

LA HÉLICE ANÁHUAC UN SIGLO DESPUÉS

ANAHUAC PROPELLER A CENTURY AFTER

JOSÉ ANTONIO
ROMERO NAVARRETE

Facultad de Ingeniería Campus
San Juan del Río
Universidad Autónoma de
Querétaro
Correo para correspondencia:
jaromero@uaq.mx

Introducción

A cien años de los comienzos de la aviación en México, revisar desde el punto de vista técnico e histórico los notables avances propuestos en esa época por ingenieros mexicanos, resulta obligado en la perspectiva de los impulsos recientes que esa industria está teniendo en México, y en particular en el estado de Querétaro. Asimismo, como en reconocimiento al impacto que la primera revolución social del siglo 20 tuvo sobre aspectos específicos del desarrollo tecnológico nacional. Estas aportaciones se centran en la mejora del empuje que recibe el aire por un diseño distinto de hélice.

Como se sabe, los aviones de hélice basan su operación esencialmente en el desplazamiento del aire y la reacción que éste provoca por efecto de la aceleración que recibe (empuje) por parte de la hélice. Así, la fuerza sobre el disco de la hélice está dada por (NASA, 2010):

$$F = 0.5 \rho (v_s^2 - v_0^2) * A \quad (1)$$

donde V_0 y V_s son las velocidades del aire antes y después del disco de la hélice; ρ es la densidad del aire

Resumen

Durante la época revolucionaria, el ingeniero Juan Guillermo Villasana López desarrolló una forma especial de hélice de aviación que denominó "Anáhuac", como respuesta al bajo rendimiento que las hélices empleadas hasta entonces, mostraban a las alturas del altiplano mexicano. Las particularidades del diseño de esta hélice incluyen un borde de salida radial, así como una cuerda constante y máxima en la parte central de la aspa. A pesar de su exitoso uso en muchos aviones hechos en México, su importancia acabó perdiéndose en la bibliografía universal de la aviación. Este trabajo tiene el propósito de re-valorar esta aportación mexicana a la aviación mundial, y evaluar su potencial aplicación a otras áreas de la tecnología. Se incluye una exhaustiva revisión crítica de la literatura, así como el ensayo de un modelo a escala de la hélice, el cual fue construido a partir del documento original de la patente del Ing. Villasana.

Palabras clave: Hélice Anáhuac, Juan Guillermo Villasana, Aviación, Revolución mexicana, centenario.

Abstract

During the revolution mexican period, engineer Juan Guillermo Villasana López developed a special aviation propeller that he called "Anahuac", aimed at coping with the efficiency problems that contemporary propellers had on the Mexican plateau's high altitudes. Such particular model included a radial exit border and a constant chord width at its middle length. In spite of its successful use in many Mexican airplanes, this development eventually vanished from the universal aeronautics literature. This work aims at re-assessing such contribution of Mexico to worldwide aviation, further assessing its potential use in other technology areas. A comprehensive critical review of literature was carried out, as well as the building and testing of a scale model of such propeller, which was manufactured taking into account Villasana's original patent paper

Key words: Anahuac propeller, Juan Guillermo Villasana, Aeronautics, Mexican revolution, centennial.

y A es el área proyectada por el rodete. El empuje ocasiona entonces que el vehículo adquiera la velocidad suficiente para que se eleve mediante el flujo del aire alrededor de sus alas (NASA, 2010). Respecto a la ecuación (1), tomando en cuenta que la densidad del aire pasa de 1.225 kg/m^3 al nivel del mar, a 0.996 kg/m^3 en el altiplano mexicano (WASP, 2010), se puede deducir una pérdida de empuje del orden del 18%, que en un momento dado fue la causa por la que los aviones exhibieron un bajo rendimiento a estas alturas sobre el nivel del mar. Ese problema fue atendido por el Ing. Juan Guillermo Villasana López, esto es, él diseñó una forma de hélice que denominó “Anáhuac”, la cual compensó el bajo empuje debido a la baja densidad del aire.

En este trabajo se presenta una revisión exhaustiva de la literatura sobre los desarrollos tecnológicos y de aviación en las primeras décadas del siglo pasado, con objeto de revisar de manera crítica la forma en que este desarrollo nacional ha sido desdeñado en la historia universal de la aviación. Por otro lado, se presenta también la prueba de un modelo a escala de Hélice Anáhuac, la cual es ensayada para cuantificar su mejorado empuje, así como su eficiencia cuando es empleada como turbina eólica.

La hélice Anáhuac en la literatura

A pesar de que el Ing. Juan Guillermo Villasana López diseñó y manufacturó su nuevo modelo de hélice aparentemente en 1915, no obstante haber efectuado pruebas desde junio de 1910, el registro de la patente la realizó hasta 1918, con la fecha de expedición del 2 de abril, siendo la fecha legal del 26 de marzo (Villasana López, 1918). La Fig. 1 es una fotografía de la única ilustración en la patente, tomada por el autor de este texto directamente del documento. Con relación a esta figura, la descripción se da en la patente, bajo los siguientes términos:

“el borde de salida o posterior de la hélice, marcado con la letra “a” es una recta perpendicular al eje y que constituye por decirlo así, una generatriz. El borde anterior “b” es una curva equidistante en todos sus puntos de la recta que forma el borde de salida “a” para hacer una anchura

constante en la longitud de rendimiento máximo de la pala”;

El diseño descrito que registró el Ing. Villasana resulta original en varios sentidos. Comparándola con otros diseños contemporáneos a la Hélice Anáhuac, los bordes hacen la diferencia, ya que esta última presentó un borde de salida recto y radial.

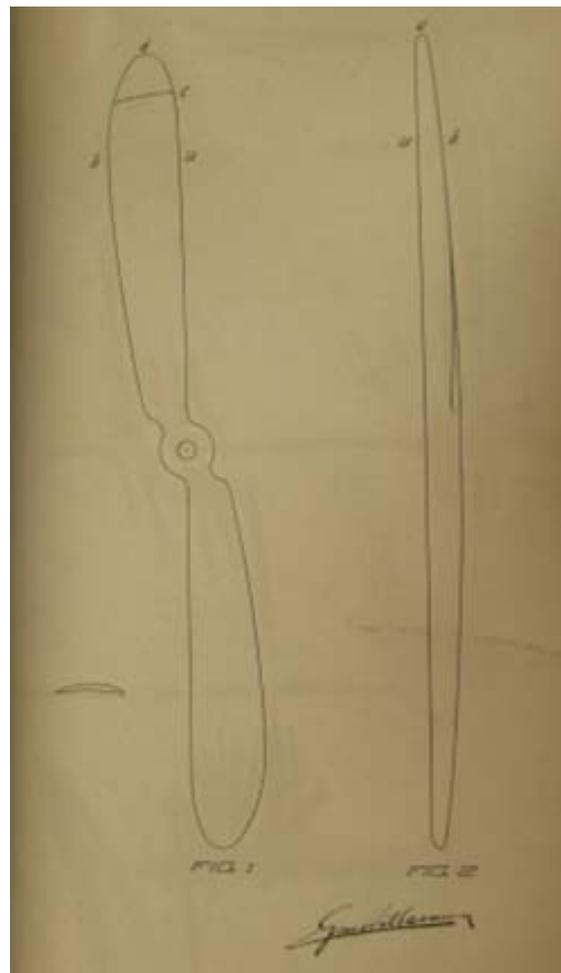


Figura 1 Fotografía de la única ilustración incluida en la patente

El estudio sobre la historia de la aeronáutica nacional, efectuado por Isabel Castillo Tenorio, profesora decana del Instituto Politécnico Nacional, describe brevemente las etapas que pueden distinguirse en la historia de la aeronáutica nacional, iniciando con la denominada etapa aerostática, la cual culmina en 1907 (Castillo, 2009). La autora destaca a los teóricos mexicanos de esta disciplina, incluyendo a Julio Fuentes, al propio Villasana (1908), a los hermanos Juan Pablo y Eduardo Aldasoro Suárez (1909) y a Miguel Lebrija Urtegui (1910). De acuerdo a esta información, previo al desarrollo de su hélice, Villasana habría diseñado un planeador específicamente para las altitudes del centro del país. Se indica que la primera referencia a su hélice ocurrió en junio de 1910, por influencia de un compañero de estudios con estancia en el extranjero. Se reconoce en este artículo cierta confusión en las fechas, dado que el historiador José Villela Gómez señala que la fabricación se dio en 1915, lo que sugiere que habrían existido varias “Hélices Anáhuac”, la primera de ellas en 1911.

Villela (1964) afirma que la primera versión de Hélice Anáhuac se construyó en septiembre de 1915 en los talleres de artes y oficios, siendo terminada el 7 de octubre. Para el día 12, después del segundo vuelo de prueba, se logró establecer con ella el record de altura para América, que fue de 19700 pies sobre el nivel del mar. Salazar (1970) señala que la Hélice Anáhuac “reinó” en los cielos de México hasta que se inventaron las hélices de metal, y que el Ing. Villasana realizaba sus prácticas en los llanos de Venta Prieta, en Pachuca, Hidalgo. Por cuanto a las proezas de la aviación mexicana, González (1994), destaca la labor de la aviación en épocas de guerra, al recordar frases tales como “la aviación salvará las democracias”. En este contexto militar es que la Hélice Anáhuac es reconocida de manera especial, al haberse reconocido la importancia de ese medio de transporte en el contexto del movimiento armado revolucionario de 1910.

Taylor (2006) indica el uso de aviones por parte de Pascual Orozco, en Chihuahua en 1912, para llevar correspondencia y materiales a través de la frontera. Destaca el empleo de la hélice Anáhuac para la construcción de aviones mono- y bi-planos, entre 1915 y 1920. Romero *et al.* (2004) menciona que a temprana edad, Villasa-

na habría volado su primer planeador y que en 1909 (a los 18 años de edad), habría participado en la fundación y organización de la “Sociedad Impulsora de la aviación”. Respecto a la hélice Anáhuac, se menciona que fue dada a conocer en 1912.

De acuerdo con Vargas (2005), Villasana se habría titulado de Ing. Aeronáutico en 1918, pero en 1915 habría diseñado la Hélice Anáhuac, que fue superior a las europeas, y se montó en casi todos los aviones de la Fuerza Aérea Mexicana, entre 1915 y 1920. Paz Fernández (2006) reconoce a la Hélice Anáhuac como la respuesta a un problema de empuje en elevadas altitudes, indicando que fueron exportadas al Japón. De manera interesante, identifica a Quetzalcóatl (serpiente emplumada), como el primer indicio precolombino relacionado con la idea de entes voladores. El autor atribuye a los “Tratados de Bucareli”, la decadencia en México de la industria Aeronáutica. Por otro lado, en la página oficial de internet de la Secretaría de la Defensa Nacional – Fuerza Aérea Mexicana (FAM), se indica lo siguiente (SDN-FAM, 2010):

“Hélice Anáhuac, sometida a prueba el 26 de octubre de 1915 con resultados satisfactorios; fue diseñada por el Cap. 2/o. Mec. Juan Guillermo Villasana López, quien además en 1910 trabajó como mecánico de Alberto Braniff, y lo ayudó para la realización de su primer vuelo en México”.

Respecto a la problemática de poder volar, o despegar a las elevadas altitudes, Lazarín (2004) expone otro esfuerzo: el desarrollo de gasolinas de mayor poder para que los aviones tradicionales pudieran funcionar en el altiplano mexicano.

Un invento consistentemente desdeñado

En primer término, se hará referencia a Simons y Withington (2007), de nacionalidad estadounidense, quienes estudiaron el desarrollo de la aviación mundial. La única referencia que hacen a México es que Lindbergh conoció a quien fuera su esposa, en México, como resultado de la travesía que realizó por Latinoamérica.

Una de las obras clásicas de la historia de la aviación se debe al británico Vivian (1920), quien incluye algunas aportaciones latinoamericanas en el desarrollo de la aviación. Desde la perspectiva del diseño, cita al brasileño Santos Dumont, mientras que desde el punto de vista de la operación de las aeronaves, hace referencia al peruano Georges Chávez. El autor pondera la contribución de los hermanos Wright en el desarrollo de la aviación, reconociendo el trabajo de Stringfellow, en 1848, como el primer aeroplano motorizado. Con relación a lo que ahora es México, el autor afirma que las únicas dos civilizaciones en la historia de la humanidad, que no tienen antecedentes mitológicos sobre la capacidad de volar de las personas, son la Azteca y la China.

Un texto que aborda los detalles técnicos de los diferentes desarrollos aeronáuticos fue elaborado en 1953 por los estadounidenses, como parte de la revista *Popular Mechanics*. Respecto a México, se menciona que en 1916 el primer escuadrón aéreo estadounidense trató de apoyar las acciones del general Pershing para atrapar a Francisco Villa, pero que sus acciones resultaron infructuosas dado el bajo rendimiento de los aviones empleados, ante la altitud de los lugares en México.

En el libro escrito por el argentino Sataló Sors (1946), se menciona la contribución a la aviación de algunos pilotos pioneros argentinos, al tiempo que destaca los impactos en el desarrollo de la aviación mundial de muchos desarrollos tecnológicos.

El español Juan M. Aguilar publica en 1962 su texto sobre la historia de la aviación (Aguilar, 1962), reconociendo algunos inventos europeos para los aviones. Se indica la aportación del español Juan de Sierva, quien diseñó y construyó un autogiro, o helicóptero. Asimismo, el hidroavión de Ramón Franco. A México se le hace referencia al relatar las travesías de Charles Lindberg, en 1927.

Como signo innegable del desdén por inventos hechos fuera del contexto de los países tradicionalmente ligados a las innovaciones en la aviación, se tiene la nula referencia a este invento, en la página de la línea del tiempo en aviación, para el año de 1915 (WPX, 2010). Sin embargo,

es necesario reconocer que en una publicación comercial en español (*Avion Revue Internacional*), con motivo de los 95 años de la Fuerza Aérea Mexicana se reconoce, en Mayo de 2010, de alguna manera las aportaciones mexicanas. En particular, la construcción de aviones y el diseño y fabricación de la Hélice Anáhuac, la cual describe como “un adelanto tecnológico debido a su mayor resistencia estructural, ligereza y régimen ascensional” (Alva, 2010). No obstante, en otra publicación 2010 (por Hagedorn) se especula acerca de la originalidad del diseño mexicano de la hélice, al resaltar el nombre de Francisco Santarini frente al de Villasana, y al hacer notar que un attaché militar de la embajada estadounidense en México registró, en diciembre 3 de 1918, que el aviador mexicano Horacio Ríos había mostrado a Villasana un libro de aviación, a partir del cual se habrían derivado tanto los dibujos como la descripción de la Hélice Anáhuac. Aunque es impensable que el Ing. Villasana hubiera partido de la nada para su invento, la intención es clara de este autor por desestimar la contribución del Ing. Villasana, lo cual resulta preocupante dado que dicho texto fue financiado por el Smithsonian National Air and Space Museum.

Ensayo de modelo a escala de Hélice Anáhuac

Se presenta la prueba en laboratorio de un modelo a escala de hélice Anáhuac, manufacturada a partir de fotografías publicadas, del dibujo de la patente y por observación directa de una copia existente.

Por cuanto a la eficiencia para desarrollar empuje, ésta se mide en términos de la energía entregada y de la energía consumida. La Fig. 2 ilustra el modelo experimental ideado para estas pruebas, que involucra el desplazamiento de un vehículo rodante en el interior de un túnel de viento existente (Zárate, 2010; Rivera, 2010). Conociendo las distancias de recorrido y el tiempo ocupado en éste, la energía acumulada E_k en la masa m del vehículo al alcanzar la velocidad v , es (Alonso y Finn, 1976):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

LA HÉLICE ANÁHUAC UN SIGLO DESPUÉS

Por cuanto a la eficiencia de la hélice como turbina eólica, se considera la energía cinética recibida por la turbina-hélice en rotación (Alonso y Finn, 1976):

$$E_{kr} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (3)$$

donde I es el momento polar de masa de la hélice y ω su velocidad angular. La Fig. 3 ilustra el arreglo experimental para la medición de la energía cinética de la hélice-turbina.

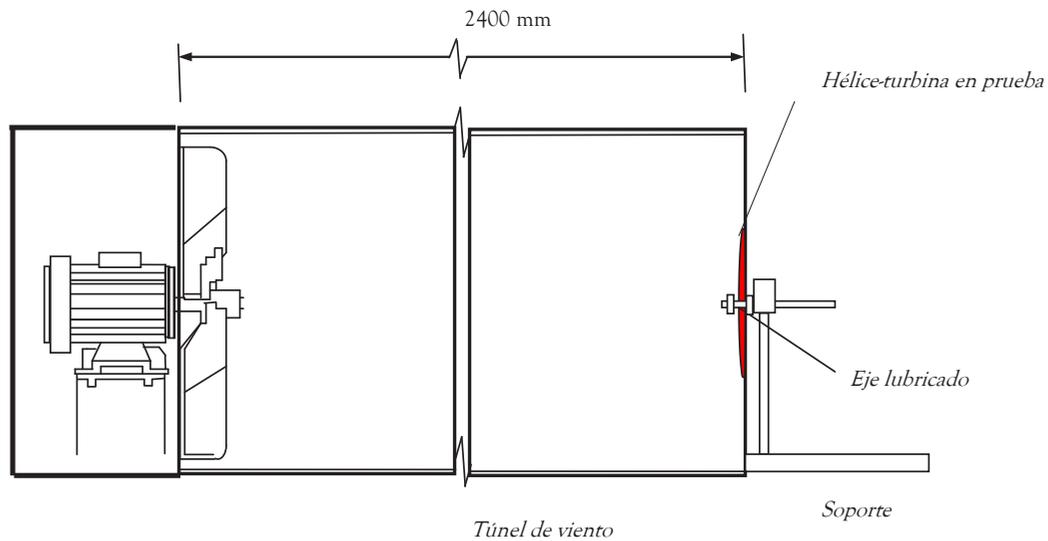


Figura 3. Arreglo experimental para medir la velocidad ganada por la turbina-hélice.

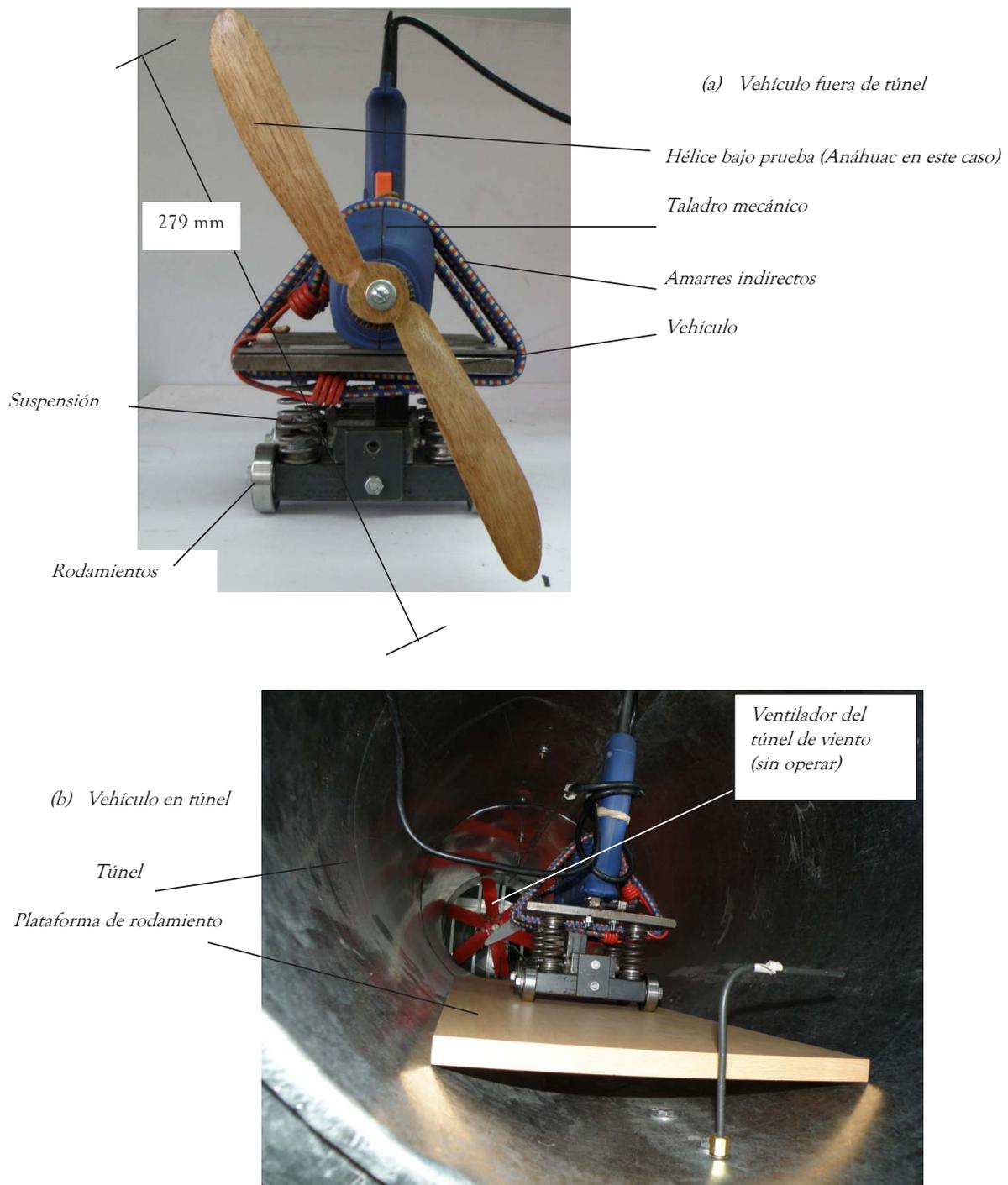


Figura 2. Imágenes del diseño del equipo experimental para el ensaye del empuje.

Fabricación y prueba de la Hélice Anáhuac a escala

La fabricación de la pieza a escala se realizó en el taller "Gama" (Av. Universidad 134, San Juan del Río, Qro.), por su propietario, el Sr. Carlos García Zepeda, a partir de planos de fabricación que le fueron proporcionados por el autor.

Se seleccionaron dos hélices comerciales para el ensayo comparativo: la JZ_11x10 hecha de madera; y la APC_C2_11x9 hecha de plástico. Estos modelos implican entonces pasos diferentes, de 10 y 9 pulgadas. Los pesos de las hélices fueron 15, 20 y 40 gramos, respectivamente para la hélice Anáhuac, JZ_11x10 y APC_C2_11x9. La Fig. 4 ilustra fotografías de los tres modelos de hélice empleados.



(a) Hélice Anáhuac.



(b) JZ_11x10



(c) APC_C2_11x9

Figura 4. Imágenes de las hélices empleadas para comparación.

Por cuanto a las pruebas de empuje, después de algunas pruebas preliminares se definió que recorrer una distancia de 20 cm era conveniente, ya que involucraba tiempos de recorridos con una suficiente resolución para los medios de medición disponibles (cronómetro y distancia recorrida en el interior del túnel). La Fig. 5 ilustra los resultados de diferentes repeticiones de las prueba, en función del tipo de hélice, en

donde se puede observar que, consistentemente, la Hélice Anáhuac realiza el desplazamiento en menos tiempo, mientras que la hélice más lenta es la APC_C2_11x9. Durante estas mediciones se midió el amperaje en el cable de alimentación al taladro, resultando indiferente al tipo de hélice empleada (1.5 Amperes). Por lo tanto la medida de desempeño se basó en la cantidad de energía recibida por el vehículo.

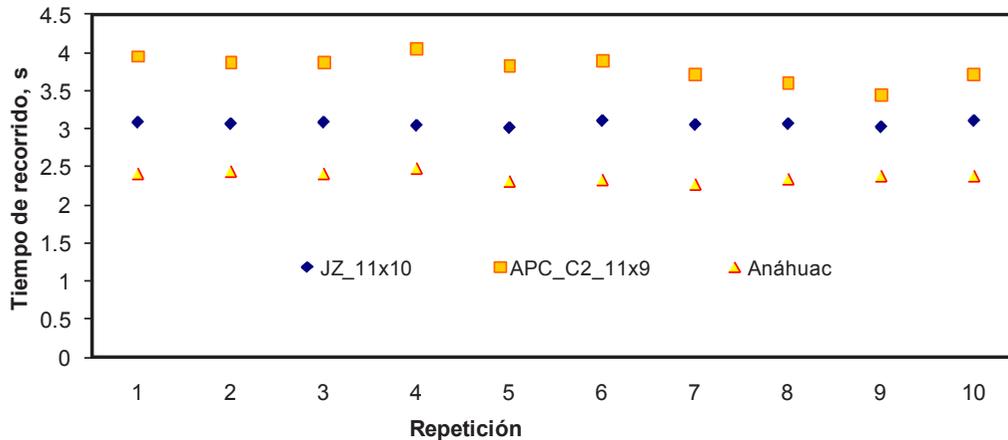


Figura 5. Diversos tiempos medidos para el recorrido de 20 cm en el interior del túnel de viento, en función del tipo de hélice.

La Fig. 6 muestra los valores normalizados de esta energía lograda por el empuje de las distintas hélices, para una masa del vehículo de 8 kg. Así, la Hélice Anáhuac estaría siendo hasta 2.5 veces

más eficiente que la APC_C2_11x9, y aproximadamente 67% más eficiente que la JZ_11x10. Un dato en extremo importante es la velocidad de giro del taladro: 3120 rpm.

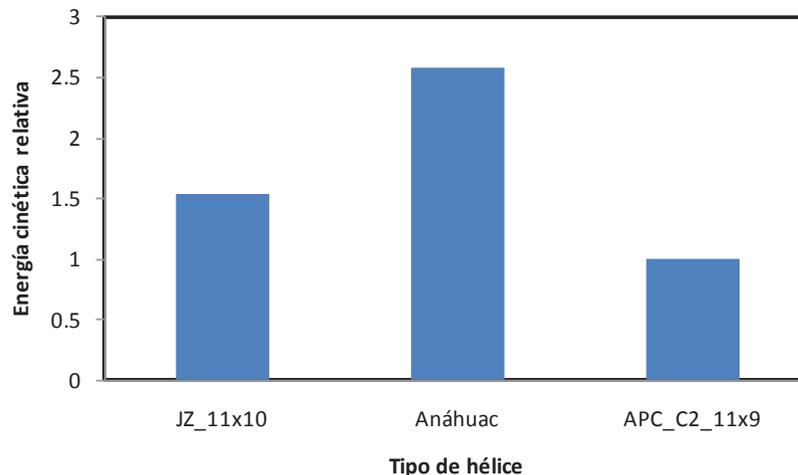


Figura 6. Cantidades normalizadas promedio, de energía recibida por el vehículo durante el ensaye del empuje.

LA HÉLICE ANÁHUAC UN SIGLO DESPUÉS

Para el ensaye de eficiencia eólica, la operatoria en este caso consistió en arrancar el motor del túnel de viento, esperar un estado permanente, y tomar diversas mediciones de la velocidad angular de la hélice ensayada, ello mediante un tacómetro de no contacto. Para estados de carga pequeños como el mostrado, mediciones previas de la velocidad del viento arrojó un valor de 55

km/h (Zárate, 2010). La Fig. 7 ilustra los resultados de las mediciones de velocidad de las diferentes hélices. En este caso, la hélice que de manera consistente desarrolla más velocidad es la APC_C2_11x9, seguida de la JZ_11x10 y en el último lugar la Hélice Anáhuac. De esta forma, la primera es un 21% más rápida que la segunda, y 32% más rápida que la Hélice Anáhuac.

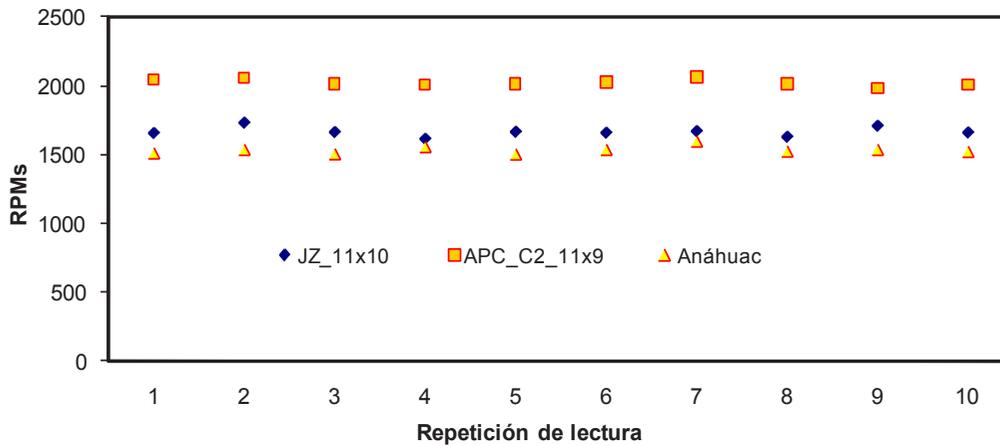


Figura 7. Mediciones de velocidad de rotación de las diferentes hélices (RPMs: revoluciones por minuto).

Aspectos biográficos del Ing. Villasana

La vida del Ing. Juan Guillermo Villasana López resulta de interés desde diferentes puntos de vista, destacando de manera particular su precoz interés por la aviación y su enorme creatividad y habilidades emprendedoras. Mientras que durante su segunda década de vida ya elaboraba sus propios papalotes, el Gral. Lázaro Cárdenas le llegó a encomendar la fabricación del primer carro mexicano. Su carrera militar podría haber influido en su espíritu nacionalista, pasando a la vida civil para desempeñarse como funcionario de alto rango en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Nacido en Pachuca, Hidalgo, el 10 de febrero de 1891, conoce de cerca el oficio de carpintero a través de su padre, lo cual habría de marcarle de por vida, proveyéndole de elementos para idear precisamente el proceso de fabricación patentado de su hélice. El Ing. Villasana muere en la Ciudad de México el 23 de febrero de 1959, acumulando a lo largo de su vida numerosas dis-

tinciones, incluyendo condecoraciones de los gobiernos de Japón y de El Salvador.

Conclusiones y recomendaciones

No obstante que en México se habían estado realizando importantes trabajos en torno al diseño de equipo de aviación, la Revolución Mexicana resultó un importante detonador para el desarrollo de la aviación en México, al constituir los aviones poderosos medios para de uso táctico y de transporte de materiales diversos. La aportación más importante consistió en un nuevo modelo de hélice, denominada “Hélice Anáhuac”, la cual hizo posible alcanzar alturas de vuelo, nunca antes logradas en el altiplano mexicano.

Existe una falta de objetividad de parte de los historiadores de la aviación, exhibiendo una polarización hacia el reconocimiento de las aportaciones de sus respectivas naciones. Se requiere

efectuar un esfuerzo para destacar objetivamente las aportaciones de México en el contexto mundial de la aviación, sobre todo en la situación actual en México, en la que la aviación está aparentemente siendo un detonador tecnológico y económico en algunas regiones del país, en particular en el Estado de Querétaro.

Una evaluación actual de la hélice diseñada por el Ing. Villasana, ha comprobado las bondades de dicho diseño para desarrollar empuje, mientras que sus capacidades eólicas han sido ligeramente menores que otros modelos actuales de uso en aerodelismo. Las ventajas para lograr empuje de la hélice Anáhuac son extraordinarias, del orden de hasta 2.5 veces el logrado con diseños actuales de hélice. Por cuanto al aprovechamiento de la energía del aire, la hélice Anáhuac quedó un 24 % por debajo del modelo de hélice que resultó más eficiente. Sin embargo, dadas las características aerodinámicas de estos componentes, es preciso realizar más pruebas para caracterizar la respuesta de la hélice a la circulación del viento.

Reconocimientos

Para la realización de esta investigación se empleó equipo que fue desarrollado por los asistentes de la Facultad de Ingeniería Ibert Zárate Pena, Diego Alejandro Rivera Anaya y César Hurtado Mora. En particular, al primero de ellos se le agradece su apoyo para la manufactura de un eje para el desarrollo de las pruebas con la hélice APC_C2_11x9.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar, J.M., 1962. La aviación. Del mito de Ícaro a la nave del espacio. Enciclopedia El Mundo y el Hombre, Bruguera SA, Barcelona, 268 pp.
- Alonso, M., y Finn, E.J., 1976. Física: Volumen I: Mecánica. Fondo Educativo Interamericano, Primera edición, 451 pp.
- Alva Merino, J.A., 2010. Fuerza Aérea Mexicana. Revista Avion Revue Internacional, No. 123, Mayo 2010, pp 36-43.
- Castillo Tenorio, I., 2009. "Los orígenes de la aeronáutica en el IPN, la fabricación del prototipo de la hélice Anáhuac". Revista El Cronista, Nueva Época, Año 11, No. 41, Abril-Junio de 2009, pp 19-22.
- Edward, T.L., y Crenshaw, J.S., 1953. Aviation album. Popular mechanics, EUA, 192pp.
- González, E., 1994. Crónicas de la aviación en Sinaloa. Dirección de Investigación y Fomento de la Cultura Regional, México, 230 pp.
- Hagedorn, D. (2010) Conquistadors of the sky: a history of aviation in Latin America, Smithsonian National Air and Space Museum, Washington, D.C., University Press of Florida, 595 pp.
- Lazarín Miranda, F., 2004. "El transporte aéreo en México y sus impactos económicos", Memorias. Segundo Congreso Nacional de Historia Económica, Simposio 13, Facultad de economía, UNAM.
- NASA, 2010. Propeller thrust, Glenn Research Center. National Aeronautics and Space Administration. <www.nasa.gov> 10 de marzo de 2010.
- Paz Fernández, J.M., 2006. Estructuras dinámicas no lineales a través de métodos de relajación energética. Tesis de Maestría, ESIME-IPN, 284 pp.
- Rivera Anaya, D.A., 2010. Instrumentación y control de un túnel de viento. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, fecha para conclusión: Septiembre 2010.
- Romero Salinas, G., 2004. "La Aviación en la Ciudad de Pachuca". Revista Enlace - expresión de la sociedad civil, No. 7, septiembre de 2004, pp 7-11.
- Salazar Rovirosa, A., 1970. Historia de la aviación mundial y mexicana desde sus inicios hasta 1970. Editorial Económicas, México D.F. 144 pp.

- Santaló Sors, L., 1946. Historia de la Aeronáutica. Espasa – Calpe Argentina, S.A., Buenos Aires. 340 pp.
- SDN-FAM, 2010. Fuerza Aérea Mexicana, Evolución. <<http://www.sedena.gob.mx/index.php?id=97>> 4 de Marzo de 2010.
- Simons, D., y Withington, T. 2007. Historia de la aviación. Parragon books ltd, Londres, Inglaterra, ISBN 978-1-4054-9291-1, 384 pp.
- Taylor Hansen, L.D., 2006. Los orígenes de la fuerza aérea mexicana, 1913-1915. Revista HMex, LVI, 1, pp 175-230.
- Vargas C., M., 2005. “Diseño y construcción de aviones mexicanos 1909-1939”. Cemanáhuac – boletín informativo, Vol. VI, Año XIV, No. 23, Mayo 2005, pp 14-15.
- Villasana López, J.G., 1918. Nueva Hélice. Patente Mexicana 17219, expediente 20089.
- Villela, J., 1964. Pioneros de la aviación mexicana. Ediciones Colofón, México D.F., 59 pp.
- Vivian, E. Ch., 1920. A history of aeronautics. Nabu Press, Londres, 602 pp.
- WASP, 2010. WASP – the Wind Atlas Analysis and Application Program. <<http://www.wasp.dk/Support/FAQ/WebHelp/AirDensityTable.htm>>, 9 de abril de 2010.
- WPX. 2010. 1915 in aviation, <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=1915_in_aviation&action=edit§ion=2> 10 de enero de 2010.
- Zárate Pena, I., 2010. Diseño y construcción de un túnel de viento a escala de aplicación general. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, fecha para conclusión: Junio 2010.