMAN PALACIOS, y un trabajo en equipo se logró después de cinco semanas adicionales lograr el visto bueno del Sr. Decano Ing. LUIS MAJANA C., quien seguía detalladamente y apoyaba el trabajo para alcanzar los objetivos propuestos.

Este desplazamiento sufrido en el tiempo era una medida necesaria e indispensable, pues se había logrado comprender que era posible mejorar el funcionamiento y por ende el rendimiento del generador eólico.

A continuación relacionamos los parámetros, para la fabricación del generador eólico, teniendo en cuenta los parámetros del "Diseño de un molino de viento tipo Savonius para generación de energía eléctrica".

- Solidez de la hélice
- Número de aspas
- secciones o etapas en que se divide el rotor
- Separación y traslapo
- Curvatura d la hélice
- Relación de altura - diámetro
- Coeficiente de celeridad
- Frecuencia
- Coeficiente de potencia
- Potencia
- Diámetro de los ejes
- Selección de valineras
- Multiplicador de velocidad

- Solidez de la hélice (SH)

"Relación, que existe entre el aire real de la superficie del ala del generador y

el área barrida" (fig.1)

$$SH \frac{\text{Area real de un aspa} \times \text{No. de aspas}}{\text{Area barrida}}$$

De la gráfica No. 1 deducimos que:

$$\text{Area real de un aspa} = \left(\frac{\pi}{4} \times d \times H \right) + B \times H$$

Número de aspas = 2

Area barrida = D x H

Por diseños asumidos que:

$$r = 625\text{mm} \approx 0.625\text{m.}$$

$$h = 4.00\text{mm} \approx 4.0\text{m.}$$

$$B = 1.00\text{mm} \approx 1.0\text{m}$$

$$D = 3.00\text{mm} \approx 2.0\text{m}$$

Entonces el valor de solidez de la hélice

$$SH = \frac{(\pi \times H \times B \times H) \times N^{\circ}}{D \times H} = \frac{(\pi \times 2 \times r + B) \times N^{\circ}}{D}$$

$$= \frac{(\pi \times 0.625\text{m.} + 1.0\text{m.}) \times 2}{3.0\text{m}} = 1.32$$

$$SH = 1.32$$

- Número de aspas (N°)

De las páginas 85 y 86 de la tesis anterior y los generadores de dos aspas, presentan buen arranque y estabilidad en los cambios de dirección y velocidad del viento.(fig.1)

$$N^{\circ} = 2$$

- Secciones o etapas en que se divide el rotor (ET)

Teniendo presente, el área de instalación, la facilidad de fabricación y evaluación de costos, se seleccionó al Savonius con un sólo cuerpo (fig. 1)

- Separación y traslapo

La separación (s) y el traslapo (tr) en un generador eólico Savonius, es muy importante. Con estos parámetros conseguimos ganar rendimiento en la fuerza del viento, utilizando el viento que ha realizado el trabajo sobre un alabe "A" e impulsarlo por una tobera hacia el alabe "B" que hace resistencia al giro del rotor. (fig.2)

De acuerdo a la experiencia realizada en prototipos y teniendo en cuenta la rigidez y estética del rotor del generador eólico se tomó como valores de la separación y el traslapo para este proyecto las siguientes:

$$S = 0.30\text{m}$$

$$\text{Tr} = 0.60\text{m}$$

Estos valores pueden ser modificados para dar mayor o menor rendimiento y aumentar o disminuir el toque en el eje transmisor.

- Curvatura de la hélice

De las páginas 94 a 141 del anterior proyecto, se tomaron bases para idear otros alabes, los cuales fueron sometidos a ensayos sacando como conclusión fabricar el presentado en este proyecto. (fig.3)

- Relación de altura diámetro

Seleccionando la Relación de 1 a 3 molinos de viento, que trabajan a baja velocidades y baja velocidad del viento (pags. 84-93 a 117), se determinó que: (fig.1)

$$H = 4.0\text{m}$$

$$D = 3.0\text{m}$$

De donde

$$H/D = \frac{4.0}{3.0} = 1.33$$

$$1 < 1.33 < 2$$

- Coeficiente de celeridad (C.C.)

El coeficiente de celeridad, es la relación, entre la velocidad en el extremo del alabe y la velocidad del viento que la impulsa. (pag.71) basándose en la experiencia realizada en prototipos y teniendo en cuenta la velocidad del viento en la cede de ternera se tomó el coeficiente de celeridad.

$$C_c = 1.34$$

- Frecuencia

Es la relación entre el número de vueltas por unidad de tiempo.

$$Fr = \frac{C_c \times V}{2 \times x_r}$$

La frecuencia depende de la velocidad del viento, para diferentes velocidades de viento (pag. 118) se tienen diferentes frecuencias (pag. 119)

TABLA 1. VELOCIDAD, FRECUENCIA

V (M/S)	F (RPM)
2	17.06
3	25.59
4	34.12
5	42.65
6	51.18
7	59.71
8	68.24
9	76.78
10	85.31
11	93.64

-Coeficiente de potencia (CP)

Coeficiente de potencia (pag. 82-83) relación entre la potencia útil del generador y la potencia máxima del mismo.

$$CP = \frac{\text{Potencia útil del generador}}{\text{Potencias máxima}}$$

Idealmente el coeficiente de potencia tendrá un valor máximo de 0.593.

En diseños reales se han comprobado valores entre 0.35 y 0.25.

- Potencia

Considerando la potencia (pag. 76) como, el trabajo realizado por, la fuerza de empuje del viento sobre las aspas.

$$P = W$$

$$W = F.V$$

$$F = \frac{1}{2} P.A.V.2$$

$$P = \frac{1}{2} P.A.V.3$$

Potencia útil

De la página 83 - 84

$$P_u = P.E$$

$$P_u = \frac{1}{2} P.A.V^3. CP$$

$$P = 1.16 K/m^3$$

$$A = 1.33 D^2$$

$$D = 3.0m$$

$$CP = 0.25$$

$$P_u = 0.5 \times 1.16 \times 1.33 \times (3.0)^2 \times 0.25.V^3$$

$$P_u = 1.73 V^3$$

Con la ecuación de potencia útil y teniendo en cuenta que la velocidad del viento es variable, podemos construir una tabla de velocidad y potencia para el generador diseñado

TABLA 2. VELOCIDAD Y POTENCIA

V (M/N)	P (W)
2	13.84
3	46.71
4	110.73
5	216.25
6	373.68
7	593.39
8	885.73
9	1261.17
10	1730.00
11	2302.63

-Diámetro de los ejes

Los ejes donde rotará el generador Savonius son: uno en la parte superior (fig. 4) y otro en la parte inferior (fig.5) además descansarán los alabes.

Del proyecto anterior páginas 224 a 228 observemos:

Para cargas estáticas $d = 0.77$ pulg. equivalente a 19.554mm.

Para calculo por fatiga tenemos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot n}{\pi} \left(\frac{T_a}{S_e} + \frac{T_m}{S_y} \right)^{1/3}}$$

$d =$

Para $n = 8$

$T_a = T_m = 867.81$ Lb - pulg.

$S_e = 11.91 \times 10^3$

$d = 115.62$

De lo anterior podemos deducir que diámetro mínimo del eje es 115.62 por lo tanto, el diámetro seleccionado para nuestros ejes de 112 está sobrediseñado.

- Rodamientos

De las páginas 212 a 217 del proyecto anterior.

Rodamiento número 30219 Skf

D = 170mm

d = 95mm

C = 1370

- Pernos de bridas superior e inferior

Diseño en la página 218 al 224

Diámetro de los pernos \varnothing 3/4"

Cantidad = espernos

- Multiplicador de la velocidad

Las selección del multiplicador de velocidad dependen del generador de energía eléctrica, que funciona con un mínimo de 900 RPM y un máximo de 1800 RPM; y teniendo en cuenta la frecuencia del generador eólico se escogió el modelo MPH 240 de la fábrica FAMA.

Relación 1 - 45

1.2 ELABORACION DE PLANOS

Una vez tomadas las decisiones técnicas correspondientes a las modificaciones de diseño, se inicia la ejecución de planos originales, los cuales al transcurrir el tiempo del proyecto se han modificado algunas veces por razones constructivas, económicas o por falta de utillaje apropiado para las diferentes etapas de construcción y montaje. Las cuatro semanas solicitadas en un principio se han convertido al sumas el acumulado en seis semanas, las cuales no han concluido pues hasta ahora se han introducido las especificaciones que en definitiva se utilizaron.

1.3 CONSTRUCCION DE ELEMENTOS

Para la construcción propiamente dicha, las actividades desarrolladas fueron:

1.3.1 Ejes. Se refiere a este término la fabricación de dos extremos que permiten al giro pero que la unión estructural se realiza a través de los alabes. Las actividades se relacionan a continuación:

- Transporte de materiales al taller

- Corte de ejes a longitudes según plano
- Torneado: Cilindrado, refrendado y perforado roscado
rectificado entre puntos para ajustes de
rodamientos chaveteros (Prensa de la Torre)
Construcción de tuerca y anillo de empuje.

Observar planos: Sv-05 eje extremo superior, tuerca plano Sv-06 punta superior de eje, plano SV-01 punta inferior del eje.

1.3.2 Platina de apoyo. Se refiere a una platina unida a la puntas interiores de los ejes y a los extremos de los alabes. Esta platina se unió a los ejes sobre el perímetro circular a la vez que se le suministraron cuatro venas o nervios de apoyo para limitar las flexión y permitir mejor transición de la carga por torsión, de manera adicional se une por 3 pernos de 3/4" al alabe que posee la rosca extendida sobre una platina de 1/2" de espesor que constituye el límite recto del perfil en el extremo, con tuerca posterior soldada.

- Trazado
- Oxícorte y acabado del perímetro con pulidora
- Perforado y roscado
- Soldar nervios

- Soldar al eje

Observar plano: N° SV-04 apoyos de anclaje Sv-02 estructura del alabe y apoyo.

1.3.3 Alabes. Se busca esbeltez sin desmejorar la rigidez requerida para transmitir la fuerza variable de torsión la cual es función de la longitud del perfil. Por esta razón se escoge la sección semicircular de un interior del alabe; seguidamente un tubo de menor diámetro facilita someter el alabe a una precarga de tensión (tuerca del extremo superior del eje), para mejorar las condiciones de transmisión de torsión a la vez que elimina el flector hasta esta parte del alabe y finalmente se construye el arco estructural del perfil de manera que su estructura admita y transmita el empuje ocasional del aire sin perder apoyo el cual se refuerza por un Damper o postizo que encajará la corriente en el extremo y la conduce a través de la tobera axial diseñada entre los alabes.

Observar plano SV-02 estructura del alabe y apoyo SV-03 alabe.

- Copiar
- Fabricar galgas
- Realizar corte y pulido
- Cortar tubo central

- Soldar (punteados externos)
- Ubicar la distribución completa
- Soldar de forma definitiva
- Curvar distanciador extremo de arcos
- Cortar refuerzos interiores de rigidez y soldarlos
- Soldar correas de apoyo de material para remaches
- Cubrir el alabe con la lámina de aluminio a la vez que se remacha.
- Pintura de apoyo y de acabado
- Transporte al sitio de montaje

1.3.4 Adicionales. Se consideran los elementos adicionales: Freno, poleas, multiplicador, extensión del eje, soporte del generador y correas. (plano SV-09 sistema de freno) Sv-10 despiece sistema de freno.

Este sistema se reduce a la construcción de los soportes suspendidos de la placa, ya que todos son normalizados en dimensiones de apoyo y servicios.

1.4 MONTAJE

1ª ETAPA. Se hace el montaje del apoyo inferior y se controla la verticalidad del eje y el nivel octagonal de la placa de apoyo.

2ª ETAPA: Se realiza el ensamble sobre la estructura superior del apoyo. Se

verifica la alineación entre apoyos y su distancia interior. Como la distancia entre apoyos y sus distancia interior. Como la distancia es superior se reduce a 4.002/4003mm, posición de la cual se ancla la estructura a las columnas de concreto.

3ª ETAPA: Se bloquea el giro, se montan alabes y se ajusta para que la holgura permita presentar el alabe.

4ª ETAPA: Se instala el multiplicador y luego el generador con palanca basculante para tensionar el sistema.

No se presentaron cambios apreciables, solo de requisición en el reductor de par por el rango de velocidades de salida a manejar.

En la página siguiente aparece la modificación a la programación que se presento en el anteproyecto, que por razones naturales de las modificaciones, subieron los costos como adición presupuestal en cualquier proyecto de desarrollo e investigación.

2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.1 CONCLUSIONES GENERALES

A través de medidas reales tomadas con un SOLMAQ se establecen las condiciones de operación, que por seguimiento permitirá en el futuro desarrollar la teoría apropiada y un sistema que modifique la tobera de acuerdo al régimen de velocidad, lo cual facilita obtener el mayor rendimiento para las condiciones eólicas del lugar, como se hizo pero para medidas discretas.

Se ha obtenido un resultado relativamente bueno, el éxito radica en mejorar los sistemas de control y medidas de eficiencia ya que se busca obtener condiciones mejoradas de rendimiento para desarrollar a manera comercial.

Constructivamente es un proyecto de ingeniería completa, en el cual se tiene que cubrir todos los aspectos técnico para lograr un producto que debía

funcionar como realmente funciona y que garantice condiciones de arranque en cualquier posición para una velocidad mínima de 2,17 m/s., así como estabilidad estructural condiciones de operación variables.

Definitivamente el trabajo en equipo conduce a una respuesta prevista, que debe continuarse en todo tipo de proyecto porque se sintió la presión de toda la CUTB al confrontar la propuesta con el resultado; si se manejan de esta manera tan supervisada los trabajos de grado estamos seguros que los resultados futuros son promisorios.

2.2 CONCLUSIONES PARTICULARES POR OBJETIVOS PROPUESTOS

2.2.1 Objetivo general. Se busca examinar el alcance básico de la propuesta planteada en el anteproyecto de forma crítica e imparcial.

Diseñar estructuralmente.

Realmente en este punto se lograron resultados buenos, ya que se redujo el peso del diseño inicial en aproximadamente cinco veces, esto es que se busco un modelo estructural más liviano en un 80%.

El resultado anterior se logra:

- Eliminado el eje básico de torsión
- Transmitiendo el torsor a través d la estructura del alabe.
- Distribuyendo los esfuerzos de manera simétrica.
- Buscando un perfil acomodado al refuerzo estructural sin sacrificar eficiencia.

Construir y montar prototipo.

De acuerdo a los logros iniciales se creó una secuencia de pasos o etapas para:

- Solicitar (requisición) de materiales
- Mecanizados
- Trazados y cortes
- Preensambles (unidos por puntos de soldadura)
- Cubrimiento de alabes
- Instalación de alabes
- Montaje de alabes
- Prueba de funcionamiento en vacío
- Pintura
- Prueba final y entrega

Del anterior punto de vista el objetivo general fue completamente alcanzado y superado ya que fue optimizado tanto el peso como el rendimiento del generador al mejorar el perfil y su posición relativa a los apoyos.

2.2.2 Objetivos específicos. Seleccionar los materiales más apropiados dentro de aquellos que se ofrecen local o nacionalmente para construir cada uno de los elementos del conjunto.

Este objetivo se vino a cumplir después del período de modificaciones y optimización. Su relación fue el resultado de los planos desarrollados, pero en si los materiales según su aplicación fueron los mismos, esto es una estructura (esqueleto), en acero estructural y cubierta en aluminio.

- Definir los procesos de construcción y de ensamble, para formar módulos intercambiables.

Se cumple la primera parte, pero la segunda se ve relevada por la decisión de construir el alabe en un solo tramo y no en secciones modulares, según el diseño por secciones confinadas entre discos de aluminio y desface angular de 45° de diseño del proyecto anterior.

- Construir según plano de detalle y conjunto, con las tolerancias propias de

acople, sujeción, enclavamiento y ensamble, para estandarizar piezas múltiples o únicas.

Este objetivo se cumple totalmente, solo se presenta en forma de subconjuntos para facilitar la comprensión de la distribución y posicionamiento para el montaje.

- Presentar las memorias de los cálculos de diseño.

Realmente el método de diseño realizado en el proyecto anterior no se cambia, lo que sufre transformación es la concepción de funcionamiento y la distribución de dos alabes estructurales en cambio de cuatro pares desfasados para "permitir el arranque".

- Ofrecer la evaluación de costos e informes de proveedores de la CUTB, para facilitar la adquisición oportuna de los materiales.

En este aspecto hay que resaltar que fue adelantado por la división de compra de CUTB, excepto en la selección y adquisición del reductor de par.

- Generar cuando se requiera algún trabajo en los talleres de la institución una orden en formato con la revisión y autorización requeridas.

Respecto a éste objetivo, no fue posible debido a que se necesita elegir un lugar de construcción (IMEC S.A.) que ofreciese todos los servicios (Equipos, espacios, dispositivos y apoyo en herramientas), y talleres HOGON (Mecanizados - por capacidad de la máquinas), lo cual no permitía integrar el apoyo del taller industrial de la facultad, pero si es necesario resaltar la eficiencia en el suministro de andamios, planchones, manillas, etc., que permitió agilizar mediciones, instalaciones y montaje.

- Hacer seguimientos permanentes al organigrama de construcción.

Al tener un tiempo limitado, se hizo de manera permanente el seguimiento del organismo para lograr ajustas decisiones y operaciones al cumplimiento propuesto.

- Capacitar y supervisar al mecánico, previamente nombrado por la CUTB para que realice el programa de ensamble y montaje.

Debido a que se desplazaron las operaciones y el sitio de trabajo se hizo aconsejable la utilización del auxiliar mecánico ofrecido por la CUTB, con el sobre costo en que se incurrirá al lograr con IMEC LTDA, la utilización de sus planta física, los fines de semana y festivos, que permite una reducción

importante de costos.

- Revisar toda la instalación antes de pruebas iniciales.

Se realiza con mucho cuidado, ya que existe riesgo según la elevación del sitio de montaje, encontrando ajustado a lo previsto en funcionamiento. Se desmonta para ajustes finales y pintura con color seleccionado por el arquitecto de la CUBT.

- Ejecutar la puesta en marcha

Se logra sin sobresaltos con cierta tensión pues un proyecto de esta magnitud era un reto difícil de aceptar, ya que no hay registros de apoyo para el nuevo perfil obtenido por simulación a escala.

2.3 RECOMENDACIONES

- Adquirir un sistema de control digital (flujo temperatura, humedad, presión, etc. SOLMAQ), el cual permite un gran apoyo a la división de térmicas, refrigeración y aire acondicionado, neumática, hidráulica, etc.
- Optimizar el funcionamiento del túnel de aire.

- Respetuosamente solicitamos se haga una investigación sobre la característica "topográfica": Tobera, posición y velocidad. Hacer pruebas de adherencia sobre perfiles de alabes.

- Analizar materiales no rígidos como películas plásticas y fibras de vidrio que disminuyen el peso en alabes en aproximadamente un 25% adicional.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES SEGUN CUMPLIMIENTO DE OBRA

ITEM	DESCRIPCION	SEMANAS/ETAPA ACUMULADAS	
1	Diseños y cálculos	7	8
2	Elaboración de planos	6	14
3	Construcción de elementos	15	29
4	Montaje	8	37
5	Instalaciones	2	39
6	Pruebas y ajustes de detalle	3	42
7	Transcripción de memorias	1	43
8	Entrega y calificación	2	45

			11 meses

3. PAUTAS DE MANTENIMIENTO

3.1 SEMANALES

Lubricación de soportes (rodamientos), utilizando grasa/fibra corriente.

Revisión visual de conexiones y generación, así como vigilar nivel ruido o vibraciones.

Referencia especial se debe hacer al bloquear el giro una vez accionado el freno para engrase o actividades de mantenimiento.

3.2 MENSUALES

Revisión de la superficie del alabe, así como el estado de tensión previa de tornillos y estado de soldaduras y pinturas.

Lavado con chorro de agua a presión a los alabes.

3.3 ANUALES

Pintura de todo el generador, cambio del retenedor y medición del alabeo al interior década soporte.

