

**Título del Proyecto
de Investigación a que corresponde el Reporte Técnico:**

Cascada de alabes para la determinación del número mínimo de álabes del estator necesario para que el flujo que incide en los bordes delanteros de los álabes del rotor sea desviado a un ángulo promedio de por lo menos 45° . Con la aplicación final en un túnel

Tipo de financiamiento

Sin financiamiento

Autores del reporte técnico:

Diego Moisés Almazo Pérez
Abdiel Ramírez Reyes
Carlos Alberto Ochoa Ortiz
Bárbara Alexandra Anaya Sánchez

TÍTULO DEL REPORTE TÉCNICO

Resumen del reporte técnico en español (máximo 250 palabras)

En este trabajo se determinó de manera experimental el espacio máximo que debe tener de separación entre los ejes álabes de un estator de compresor axial para obtener el mayor rendimiento con menor número de álabes. Se utilizó una cascada de 5 y 4 álabes con un perfil NACA-65 410, montada en una sección de pruebas de un túnel de viento subsónico, con diferentes separaciones entre sus ejes. Mediante tubos pitot se lograron de terminar la presión dinámica y una balanza montada sobre el túnel de viento se obtuvo la fuerza de arrastre. Con la finalidad de comparar los datos obtenidos y elegir la mejor opción.

Resumen del reporte técnico en inglés (máximo 250 palabras):

In this work, the maximum space that the separation between the shafts of an axial compressor must have is experimentally determined to obtain the highest return with the least number of shafts. It uses a cascade of 5 and 4 blades with a NACA-65 410 airfoil, mounted in a test section of a subsonic wind tunnel, with different separations between them. Pitot tubes are placed to record the dynamic pressure and a balance is mounted in the wind tunnel where the arresting force is obtained. In order to compare the dates obtained and choose the best option.

Palabras clave: Cascada de álabes, CFD, Mecánica de fluidos, álabes, túnel de viento.

Usuarios potenciales (del proyecto de investigación)

Comunidad de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Universidades públicas y privadas, laboratorios nacionales e internaciones de Termofluidos, empresas del sector Energético y aeroespacial.

Reconocimientos (agradecimientos a la institución, estudiantes que colaboraron, instituciones que apoyaron a la realización del proyecto, etc.)

Agradecimiento a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a los alumnos Laura Pamela Castro Sánchez de la UACJ y Brian Ávila de tecnológico d Ciudad Serdán.

1. INTRODUCCIÓN

Los compresores axiales son una pieza fundamental en la industria por su transmisión de energía a un fluido. Son ocupados para energía como en la propulsión de barcos, submarinos, helicópteros y aviones. Además, se caracterizan por tener un flujo del aire de forma paralela al eje pasando por un arreglo de álabes que le suministran energía, el cual hace que sea uno de los más eficientes al mover grandes caudales.

En la actualidad este campo es desconocido en México habiendo poca investigación. Según la revista El Economista; la Industria Aeroespacial en México está en auge, al presentar crecimiento en sus exportaciones de 11% en el 2018 respecto al año previo (Gonzales L. 2019). Lo cual uno de las partes realizadas son los álabes de compresores axiales y turbinas. Los álabes por su forma y material resultan costosos en la fabricación.

La reducción de álabes dentro de un compresor reduciría el costo, para ello, una de las principales maneras de analizarlo es por medio de una cascada. Una cascada es un conjunto de álabes de perfil deseado en una forma lineal y es sometidos a un flujo con ciertas condiciones (Morales A., Tolentino G. 2010).

El objetivo de este trabajo es determina de manera experimental el espacio máximo que debe tener de separación los ejes álabes del estator de un compresor axial para obtener el mayor rendimiento con menor número de álabes. Para ello se ocupar el

método de la cascada de álabes con diferentes separaciones y ángulos de incidencia, para obtener los datos de presión y arrastre, con el fin de calcular la velocidad.

Adicionalmente se compararán los datos obtenidos, para determinar la mejor opción que brinde menor arrastre y mayor velocidad.

2. PLANTEAMIENTO

Existen dos amplias categorías de turbomaquinaria, bombas y turbinas. La palabra bomba es un término general que designa a cualquier máquina hidráulica que añade energía a un fluido. Algunos autores llaman a las bombas dispositivos que absorben energía, porque la energía se les debe suministrar, y transfieren la mayor parte de esta energía al fluido, por lo regular, mediante una flecha rotatoria. El incremento en la energía hidráulica se experimenta como un aumento en la presión del fluido. Por otro lado, las turbinas son dispositivos que producen energía porque extraen la energía del fluido y transforman la mayor parte de esa energía a una forma de energía mecánica, casi siempre mediante una flecha rotatoria. El fluido en la descarga de la turbina experimenta una pérdida de energía, por lo general en forma de pérdida de presión.

De acuerdo con la ley de conservación de la masa, se sabe que la cantidad de masa que entra a la bomba debe ser igual a la cantidad de masa que abandona la bomba. Si el flujo es incompresible, el gasto volumétrico en la entrada y el gasto volumétrico en la descarga también deben ser iguales. Además, si el diámetro de la descarga es igual al de la entrada, la conservación de la masa exige que la velocidad promedio en la descarga debe ser idéntica a la velocidad promedio en la entrada. En otras palabras, la bomba no aumenta necesariamente la velocidad del fluido que pasa por ella, sino que incrementa la presión del fluido. Claro que, cuando la bomba se apaga ya no habrá ningún flujo. Así que, la bomba sí aumenta la velocidad del fluido si se le compara con el caso en que no hay bomba en el sistema. Sin embargo, de acuerdo con los cambios desde la entrada hasta la salida a través de la bomba, no necesariamente aumenta la velocidad del fluido (la velocidad de salida podría ser más baja que la velocidad de entrada si el diámetro de la descarga es mayor que el de la entrada).

Las máquinas hidráulicas que impulsan líquidos se denominan bombas, sin embargo, por lo que se refiere a los gases hay varios nombres para las máquinas que los mueven. Un ventilador es una bomba de gases que eleva ligeramente la presión y la razón de un flujo alta. Entre los ejemplos están los sopladores centrífugos y los ventiladores en jaula de ardilla del sistema de ventilación de los automóviles, hornos y ventiladores de álabes. Un compresor es una bomba de gas diseñada para entregar caudales, desde bajos hasta moderados, a una presión muy alta. Como ejemplos están las compresoras de aire que activan herramienta neumática y que llenan de aire las llantas de los vehículos en las estaciones de servicio, además los compresores de gas refrigerante que se utilizan en las bombas de calor, refrigeradores y acondicionadores de aire. El nombre apropiado para las bombas y las turbinas, en las cuales la energía se suministra o se extrae mediante la flecha rotatoria es turbomáquinas, ya que el prefijo latino turbo significa girar. No todas las bombas y las turbinas cuentan con una flecha rotatoria.

Las turbinas dinámicas se usan como dispositivos para medir flujo y también como generadores de potencias. Por ejemplo, los meteorólogos emplean un anemómetro de tres copas para medir la velocidad del viento. Los investigadores de mecánica de fluidos experimental utilizan pequeñas turbinas de varias formas (la mayoría de ellas semejan pequeñas hélices) para medir la velocidad del aire o la velocidad del agua. En estas aplicaciones, la salida de potencia de la flecha y la eficiencia de la turbina son de poco interés. Más bien, estos instrumentos están diseñados de modo que su velocidad rotacional puede calibrarse con exactitud para la velocidad del fluido. Entonces, cuando se cuenta de manera electrónica el número de rotaciones por segundo de los álabes, el dispositivo calcula y muestra la velocidad del fluido.

Las máquinas hidráulicas podrían clasificarse en máquinas de desplazamiento positivo o máquinas dinámicas, según sea la manera en la que ocurre la transferencia de energía. En las máquinas de desplazamiento positivo, el fluido se dirige hacia adentro de un volumen cerrado. La transferencia de energía al fluido se acompaña por un movimiento de las fronteras del volumen cerrado, lo cual causa

la expansión o la contracción del volumen, debido a lo cual se succiona líquido o se fuerce a salir, respectivamente. El corazón es un ejemplo adecuado de una bomba de desplazamiento positivo. Un ejemplo de una turbina de desplazamiento positivo es el medidor de agua de las casas en el cual el agua se obliga a entrar en una cámara cerrada de un volumen que se expande, que está conectada a una flecha de descarga que gira a medida que el agua entra a la cámara.

En las máquinas dinámicas no hay un volumen cerrado. En este caso, los álabes rotatorios suministran energía a un fluido o la extraen de él. Por lo que se refiere a las bombas, los álabes rotatorios se llaman álabes o aspas de rueda móvil o álabes de rotor.

3. METODOLOGÍA

1. Análisis.

El objetivo de tener una bomba es añadir energía al fluido, lo que da como resultado un incremento en la presión de éste, no necesariamente un aumento en la velocidad del fluido cuando pasa por la bomba. Un compresor es una bomba de gas diseñada para entregar caudales, desde bajos hasta moderados, a una presión muy alta. (Yunes A. y John M 2006, 736).

El compresor axial es el componente de la turbina de gas o turborreactores, encargado de transmitir la energía cinética al fluido de trabajo para conseguir el incremento de la presión requerido, por ello el impacto de obtener la mayor eficiencia.

El método más común para conocer el desempeño de un compresor es realizar pruebas en cascadas de álabes. Una cascada se define como un conjunto de álabes con la forma del perfil aerodinámico deseado que se montan inmersos en un flujo a ciertas condiciones (Morales A y Tolentino G, 2010, 3).

2. Determinación de perfil aerodinámico.

Para el desarrollo del perfil adecuado de se necesita hacer primero un análisis de flujo. Esto incluye el cálculo de las velocidades, ángulos de entrada y salida del aire, flujo volumétrico deseado, etc.

En este trabajo se consideró un perfil estándar el NACA-65 410, ocupado diversos trabajos como “Design and Analysis of Stator, Rotor and Blades of the Axial flow Compressor” (Ujjawal A. 2013). El NACA serie 6, tiene como objetivo minimizar la resistencia asegurando el flujo laminar y reduciendo la gradiente de presión adversa, obtener un Mach number crítico deseado para la reducción de resistencia en régimen transónico y por último aumentar las características de máxima sustentación (Pinzón S, 2013).

Una vez definido el perfil, buscamos en bases de datos las coordenadas (Airfoil Tools).

3. Túnel de viento.

Las pruebas se llevaron a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio de aeronáutica de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). El túnel de viento subsónico (TecQuipment - AF 100 subsonic wind tunnel). El cual cuenta con un área de trabajo de 30.5 x 30.5 x60 cm, con un rango de velocidades de 0 a 36 m/s. cuenta con dos tubos pitot para determinar las presiones dinámicas. Al túnel de viento se le monto un complemento: una balanza, que monitorea las fuerzas de arrastre y sustentación (TecQuipment - AFA 2 Basic Lift and Drag Balance).

4. Diseño de prototipo.

El prototipo se diseñó en un software de diseño asistido por computadora “SolidWorks”, la cascada de alabes se realizó de acuerdo con las medidas obtenidas del túnel de viento, esta debe de poder cambiar la separación y ángulo de incidencia, contemplando 5 álabes con una separación de 3, 4 y 5 cm de los ejes y 4 alabes para las mediciones de 6 y 7 cm de distancia.

Ocupando el perfil NACA-65 410 se realizaron los alabes con las siguientes medidas: 15 cm de cuerda y 26 cm de envergadura, además de contar con unos barrenos de 3/16 in en ambas caras a una distancia de 3.5 cm del borde de ataque y en la cara superior uno más a 4 cm de distancia con respecto al barreno realizado. Que se encuentran dentro de una caja de acrílico con un espesor de 2.7mm.

La caja compuesta por 4 placas, dos de ellas que se encuentra en los laterales cuentan con dimensiones de 5x26 cm, la placa base esta dimensionada 15x30.5 cm y la placa superior de 5x30.5cm, una última

placa de 2.5x25.5 cm que se encuentra en el mecanismo de cambio de ángulo, el cual es medido por medio de un transportador situado en la parte superior de prototipo y se alinea con los barrenos de los álabes

La placa base, superior y de mecanismo cuentan con barrenos de un diámetro de 3/16 in por la sección transversal las primeras dos a 3 cm de distancia y la última a la mitad, estos se encuentran a diferente distancia entre ellos para realizar las diferentes separaciones de la cascada

4. RESULTADOS

Las pruebas del túnel del viento se realizaron a una temperatura de 30°C dentro del laboratorio, afuera la temperatura ambiente era de 35°C, la presión atmosférica fue consultada en la página worldmeteo, 1015 hPa presión atmosférica durante las pruebas.

Del túnel de viento a una velocidad de funcionamiento entre 18-20 m/s, se obtuvieron las presiones dinámicas de entrada P0 y de salida P1. además de la fuerza de arrastre del prototipo.

Con la ecuación de presión dinámica de Bernoulli para un flujo incompresible se obtiene:

$$P_1 = P_0 + \rho \frac{v^2}{2}$$

Despejando v y haciendo la conversión de mmH2O a Pa:

$$v = \sqrt{\frac{2 * H * 9.81}{D_a}}$$

$$Y \quad D_a = \frac{100 * P_a}{K * T_a}$$

H Diferencia de presión dinámica (mmH2O).

V Velocidad (m/s).

Ta Temperatura ambiente (°K).

R Constante de los gas (287 m2/s2K).

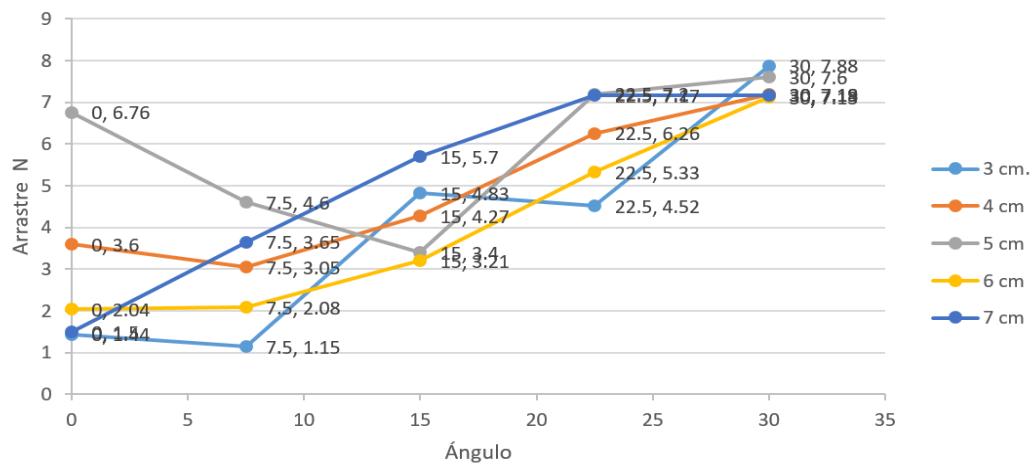
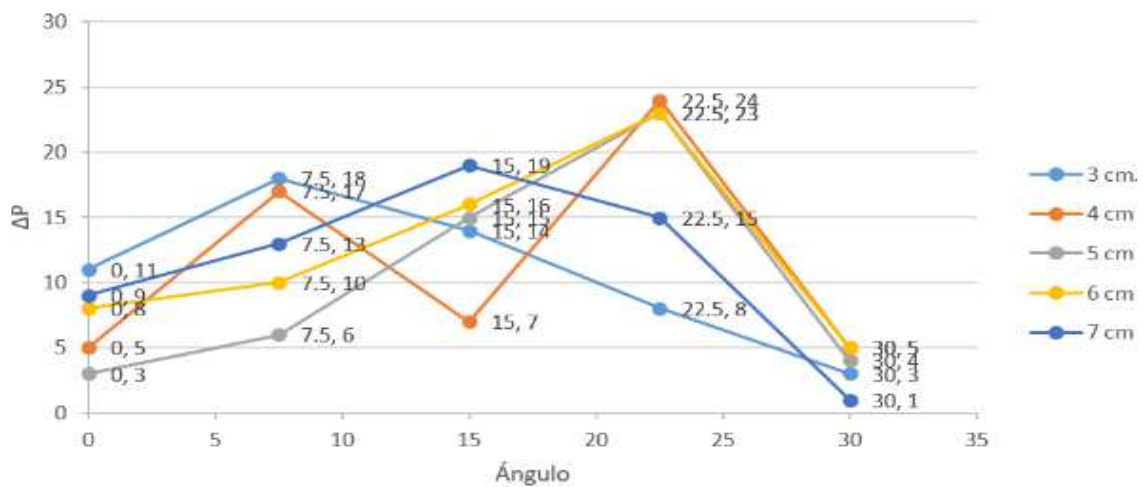
Da Densidad del aire.

Tabla 1 datos obtenidos de experimentación.

Ángulo.	Arrastre N.	P entrada mmH ₂ O	P salida mmH ₂ O	H mmH ₂ O.	Velocidad m/s.
Separación 3 cm.					
0	1.44	35	46	11	13.60
7.5	1.15	30	48	18	17.40
15	4.83	20	6	14	15.34
22.5	4.52	15	23	8	11.60
30	7.88	11	8	3	7.10
Separación 4 cm.					
0	3.6	35	40	5	9.17
7.5	3.05	33	50	17	16.91
15	4.27	24	17	7	10.85
22.5	6.26	16	40	24	20.09
30	7.19	11	6	5	9.17
Separación 5 cm.					
0	6.76	35	32	3	7.10
7.5	4.6	32	38	6	10.05
15	3.4	30	45	15	15.88
22.5	7.2	22	45	23	19.67
30	7.6	15	11	4	8.20
Separación 6 cm.					
0	2.04	38	30	8	11.60
7.5	2.08	35	45	10	12.97
15	3.21	32	48	16	16.40
22.5	5.33	21	44	23	19.67
30	7.13	13	18	5	9.17
Separación 7 cm.					
0	1.5	38	47	9	12.30
7.5	3.65	35	48	13	14.79
15	5.7	24	43	19	17.88
22.5	7.17	26	11	15	15.88
30	7.18	13	14	1	4.10

En la tabla 1 se muestran todos los resultados obtenidos experimentalmente y calculados mediante la ecuación de Bernoulli.

Arrastre vs ángulo

 ΔP vs ángulo

REFERENCIAS (bibliografía)

1. Alberto Eduardo Morales Hernández Y Guilibaldo Tolentino Eslava. (2010). Determinación de la pérdida por perfil en una cascada de álabes de compresor axial. Somim, 1-10.
2. Lilia González. (2019). Industria Aeroespacial en México presentó crecimiento en sus exportaciones de 11% en el 2018. El economista, 1.
3. Santiago Pinzón Paz. (2013). El perfil alar y su nomenclatura NACA. 21 junio 2019, de publicacionesfac Sitio web:
<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderareo/article/view/4/10>
4. Yunes A. Çengel y John M. Cimbala. (2006). Mecánica de Fluidos. España: McGRAW-HILL INTERAMERICANA

ANEXOS

Se adjuntan reconocimientos.



**PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA EL FORTALECIMIENTO
DE LA INVESTIGACIÓN Y EL POSGRADO DEL PACÍFICO**

**A QUIEN CORRESPONDA
PRESENTE**

Me permito hacer CONSTAR que el C. Brian Avila Lopez, estudiante del *Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán*, realizó la estancia del 17 de junio al 2 de agosto de 2019, correspondiente al XXIV Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, colaborando en el proyecto "OPTIMIZACIÓN DE ALABES NECESARIOS EN EL ESTATOR DE COMPRESOR DE AXIALES PARA EFICIENTAR SU COSTO Y EFICIENCIA.", asesorado por el Dr. Diego Moises Almazo Perez, investigador de la *Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*.

Sin otro particular, se extiende la presente para los fines que al interesado convengan, el día veintisiete de agosto de dos mil diecinueve, en la Ciudad de Tepic, Nayarit, México.

**ATENTAMENTE
"POR UNA CULTURA CIENTÍFICA"**

**MTR. CARLOS HUMBERTO JIMÉNEZ GONZÁLEZ
COORDINADOR GENERAL**



COORDINACIÓN GENERAL



El Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el
 Posgrado del Pacífico a través de la Universidad Autónoma de Nayarit
 otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a: Brian Avila Lopez

Por su destacada participación en la estancia académica del XXIV
 Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, realizada
 del 17 de junio al 2 de agosto de 2019

"Por una cultura científica"

Mtro. Carlos Humberto Jiménez González
 Coordinador General del Programa

"Por lo Nuestro y lo Universal"

M.C. Jorge Ignacio Peña González
 Presidente del Honorable Consejo General
 Rector de la Universidad Autónoma de Nayarit

Productos generados

Anotar aquí los productos generados con el proyecto, tales como:

1 artículo de investigación

1 memoria de congreso Internacional de Investigadores del Pacífico Delfin 2019, en Nayarit.

1 ponencia en congreso Internacional de Investigadores del Pacífico Delfin 2019, en Nayarit.

****Nota: El reporte técnico tendrá una extensión mínima de 5 cuartillas y máxima de 30, a espacio y medio.**

CONSIDERACIONES:

- Los reportes deben estar escritos en español o en inglés.
- Se debe entregar en formato Word acorde a este formato.
- El texto debe ser escrito en hoja tamaño carta a espacio y medio, y los márgenes deberán encontrarse al menos a una pulgada (2.54 cm). La totalidad del texto debe escribirse en minúsculas, utilizando las mayúsculas sólo al principio de las oraciones y para los títulos de capítulos.
- Se recomienda usar el tipo de letra Arial tamaño 10, o Times new Roman tamaño 12.
- Todas las páginas deben estar numeradas en secuencia comenzando desde la portada.
- La extensión total del texto es de un mínimo de 5 cuartillas y un máximo de 30 cuartillas, con un interlineado de espacio y medio.
- Archivos de Excel de tablas y gráficas deben ser adjuntados al reporte enviado electrónicamente.
- Las figuras, fotografías y tablas, serán insertadas en el cuerpo del texto y numeradas en forma consecutiva comenzando con 1 y de manera independiente de las tablas. El número y descripción de la figura, tabla, etc., deberá colocarse antes de la misma.
- Se recomienda evitar el uso de sombras y líneas punteadas que no permitan una legibilidad clara de imágenes.
- Las fórmulas y ecuaciones deben hacerse con un editor de ecuaciones como el que viene en Word. Estarán centradas y separadas del texto. La numeración será consecutiva comenzando con 1. El número de la fórmula deberá encerrarse entre paréntesis y colocarse a la derecha de la fórmula lo más cercano posible al margen derecho.
- Las referencias bibliográficas en el texto deben ser en cualquier estilo reconocido como APA, MLA, ISO, etc.
- Los anexos se colocarán al final del documento después de la bibliografía, utilizando caracteres alfabéticos para distinguirlos: Anexo A, Anexo B, etc. La información contenida en los anexos es importante pero no indispensable para la comprensión del trabajo. Se recomienda colocar en los anexos mapas, fotografías, tablas, desarrollos matemáticos, diagramas, etc.