



Investigación y construcción a escala del modelo Biplano mexicano Serie B TNCA

Исследование и масштабная модель мексиканского биплана серии В TNCA.

D.F Grajeda Hernandez, C.E Bernal Lino, S.Rivera Reyes, O. E Salais Estrada, M. Espinoza Rivera, E.A Ávila Peña, M.C Serví, R.A Chaparro Saenz, J.A Hernández, H. Moreno Álvarez

¹Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Número I s/n, Nuevo Campus Universitario, Nte. 2, 31125 Chihuahua, México.

Resumen: El trabajo analiza la investigación y construcción a escala del biplano Serie B TNCA, considerado un hito en la aviación mexicana del siglo XX. Se estudia su contexto histórico, destacando el papel de la aviación militar como motor de innovación tecnológica. El artículo describe las aportaciones de ingenieros como Ángel Lascuráin y Juan Guillermo Villasana, especialmente en el desarrollo de la hélice Anáhuac y el motor Aztatl. Se abordan los principios aerodinámicos fundamentales que sustentan el vuelo, así como los modelos teóricos empleados en el diseño aeronáutico. Asimismo, se documenta el proceso de diseño y fabricación de una maqueta a escala, incluyendo selección de materiales y uso de impresión 3D. El estudio enfatiza la importancia de la precisión geométrica y la integración estructural. También se analizan los desafíos técnicos durante la construcción del prototipo. Se concluye que este proyecto representa tanto un aporte educativo como un reconocimiento al desarrollo histórico de la aviación en México. Finalmente, se destaca su valor como símbolo de innovación nacional.

Аннотация: В работе рассматривается исследование и создание масштабной модели биплана серии В TNCA, являющегося важным этапом в развитии мексиканской авиации XX века. Анализируется исторический контекст, подчеркивающий роль военной авиации как двигателя технологического прогресса. Описываются достижения инженеров, таких как Анхель Ласкураин и Хуан Гильермо Вильясана, включая разработку винта «Анауак» и двигателя «Ацтатль». Рассматриваются основные аэродинамические принципы, лежащие в основе полета, а также теоретические модели, применяемые в авиационном проектировании. Особое внимание уделено процессу создания масштабной модели, включая выбор материалов и использование 3D-печати. Подчеркивается значение точности геометрии и структурной интеграции. Также анализируются технические трудности, возникшие в процессе сборки. Делается вывод о том, что данный проект имеет образовательную и историческую ценность. В заключение отмечается его значение как символа инженерного развития Мексики.

Palabras clave: Aerodinámica, Ingeniería aeroespacial, Sistemas aeronáuticos, Desarrollo tecnológico

Ключевые слова:Авиация, Аэродинамика, Аэрокосмическая инженерия, Авиационные системы, Технологическое развитие

1 Introducción

La aviación constituye un dominio fundamental de la ingeniería moderna al integrar principios físicos, metodologías de diseño y requerimientos operativos en sistemas altamente complejos. En términos técnicos, se define como el conjunto de disciplinas orientadas al diseño, construcción y operación de vehículos capaces de generar sustentación aerodinámica para su desplazamiento en la atmósfera. Más allá de su función como medio de transporte, la aviación ha sido un catalizador clave en el desarrollo de tecnologías críticas, influyendo de manera directa en la evolución de materiales, sistemas de control, propulsión y dinámica de fluidos.

Históricamente, el desarrollo de la aviación ha estado estrechamente vinculado a contextos geopolíticos y militares, los cuales han impulsado avances significativos en cortos periodos de tiempo. Las primeras aplicaciones operativas, particularmente en escenarios de reconocimiento y combate, establecieron las bases para la experimentación sistemática en aerodinámica y diseño estructural. Este patrón, observable tanto a nivel global como en el caso de México durante las primeras décadas del siglo XX, evidencia el papel de la aviación militar como un acelerador

tecnológico dentro del ecosistema aeroespacial.

Desde la perspectiva de la ingeniería aeroespacial contemporánea, la aviación se concibe como un sistema multidisciplinario donde convergen áreas como la aerodinámica, la propulsión, la ciencia de materiales y los sistemas de control. La interacción de estos dominios permite abordar problemas complejos bajo restricciones reales de operación, tales como limitaciones de masa, eficiencia energética y condiciones ambientales variables.

En particular, el estudio de desarrollos pioneros como el biplano Serie B de los Talleres Nacionales de Construcciones Aeronáuticas (TNCA) ofrece una oportunidad para examinar la transferencia de conocimiento aerodinámico, la adaptación tecnológica y la implementación de soluciones estructurales en un entorno con limitaciones industriales. Este trabajo se enfoca en el análisis histórico-técnico y la reconstrucción a escala de dicho sistema, con el objetivo de identificar los principios de diseño subyacentes y su relevancia en la formación de la ingeniería aeronáutica en México.

Estudiar algunos de los sucesos que ocurrieron por primera vez en el mundo es gran interés, sobre todo para estudiantes y apasionados de la aviación y de ingeniería aeroespacial, tanto porque la aviación militar ha sido la cuna de muchos de los avances aeronáuticos más significativos, porque casi todas las primeras

militares o civiles, estuvieron envueltas en un halo de romanticismo. México es uno de esos países que legítimamente reclama que ciertos acontecimientos aeronáuticos se realizaron en su territorio “por primera vez en el mundo” (Ruiz Romero, 1986).

Sector aeronáutico en México

Los inicios de la aviación en todo el mundo presentan una notable similitud, especialmente debido a su carácter predominantemente deportivo. Sin embargo, una vez que los gobiernos y los altos mandos militares se dieron cuenta de su potencial y alcance, la aviación se transformó casi exclusivamente en una herramienta militar. Con el tiempo, las diferentes ramas de la aviación se separaron y progresaron de manera independiente, hasta convertirse en la impresionante realidad que conocemos hoy en día (Flores y Garza, 2024).

En territorio mexicano ocurrieron una serie de acontecimientos de suma importancia. El biplano G.L. Martin Pusher fue utilizado en Sonora, México, en 1914 durante la Revolución Mexicana. Este avión, como se aprecia en el figura 1, conocido como “Sonora”, fue adquirido por las fuerzas revolucionarias lideradas por Venustiano Carranza, Ignacio L. Pesqueira y el General Álvaro Obregón. El propósito principal de usar el G.L. Martin Pusher era realizar misiones de reconocimiento y bombardeo contra las fuerzas federales leales a Victoriano Huerta. Aunque las bombas lanzadas desde el avión no explotaron, su uso marcó un hito en la historia de la aviación militar en México. La batalla fue un hito en la historia militar del país, proporcionando un nuevo timbre de gloria al ser protagonistas del que históricamente es, sin duda alguna, el primer combate aeronaval del mundo («Los altos vuelos de la aviación militar», 2018).

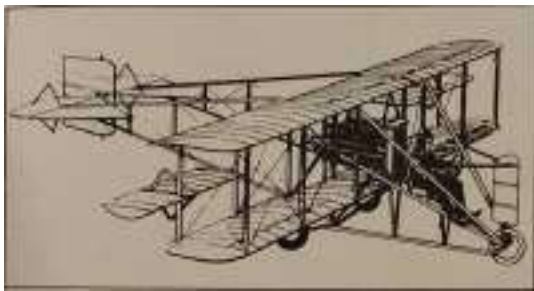


Figura 1

Dibujo del Martín “Pusher” construido en 1912 (Ruiz Romero, 1986).

El ingenioso mecánico Francesco Santarini Tognoli, junto con el mecánico ferrocarrilero Miguel Jacintes, quien más tarde se convertiría en piloto aviador, logró desarrollar el

primer motor “Aztatl” de fabricación mexicana. Este motor, creado en un contexto de desafíos técnicos y económicos durante la Revolución Mexicana, fue una hazaña significativa ya que su diseño se llevó a cabo sin ningún apoyo extranjero. Inspirado en el modelo italiano de Anzani, el motor Aztatl contaba con un sistema de “Doble Trébol”, tenía seis cilindros y generaba 80 caballos de fuerza (De La Defensa Nacional, s.f.).

Desarrollado en 1916 por los Talleres Nacionales de Construcciones Aeronáuticas (TNCA), el Aztatl, cuyo nombre significa “garza” en náhuatl, era un motor radial de seis cilindros que se enfriaba por aire, construido en aluminio y con cilindros, pistones y camisas de hierro fundido. Funcional con gasolina, estaba equipado con dos válvulas por cilindro y generaba aproximadamente 80 hp. Este motor fue crucial para varios biplanos de la serie A y aeronaves de bombardeo y reconocimiento de la serie H Parasol, que formaban parte del Arma de Aviación Militar del Ejército Constitucionalista, y podía soportar la carga de armamento ligero, incluyendo bombas de hasta 50 kg y ametralladoras de calibre 8 mm («Talles nacionales de construcciones Aeronáuticas», s.f.).

Hoy en día, solo se conserva un único motor Aztatl en estado funcional, montado en un avión tipo Parasol TNCA de la serie H, que se exhibe en el Museo Militar de Aviación en Santa Lucía, Estado de México. Este motor, con su rica historia y significativo legado, representa un hito importante en la aviación mexicana y su desarrollo industrial en los inicios del siglo XX (Theo, 2020).

El año 1917 fue crucial para la consolidación de la industria aérea nacional. Aunque en los años siguientes no se aprovechó plenamente el arduo trabajo realizado, esto se debió a las fluctuaciones políticas del país y no a la aviación en sí. Los Talleres Nacionales de Construcción Aeronáutica (TNCA) y la Escuela de Aviación operaban con buen ritmo, combinando conocimientos técnicos con la audaz valentía de los pioneros (Ruiz Romero, 1986).

Alberto Salinas Carranza, jefe del Departamento de Aviación; Francisco Santarini, jefe de los Talleres; Juan Guillermo Villasana, jefe de la Sección Técnica y el teniente P.A. Horacio Ruiz, director de la Escuela, constituían un magnífico equipo de trabajo (Ruiz Romero, 1986).

Por aquellos días, México recibió tres motores Hispano Suiza de 150 hp. cada uno. El primero de estos motores se instaló en un Biplano Serie A número 6, de fabricación nacional. El teniente Horacio Ruiz realizó varios vuelos de prueba sobre el campo de Balbuena, los cuales fueron muy satisfactorios. Sin embargo, los jefes de la aviación

coincidieron en que era necesario realizar una prueba más concluyente. Para ese entonces, el coronel Alberto Salinas Carranza había sugerido la conveniencia de realizar “vuelos de distancia” para probar tanto las máquinas como a los pilotos. La idea era que estos vuelos se integraran en la enseñanza rutinaria de los pilotos de la escuela. Coincidiendo este proyecto con la necesidad de probar más rigurosamente el avión Serie A, se decidió realizar un vuelo entre las ciudades de Pachuca y México. Para ello, el avión sería transportado semidesarmado en un tren hasta la capital del Estado de Hidalgo, como se aprecia en la figura 2 (Flores y Garza, 2024).



Figura 2

El biplano Serie A número 6, desarmado, fué embarcado en el tren con destino a Pachuca (Ruiz Romero, 1986).

La noticia se difundió por toda la capital y llegó a oídos de la Dirección General de Correos, dirigida entonces por don Cosme Hinojosa. Él tuvo la idea de aprovechar el vuelo para transportar correo entre Pachuca y México. Salinas Carranza, Santarini, Villasana y Horacio Ruiz estuvieron de acuerdo con la propuesta y planearon minuciosamente la operación para asegurar su éxito, ya que cualquier fracaso, dada la publicidad del vuelo, afectaría negativamente a la aviación. Así, el 6 de julio, se entregó la valija postal al Departamento de Recibo de Correos de la Administración Principal. Según el acta levantada, las cartas llevaban impreso un sello en tinta roja con la siguiente leyenda: Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Guerra y Marina, Departamento de Aviación, el escudo del departamento, una hélice y el texto PRIMER CORREO AEREO (Ruiz Romero, 1986).

Biplano Serie B

Juan Guillermo Villasana comenzó a diseñar y construir sus propios aviones en 1908. En 1910, en la Ciudad de México, conoció a los aviadores franceses Roland Garros y Audenarde Barrier, ofreciéndose como mecánico. Esta experiencia le permitió adquirir más conocimientos sobre el

diseño y la construcción de aeronaves. En 1915, Villasana diseñó la hélice “Anáhuac” y desarrolló su proceso de fabricación, como se aprecia en la figura 3. Villasana diseñó esta hélice para ofrecer un rendimiento óptimo a una altitud de 2,200 metros sobre el nivel del mar en la Ciudad de México. También realizó estudios meticulosos sobre el diseño de hélices, aplicando principios de aerodinámica avanzada y considerando las particularidades de vuelo en diferentes condiciones climáticas y de altitud propias del territorio mexicano. Las hélices se fabricaron en la Escuela Nacional de Artes y Oficios, y su excelente desempeño atrajo la atención de los gobiernos de Japón y Argentina, que adquirieron ocho y tres hélices, respectivamente (Ruiz Romero, 1986) («MEXICAN AVIATION HISTORY», s.f.).



Figura 3

Hélice que sería utilizada en los aviones mexicanos hasta bien entrados los años 20's y asimismo exportada como obsequios a varios países amigos («MEXICAN AVIATION HISTORY», s.f.).

Fue durante este mismo año cuando se fundaron los Talleres Nacionales de Construcciones Aeronáuticas (TNCA), en la ciudad de México, dirigidos por el ingeniero de origen italiano y naturalizado mexicano, Francisco Santarini («MEXICAN AVIATION HISTORY», s.f.).

La Hélice Anáhuac fue una respuesta a esta necesidad. Su desarrollo comenzó como un proyecto para crear una hélice eficiente y adaptada a las condiciones específicas de operación en México, incluyendo la altitud y temperatura, factores que afectan significativamente la aerodinámica y el rendimiento de las aeronaves. La fabricación de esta hélice se apoyó en conocimientos de aerodinámica y técnicas de ingeniería avanzada para la época, siguiendo los principios de sustentación que ya habían sido explorados por pioneros como Nikolái Zhukovsky (Romero, 1997).

En paralelo al desarrollo de la aerodinámica en Moscú liderado por Zhukovsky, el trabajo de la TNCA se benefició

indirectamente de los avances científicos globales, así como de la experiencia adquirida durante la Revolución Mexicana. Durante este conflicto, el uso de aviones para reconocimiento y bombardeo impulsó la necesidad de mejorar el diseño y fabricación de hélices. Se buscaba aumentar la eficiencia y confiabilidad, cruciales en un país que estaba consolidando su fuerza aérea (Romero, [1997]).

Debido a la gran aceptación y éxito en la fabricación de las hélices, se construyeron en serie para los diversos aviones con que se contaban hasta bien entrados los 20's, la mancuerna que crearon Santorini y Villasana fue magnífica y dio como resultado aviones que se construyeron en serie, se alcanzaron a construir entre otros 37 biplanos series A, que fueron los más numerosos y así sucesivamente la serie B, que es el biplano que se centra en este trabajo y se puede apreciar en la figura [4] («MEXICAN AVIATION HISTORY», [s.f.]).

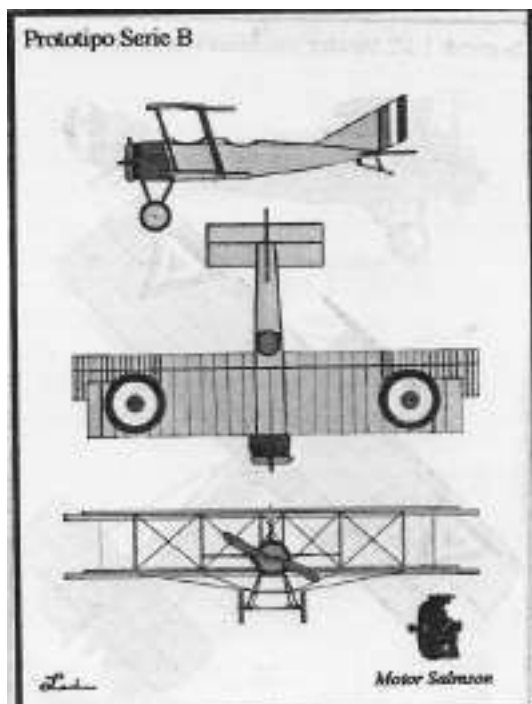


Figura 4

Prototipo Serie B «MEXICAN AVIATION HISTORY», [s.f.]

Después de construir el prototipo del Biplano Serie B con motor Salmson, al cual los TNCA no asignaron un número consecutivo, el ingeniero Lascuráin y Osio, Jefe de los Talleres, puso a disposición de la escuela el Biplano 1-B-72. Este avión se asemejaba mucho a los Biplanos Salmson utilizados por los franceses y norteamericanos durante la Primera Guerra Mundial, especialmente por su fuselaje redondeado. Se destaca que el motor Aztatl fue utilizado

para éste biplano en un inicio, aunque fue reemplazado poco después por el motor Salmson («MEXICAN AVIATION HISTORY», [s.f.]).

Las superficies horizontales fijas y los timones de profundidad, así como el timón de dirección y las superficies verticales fijas del 1-B-72, mantenían una notable similitud con las de los aviones tipo A, como se aprecia en la figura [5]. El motor era un Salmson radial de 9 cilindros y 250 hp, el más potente instalado en un avión en México hasta ese momento. Con un máximo de 1500 RPM y refrigeración líquida, este motor representó un gran avance tecnológico. Es probable que las cubiertas del motor fueran de origen francés («MEXICAN AVIATION HISTORY», [s.f.]).

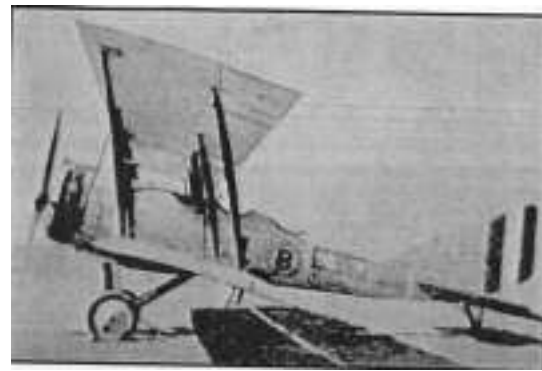


Figura 5

El Biplano militar Serie B, 1-B-72, presenta todavía una gran semejanza con los Serie A de 1919. Todo el avión estaba terminado en color aluminio, los pilotos llamaron a los Serie B “Los Puros”. (Romero, [1997]).

Siendo el 7 de noviembre de 1920 la fecha del primer vuelo del Serie B de Lascuráin y Osio. Fue volado por el piloto Fernando Proal Pardo en un vuelo de 1.20 horas quien realizó un circuito de México-Pachuca-México con una velocidad promedio de 120 kilómetros por hora (Romero, [1997]).

Ya descrito el contexto histórico, ahora se plasmarán los principios físicos básicos que se requieren para comprender como un avión puede lograr su sustentación, aunque éste no es el objetivo principal de este trabajo, es importante señalar que para el diseño del prototipo la comprensión técnica es fundamental para garantizar un óptimo funcionamiento del avión durante el vuelo.

Modelos teóricos

Un modelo es una representación teórica, una abstracción de la realidad, utilizada para describirla con un propósito específico, destacando sus características más importantes con

mayor o menor detalle. Para crear una representación, se utilizan símbolos, palabras, gráficos o un conjunto de ecuaciones o expresiones algebraicas, conocidas como fórmulas. Si este es el caso, se habla de un modelo matemático. Es fundamental recordar que, por más complejas que sean, las fórmulas no representan la realidad en sí mismas, sino que son un medio para explicarla, utilizando el lenguaje de las matemáticas. Siempre se debe cuestionar la validez universal de un modelo y estar seguros de los casos en los que se aplica, comprendiendo las hipótesis, presunciones o consideraciones que se hicieron al formularlo. Cuantos más elementos se incluyan en el proceso de modelización, menores serán los errores en los resultados y más amplia será su aplicación. Además, es importante reconocer que algunos factores que pueden parecer poco relevantes en un análisis específico, podrían ser cruciales en otras circunstancias, lo que podría invalidar el modelo y los resultados obtenidos debido a la magnitud del error generado (**gaye**).

Aerostática y Aerodinámica

Para posicionar conceptualmente este trabajo, se definen los términos aerostática y aerodinámica. La Aerostática es el estudio de los gases que no están en movimiento mientras que la Aerodinámica es la ciencia que estudia las fuerzas que generan y regulan el movimiento de los gases, especialmente del aire. El conocimiento de la acción aerodinámica es esencial para el diseño y la operación de una aeronave. Su teoría se basa en las leyes que describen la interacción entre un gas (aire) y otros cuerpos (sólidos, líquidos o fluidos) que están en movimiento relativo con él. Este movimiento relativo puede significar que el aire se mueve mientras los demás cuerpos permanecen quietos, o que los cuerpos se desplazan mientras el aire está en reposo. Entonces, cuando no hay movimiento relativo, las fuerzas generadas son estudiadas por la aerostática (**gaye**) (de Pascal, [s.f.](#)).

La solución de un problema aerodinámico generalmente requiere calcular los estados y variaciones, locales o temporales, de ciertos parámetros del aire, como su velocidad o temperatura. Al modelar el campo fluido, es posible caracterizar las fuerzas y momentos que actúan sobre los cuerpos inmersos en él (**gaye**).

Fuerzas de vuelo

Las fuerzas en vuelo se producen como resultado de un sistema muy complejo que actúa sobre la aeronave, como se aprecia en la figura 6. Para su análisis, este sistema se considera aplicado en el centro de gravedad de la aeronave e incluye las siguientes fuerzas descritas a continuación:

- Fuerzas aerodinámicas: Generadas por la distribución de la presión y los efectos de la viscosidad del aire sobre la superficie de la aeronave.

- Fuerzas aerostáticas: Producidas por la diferencia de densidades entre la aeronave y el medio que la rodea.
- Fuerzas del grupo motopropulsor (GMP): Resultantes de la variación en la cantidad de movimiento del aire circundante debido a la acción de distintos medios mecánicos o electromagnéticos.
- Fuerzas másicas (peso): Causadas por la acción gravitatoria.
- Fuerzas inerciales: Derivadas de la aceleración, ya sea instantánea o sostenida, de las distintas masas que componen el vehículo durante una maniobra. Estas fuerzas no tienen efecto cuando el vuelo se realiza a un nivel, velocidad y rumbo constantes.
- Fuerzas electromagnéticas: Generadas por la repulsión controlada entre campos electromagnéticos de distinta polaridad. Actualmente, solo los vehículos de superficie, como los trenes Maglev, o dispositivos experimentales no tripulados, utilizan este tipo de sustentación, y en su mayoría requieren instalaciones externas para su funcionamiento.
- Fuerza de sustentación: Se opone directamente a la acción de la atracción gravitatoria. Su dirección es la misma que la del peso de la aeronave, pero el sentido de su aplicación es opuesto (**gaye**).



Figura 6

Fuerzas en vuelo de una nave (**gaye**).

Perfil alar

La forma y la inclinación del perfil con respecto a la dirección de la corriente de aire son de gran importancia en la distribución de presiones que da origen a la sustentación, mencionada previamente. Para efectos de diseño es importante conocer la terminología y características que debe tener un perfil alar, como se aprecia en la siguiente figura 7 y se pueden describir de la siguiente manera:

- **Cuerda:** Es la línea recta que une el borde de ataque con el borde de salida.
- **Línea de curvatura media:** Es una línea equidistante entre el extradós y el intradós. La forma de esta línea es muy importante en las características aerodinámicas del perfil. Si la línea de curvatura media, cae por encima de la cuerda, se dice que la curvatura es positiva, negativa si va por debajo y de doble curvatura si va en un tramo por arriba y en otro por debajo.
- **Ordenada máxima de la línea de curvatura media:** Es la máxima distancia entre la línea de curvatura media y la cuerda; este valor y su posición a lo largo de la cuerda ayuda a definir la forma de la línea de curvatura media. El valor de la ordenada máxima, y su posición suelen darse en forma de porcentaje de la cuerda.
- **El espesor y la distribución de espesor:** El valor del espesor máximo y su posición se expresan en porcentaje de la cuerda. El valor del espesor varía desde un 3 % en los muy delgados hasta un 18 % en los muy gruesos.
- **El radio de curvatura del b.a.:** Define la forma del b.a. y es el radio de un círculo tangente al extradós e intradós, y con su centro situado en la línea tangente en el origen a la línea de curvatura media.
- **La acción de la corriente de aire sobre un perfil produce, por diferentes motivos, una fuerza aerodinámica.** Esta fuerza es usual descomponerla en dos componentes: sustentación y resistencia.
- **La sustentación es la componente perpendicular a la corriente libre de aire.**
- **La resistencia es la componente paralela a la corriente libre de aire.**
- **El ángulo de ataque es el que existe entre la cuerda, y la dirección de la corriente libre de aire (Isidoro Carmona, 2015).**

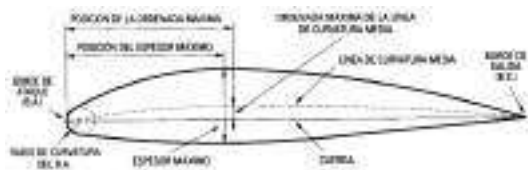


Figura 7

Fuerzas en vuelo de una nave (gaye).

Hélice Anáhuac

A lo largo de la historia se han tenido muchas complicaciones para el desarrollo aeroespacial esto debido a que el interactuar con un fluido llega ser complicado en muchos y varios aspectos. Desde que se comenzó con la inmersión al tema aeroespacial en el antiguo imperio ruso alrededor de mediados del siglo 19 (Romero, 1997).

En el año 1900, los antecedentes aerodinámicos en Moscú estaban liderados por el trabajo pionero de Nikolái Zhukovsky, quien es conocido como el padre de la aerodinámica rusa. Para esa fecha, Zhukovsky ya había comenzado a formular sus teorías sobre el flujo de fluidos y la sustentación, conceptos esenciales para la aviación, entre una de ellas se encuentra la ecuación de Joukowski 1,

$$\Delta P = -\rho c \Delta V, \quad (1)$$

donde Δp es la magnitud del choque de presión causado por el cambio en la velocidad, ρ es la densidad del fluido, c es la velocidad de la onda y ΔV es el cambio de velocidad causado por la sobrepresión (Graño, 2011).

Su enfoque se centró en entender cómo las fuerzas del aire interactúan con las alas para generar sustentación, un problema clave para el diseño de aviones. Este interés llevó a Zhukovsky a establecer en Moscú el primer laboratorio de aerodinámica del mundo en los primeros años del siglo XX, sentando así las bases para futuras investigaciones en el campo y marcando un hito en la ciencia aeronáutica (Romero, 1997).

La Hélice Anáhuac, presentada en la figura 8 fue diseñada para maximizar la eficiencia en la generación de sustentación y minimizar la resistencia. Villasana implementó un perfil aerodinámico cuidadosamente optimizado que mejoraba el flujo de aire alrededor de la hélice, reduciendo el arrastre y aumentando la fuerza propulsiva todo esto debido a como la curvatura mejoraba su perfil alar lo que nos creaba una sustentación muy buena con respecto a la tecnología de la época esto se puede apreciar en el Anexo, figura A1. Este diseño consideraba la variación de densidad del aire, especialmente relevante en México debido a las diferencias de altitud entre las zonas costeras y las regiones montañosas (Romero, 1997).

La elección de materiales también fue fundamental para su diseño. Villasana optó por el uso de maderas como el nogal y la caoba, seleccionadas por su resistencia mecánica, flexibilidad y ligereza, lo que permitió crear una hélice duradera y eficiente. Además, el uso de técnicas de laminado y prensado mejoró la resistencia estructural y la capacidad de soportar las tensiones durante el funcionamiento, evitando deformaciones y aumentando la vida útil del componente



Figura 8

En el año 1915, Juan Guillermo de Villasana patentó una hélice que revolucionaría el mundo de la aeronáutica. Gracias a sus conocimientos ebanistas (oficio familiar) logró diseñar una hélice con varios tipos de maderas y un ensamble nuevo (Romero, 1997).

el diseño fue tan exitoso que la versión de hélices Anáhuac aumento con el tiempo, además de contar con el éxito de sustentar el vuelo mas alto de la época, Azaña lograda por los japoneses con la memorable Hélice Anáhuac (Romero, 1997).

Bosquejo Conceptual

El plano de trabajo, que definirá en detalle la forma del avión y la ubicación de sus componentes y equipos, se basa en este boceto inicial. La geometría del biplano se determina sin recurrir a métodos analíticos. Por lo tanto, los planos de referencia utilizados para la construcción del biplano, como se muestra en la figura 9 no representan el diseño final del prototipo, sino que sirven como un medio para llegar a las medidas definitivas.

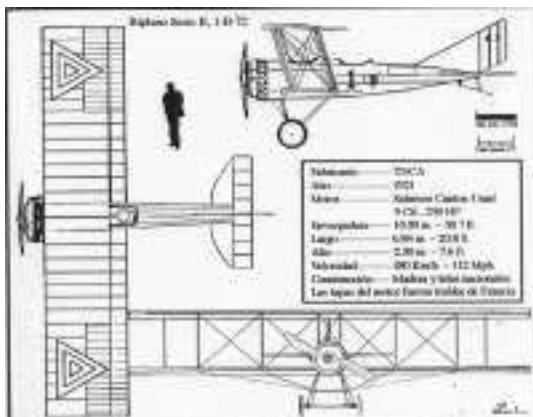


Figura 9

Fuerzas en vuelo de una nave (gaye).

En otras palabras, el diseño del avión se basa en criterios específicos, considerando las dimensiones de los componentes más voluminosos, las uniones de los elementos estructurales y la aplicación estética. Este diseño se mejora continuamente a partir de los resultados de los análisis realizados una vez definida la geometría, utilizando parámetros como la longitud de referencia, el alargamiento, la envergadura y la superficie alar.

El bosquejo conceptual realizado exhibe estas características y se definen en el plano de la figura 10. Con lo anterior mencionado, se pasa a describir los materiales que se usaron para la construcción del prototipo.

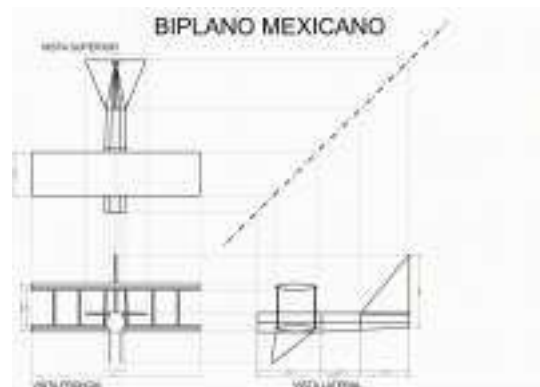


Figura 10

Planos del avión

Materiales

La visualización de los materiales se puede apreciar en la tabla 1. A continuación, se describe brevemente la justificación de su uso en el avión.

- La cinta de aluminio cumple con la apariencia metálica del acabado del avión real, y su flexibilidad permite moldearla y adherirla fácilmente a las curvas del modelo. Además, es muy ligera, lo que ayuda a minimizar el peso total del prototipo. Su aplicación en el prototipo es recubrir el fuselaje, cuerpo, alas y otras partes externas de la estructura.
- Los palitos de madera pueden cortarse y ensamblarse fácilmente, permitiendo flexibilidad en el diseño. Son reemplazables, ideales para comenzar la construcción del prototipo y, además, ofrecen buena resistencia a la compresión en comparación con otros materiales ligeros, lo que permite construir una estructura estable que soporte el peso del fuselaje y las alas. Su aplicación en el prototipo es para construir la estructura principal del biplano debido a su buena relación resistencia-peso, lo cual garantiza estabilidad y soporte estructural sin añadir mucho peso. Además, se emplearon para

Material	Imagen
Cinta de aluminio	
Palos de madera	
Abatelenguas	
Madera balsa	
Ruedas	

Cuadro 1

Materiales utilizados durante el desarrollo de la construcción del prototipo del avión.

unir las alas al fuselaje, proporcionando una conexión resistente y ligera entre ambos componentes.

- Los abatelenguas que por su rigidez contribuye a mejorar la integridad de la estructura en los puntos de unión, proporcionando soporte en áreas de mayor tensión. Al

tratarse de materiales económicos y comunes, pueden ser obtenidos fácilmente y reutilizados si es necesario además, los abatelenguas pueden ser lijados, cortados y adheridos con facilidad a distintas partes de la estructura. Su aplicación en el prototipo es emplear en las partes donde la estructura necesite mayor soporte y estabilidad adicional. Se colocan en áreas clave para reforzar las conexiones, como en las superficies de la cola del biplano: el timón, el estabilizador vertical y el estabilizador horizontal.

- La madera balsa es un material liviano, pero suficientemente resistente, ideal para construir las alas del biplano. Su bajo peso contribuye a un modelo equilibrado, mientras que su flexibilidad permite cortarla y darle forma con facilidad. Además, su textura suave facilita el proceso de acabado, logrando un aspecto uniforme y estéticamente agradable. Se empleó para la creación de las alas.
- Se justifica el uso de ruedas más grandes al frente para proporcionar estabilidad y soportar el peso principal del prototipo, simulando el funcionamiento del tren de aterrizaje delantero. Esto permite que el modelo se desplace suavemente y mantenga un equilibrio adecuado durante sus movimientos. La rueda trasera, de menor tamaño, se ha colocado para brindar soporte adicional y permitir una inclinación realista, similar a la que se encontraría en un biplano estacionado. De este modo, se asegura que el prototipo sea fácil de transportar y colocar en diferentes posiciones, además de representar de manera precisa el diseño del tren de aterrizaje característico de los biplanos clásicos. Las ruedas se incluyeron en la parte superior e inferior del prototipo.
- El uso del acetato en el prototipo es para darle rigidez a la superficie de la envergadura y el efecto curvo. Este tipo de papel se colocó por debajo de la cinta metálica que funje como la capa externa del cuerpo del avión.
- Motor eléctrico de 80 Hp, 9 V.
- Unicel.
- Papel acetato.

Diseño de piezas en 3D

Durante la construcción del prototipo, se encuentran algunas piezas que son muy difíciles de conseguir en el comercio inmediato debido a su uso en situaciones muy específicas o por sus dimensiones concretas. Afortunadamente, las herramientas tecnológicas actuales, como la impresión 3D, permiten cubrir las necesidades del prototipo. Mediante el diseño digital, es posible adaptar ciertas condiciones que

favorecen la construcción del avión.

Pensando en mantener una gran rigidez en el fuselaje del avión, todos los elementos que conforman la estructura espacial del cuerpo, se diseñaron uniones en Tinkercad como se aprecia en la figura [11](#). Estas piezas 3D actúan como conectores entre los palitos de madera. Estas piezas aseguran un ensamblaje uniforme y también reducen considerablemente el peso total del avión al evitar el uso de materiales adicionales para la construcción. Entre otras de las ventajas se resalta un montaje rápido y ajustable.

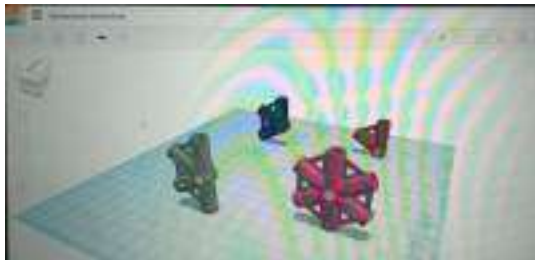


Figura 11

Planos del avión

Una vez diseñadas las piezas, se configuran en un laminador, para ajustar los parámetros de optimización de la impresora para garantizar un resultado óptimo de la producción de las piezas, como la altura de capa, boquilla, soportes, material y posicionamiento. En la figura [12](#), se aprecian los 4 diseños diferentes que se imprimieron. En cada uno de ellos, varía la cantidad de elementos que pueden unirse, desde 2 hasta 6 que pueden posicionarse de manera coplanar con la característica de ensamblar un elemento de manera ortogonal.

El resultado se puede apreciar en la figura [13](#). El material usado para las piezas es PLA, el cual por su rigidez facilita la alineación de los componentes, asegurando una estructura más sólida y equilibrada, siendo esencial para la estabilidad del modelo. Las configuraciones mejoran la resistencia y distribuyen la carga de manera uniforme, lo que es esencial en el fuselaje. Optimiza la distribución del peso y la estabilidad, proporcionando un punto central fuerte para soportar los elementos estructurales sin sobrecargar un solo punto.

Otra pieza que también se modeló e imprimió en 3D, fue la hélice Anáhuac. Las medidas y especificaciones se representan en [A1](#). Su resultado se aprecia en la figura [14](#), y más adelante se describe su montura al motor.

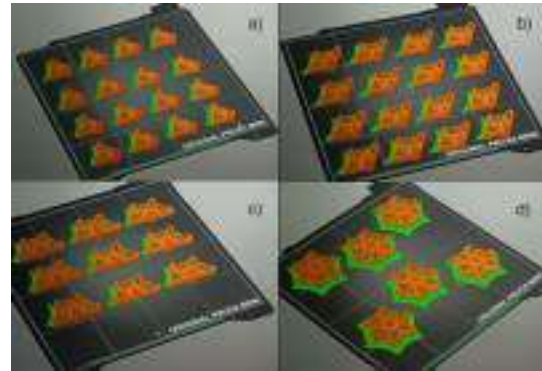


Figura 12

Vista isométrica de las uniones diseñadas. a) Permite unir hasta tres elementos estructurales. b) Hasta 4 elementos estructurales. c) Hasta 5 elementos estructurales. d) Hasta 7 elementos estructurales.



Figura 13

Resultado de la impresión 3D de las juntas estructurales.



Figura 14

Resultado de impresión 3D de la hélice Anáhuac.

Consideraciones estructurales y montura

En este apartado se examinarán los componentes esenciales de la estructura y montura del biplano, abarcando alas, envergadura y sistema de propulsión. Primero, se detallará el diseño de las alas, su material y su conexión al fuselaje, considerando su perfil aerodinámico como un aspecto clave en el diseño estructural. Luego, se analizará la envergadura, destacando su relación con la capacidad de carga y la resistencia de la maqueta. Finalmente, se abordará la instalación del motor y la hélice, explicando su elección y su integración en el prototipo para complementar la estructura y mantener la estética del modelo.

Alas

Las alas son consideradas un componente esencial en cualquier aeronave y representan una de las partes más complejas en el diseño de un biplano. En este prototipo a escala de un biplano mexicano, se emplearon piezas impresas en 3D y varillas de madera para formar una estructura robusta y ligera. Las alas no solo fueron diseñadas para proporcionar soporte estructural, sino también para visualizar la disposición y el diseño característicos de un biplano. A continuación, se describen los materiales, el diseño y las consideraciones estructurales que fueron tomadas en cuenta en la construcción de las alas de este modelo.

Para la construcción de las alas, se utilizó una combinación de piezas impresas en 3D y varillas de madera. Las piezas impresas, diseñadas específicamente para este proyecto, fueron creadas como nodos de conexión, lo que permitió ensamblar las varillas en ángulos precisos, replicando la estructura típica de las alas de un biplano. Para facilitar la identificación de las uniones, las piezas impresas fueron fabricadas en dos colores (azul y negro) que diferencian los tipos de conexión.

Las varillas de madera, seleccionadas por su ligereza y resistencia, actúan como largueros y costillas del ala, desempeñando un papel fundamental en la distribución de la carga y en la estabilidad estructural de la maqueta. La integración de estos componentes permitió crear un armazón que imita la forma de las alas reales, otorgando un nivel de detalle significativo al modelo.

El diseño de las alas se inspiró en la configuración clásica de un biplano, con dos juegos de alas superpuestas, conectadas mediante estructuras verticales. Las piezas impresas en 3D fueron dispuestas en puntos estratégicos, lo que asegura la estabilidad y correcta alineación de las varillas.

Se emplearon conexiones angulares en las piezas impresas en 3D para asegurar que las varillas de madera permanecieran en su lugar, formando la estructura de las alas en el ángulo adecuado. La disposición de los nodos en colores azul y negro permitió una distribución equilibrada del peso y brindó un soporte confiable en toda la superficie del ala. Además, el diseño modular de las piezas impresas facilitó un ensamblaje sencillo y, al mismo tiempo, una alta precisión en la alineación de las alas.

El ensamblaje de las alas fue planificado meticulosamente para distribuir adecuadamente las piezas y equilibrar la estructura. Fueron diseñados y colocados refuerzos adicionales en las uniones entre las varillas y los nodos impresos para prevenir posibles debilidades estructurales que podrían afectar la integridad del modelo.

Las alas, al estar conectadas mediante elementos verticales, deben soportar el peso de la estructura superior sin deformarse. Por esta razón, se priorizó la rigidez y una distribución uniforme del peso en el diseño. Los materiales se seleccionaron considerando su relación entre peso y resistencia, asegurando que el modelo sea lo suficientemente sólido para mantenerse estable sin agregar un peso excesivo que comprometa su integridad estructural.

Fuselaje

En la figura 15 se aprecia el resultado de la estructura del fuselaje del avión ensamblada mediante las piezas impresas en 3D, descritas anteriormente.

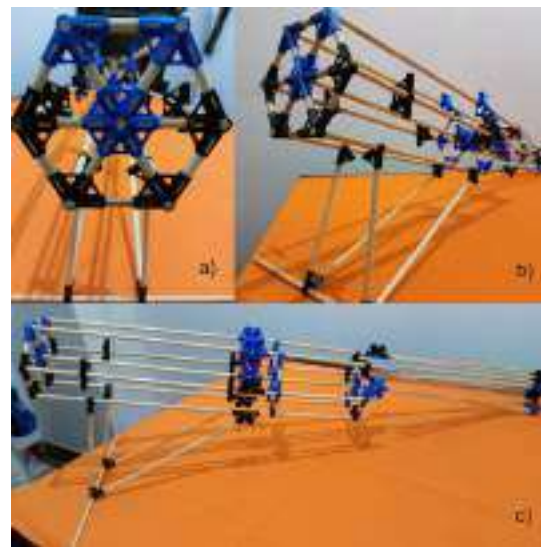


Figura 15

a) Vista frontal. b) Vista isométrica. c) Vista lateral

Aunque la montura no fue sencilla, a medida que

avanzaba su construcción, se fue visualizando la mejor manera de posicionar los elementos estructurales. Esto permitió asemejar la envergadura al biplano Serie B original y, al mismo tiempo, proporcionar la firmeza necesaria para evitar un colapso.

La construcción comenzó por la parte frontal del avión, como se muestra en la figura 15 a). Utilizando las juntas impresas en 3D que permiten unir 3 y 6 elementos de manera coplanar, se montó una estructura plana en forma de hexágono. Esta base permitió darle forma al cuerpo del avión, disminuyendo el radio en ciertos puntos para lograr la forma cónica característica del biplano.

Aprovechando la estructura base del avión, se comenzó a construir el contorno de las alas traseras. Para evitar que estas se desmontaran, se utilizaron abatelenguas como apoyo y soporte, lo que permitió darle la forma deseada.

Una vez, terminada la estructura sólida del fuselaje se forró con papel acetato para darle el efecto curvo a la superficie externa y sobre este material, se cubrió con la cinta metálica para darle el acabado de aluminio, como se aprecia en la figura 16. En la parte superior se dejaron los espacios correspondientes para los dos asientos tripulantes.



Figura 16

a) Forro inicial en la parte intermedia del fuselaje el avión. b) Forro con la cinta de aluminio en las traseras, vista superior. c) Forro completo del fuselaje vista isométrica.

En la parte inferior, se deja un palito de madera para montar las ruedas. En la parte frontal, se deja un espacio descubierto para la instalación del motor y la hélice, que se describen a continuación.

Hélice

El proceso de creación de la hélice Anáhuac a escala 1:100 fue un desafío técnico y creativo que involucró múltiples etapas para lograr una réplica precisa del diseño original, manteniendo la funcionalidad y respetando las

características históricas de la aeronave. Este proyecto requirió un enfoque cuidadoso para garantizar que las medidas y el diseño fueran lo más fiel posible al modelo real, mientras que al mismo tiempo se debía abordar la complejidad de trabajar a escala. Tras una evaluación inicial, se percató de que un motor de baja potencia sería suficiente, ya que las aeronaves reales tienen un diseño de sustentación que no requiere mucha fuerza motriz. Sin embargo, al ser un modelo a escala, ajustar los componentes resultó complicado. La hélice en el diseño original mide entre 1.3 y 1.4 metros; a escala, esto se traduce en aproximadamente 13 o 14 centímetros, lo que inicialmente parecía inadecuado. Por esta razón, se revisó más documentación, incluyendo un estudio sobre la evolución de la hélice Anáhuac, que sugirió una longitud de 2.8 metros en el modelo real, o 28 centímetros en nuestro modelo a escala.

Definición de la escala y medidas iniciales

El primer paso en el proceso fue determinar la escala adecuada para el modelo. Tras una evaluación de las opciones disponibles y de las medidas originales de la hélice, que en el caso del avión real de la serie TNCA B medía 1.3 metros, se optó por la escala 1:100. Esta decisión permitió una réplica a escala de 13 centímetros para la hélice. Sin embargo, al comenzar a revisar la escala de la hélice en función de la proporción original, se descubrió que las dimensiones resultantes no eran suficientemente grandes para mantener la funcionalidad del modelo, especialmente en cuanto a la capacidad de la hélice para girar eficientemente.

Adaptación del diseño del motor y la hélice

Una vez establecida la escala, el siguiente paso fue el diseño del motor y su integración en la estructura de la hélice. Se decidió que un motor eléctrico pequeño era la mejor opción para mantener el modelo ligero y funcional. Elegir un motor eléctrico con una batería de 9 voltios permitió que la hélice tuviera el suficiente giro para simular un vuelo real sin agregar un peso innecesario que pudiera comprometer el rendimiento del avión. Para evitar el sobrecalentamiento o el desgaste de la batería, se implementó un sistema de interruptor para apagar el motor cuando no estuviera en uso, lo que también facilitó el ahorro de energía. Esta decisión estuvo alineada con la necesidad de un sistema liviano y eficiente que no interfiriera con la estética ni la funcionalidad del modelo.

El rodamiento central y las dimensiones precisas

El rodamiento central fue otra parte crucial en el diseño. Para asegurar que la hélice pudiera girar sin resistencia, se incorporó un rodamiento que se ajustara perfectamente al motor, lo que permitió un movimiento fluido. Las medidas se tomaron cuidadosamente para que la hélice, a pesar de su tamaño reducido en escala, pudiera simular la efectividad

de la original. La inclusión del rodamiento también fue una referencia a las técnicas utilizadas en la construcción de las hélices de los aviones TNCA originales, que estaban diseñadas para operar a altitudes elevadas, donde la densidad del aire es menor.

Impresión 3D y optimización del diseño

Una vez definidos los aspectos básicos de la hélice y el motor, se pasó a la fase de diseño detallado, creando planos que luego serían utilizados para la fabricación del modelo. Para garantizar que la precisión fuera lo más alta posible, se optó por la tecnología de impresión 3D. Esta técnica permitió una reproducción exacta de los detalles de la hélice, ajustando milímetro a milímetro los componentes para que encajaran perfectamente. La impresión 3D también ofreció la ventaja de reducir significativamente el peso, una consideración crucial para no sobrecargar el avión a escala, que debía mantenerse liviano para garantizar la funcionalidad.

Simulación visual y montaje final

El siguiente paso en el proceso fue la creación de la hélice en su forma final. Se utilizó pintura de acabado en madera para simular la apariencia de la hélice original, la cual fue construida con maderas nacionales en los Talleres Nacionales de Construcción Aeronáutica (TNCA) para optimizar su resistencia y durabilidad en condiciones de vuelo de altitud. Esta capa de pintura no solo fue importante para la estética del modelo, sino que también reflejó el cuidado histórico en la fabricación de las hélices de los aviones TNCA, que fueron diseñadas para funcionar en un contexto específico de altitud y temperatura.

Una vez pintada, la hélice fue montada en el avión y se realizaron ajustes finales para asegurar que todos los componentes, desde el motor hasta el rodamiento y las alas, estuvieran correctamente alineados. Esto permitió que el modelo no solo fuera una réplica visual precisa, sino que también pudiera simular el movimiento y funcionamiento del sistema de propulsión original.

Desafíos y aprendizajes

El proceso de creación de esta hélice a escala 1:100 no estuvo exento de desafíos. Uno de los mayores obstáculos fue la falta de información detallada sobre los talleres del TNCA, lo que complicó la obtención de especificaciones exactas de los aviones y hélices originales. Sin embargo, a través de la investigación y el análisis de los pocos documentos disponibles, se logró una aproximación bastante precisa. El principal reto fue adaptar las técnicas y medidas de la hélice a la escala sin perder la esencia de la funcionalidad y el diseño de la original.

Motor

Proceso de construcción del motor eléctrico

El desarrollo adecuado del motor eléctrico de la maqueta requirió varios intentos. La idea consistía en utilizar un motor pequeño, unido a un rodamiento con silicón para aumentar el torque, y alimentarlo con una batería de 9 voltios. Todo el circuito se integraría dentro de una media bola de unicel, que se pegaría en la parte frontal del avión para darle forma a la punta y posteriormente colocar la hélice.

La principal dificultad surgió al intentar conectar todo eléctricamente, especialmente al unir los cables con el motor y la batería. Inicialmente, se intentó soldar los cables y cubrirlos con cinta aislante, pero el proceso resultó muy complicado y terminó rompiendo el contacto negativo del primer motor. Esto obligó a quitar el rodamiento y empezar de nuevo. Posteriormente, se cambió a un motor que tenía un balancín, pero al intentar quitarlo, también se rompió.

Finalmente, se cambió de estrategia y se pegó todo con silicón, excepto el cable que conectaba directamente al motor. Esta solución funcionó, permitiendo fijar la hélice al motor y, finalmente, completar el ensamblaje del avión.

Proceso de construcción de maqueta del motor

Primero, se buscaron imágenes y medidas de referencia para poder elaborar un plano decente del motor. Esta tarea resultó realmente difícil, ya que no había demasiadas fuentes confiables en internet para guiarse en la creación del modelo a escala.

Para hacer los cilindros, primero se cortaron círculos en madera y se apilaron para simular el bloque del pistón. Luego, se cortaron rectángulos de madera con cortes específicos para hacerla flexible y poder enrollarla para la base del cilindro. Los cilindros, que miden 10 cm de largo cada uno, fueron colocados con una separación de 60 grados respecto al centro del motor.

Para hacer el centro del motor se utilizó cartón cáscara de huevo para formar un hexágono, cuyos vértices fueron reforzados con plastilina para que la estructura quedara más rígida. Luego, todo el hexágono fue cubierto con plastilina para darle una forma más esférica y, posteriormente, se cubrió con pegamento para evitar que la plastilina se deformara. Los detalles de las tuercas también fueron hechos con plastilina y cubiertos con pegamento. El resultado final fue un hexágono de 13 cm de altura y largo.

Por último, se pintó todo el motor con pintura plateada para poder simular el metal del motor original. el resultado se puede apreciar en la figura [17](#)



Figura 17

Prototipo de motor Aztatl terminado.

Ensamblaje del motor y hélice al fusejale

Con el motor y la hélice ya montadas en media esfera de unicel, se ensamblaron en la parte frontal del avión, para darle el efecto curvo, como se aprecia en la figura [18](#).



Figura 18

Montura de la bola de unicel que lleva ensamblada la hélice y motor.

Al ensamblarse estas componentes, en la parte inferior se montó un pequeño compartimiento para la batería de 9V, per-

mitiendo que la conexión de cables para el paso de la corriente sea simple, y el usuario por medio de manera manual pudiera accionar el mecanismo y hacer rotar la hélice. Así como se recubrió con cinta metálica todo el cuerpo del avión, también se hizo para la bola de unicel, como se aprecia en la figura [20](#).



Figura 19

Ensamblaje de la hélice y motor a la parte frontal del avión.

Prototipo terminado

Tras toda las descripciones y la metodología mencionada previamente el prototipo de Biplano Serie B fue contruido exitosamente, como se puede apreciar en la figura [20](#).

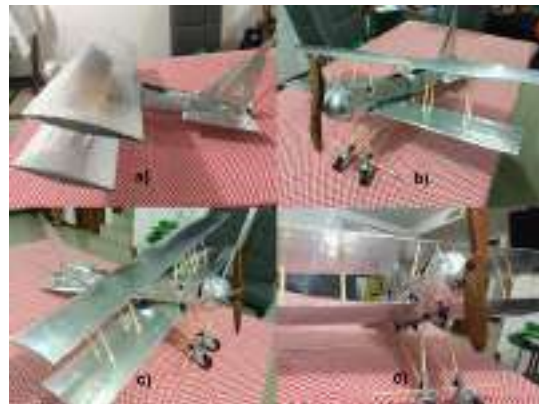


Figura 20

Prototipo finalizado. a) Vista lateral. b) Vista isométrica 1. c) Vista isométrica 2. d) Vista frontal.

Como ajustes finales, se montaron soportes de palitos de

madera entre las alas para proporcionar el soporte y la firmeza que exige el diseño del biplano. Para los palillos centrales, se perforó la madera en ambas alas, logrando así una mayor estabilidad y evitando que las alas se cayeran o desestabilizaran. El resto de los palillos se adhirieron fácilmente con pegamento de silicón, y los soportes diagonales se fijaron utilizando hilo.

Conclusión

Este trabajo abordó la investigación y construcción del primer ejemplar del biplano serie B TNCA, un proyecto pionero en la aviación mexicana. Diseñado por el ingeniero Ángel Lascurain, el biplano serie B TNCA representa un hito en la historia de la aeronáutica nacional. La investigación se centra en los desafíos técnicos y logísticos enfrentados durante el desarrollo del avión, así como en las innovaciones introducidas por Lascurain en su diseño. Además, se analiza el impacto de este biplano en la industria aeronáutica de México y su legado en la evolución de la aviación en el país. El estudio concluye destacando la importancia del biplano serie B TNCA como un símbolo de la capacidad y creatividad de los ingenieros mexicanos en el campo de la aviación. Como parte del trabajo, se construyó una maqueta a escala del biplano serie B TNCA. Este proceso incluyó la elaboración detallada de planos, la selección de materiales adecuados y la precisión en las medidas para replicar fielmente el diseño original. La construcción de la maqueta permitió una comprensión más profunda de las técnicas utilizadas y los desafíos enfrentados durante la creación del prototipo original. La maqueta finalizada no solo sirve como una herramienta educativa, sino también como un homenaje tangible a la innovación y dedicación de Ángel Lascurain y su equipo.

La construcción del prototipo del biplano serie B TNCA implicó varios pasos clave. Se comenzó con un boceto inicial que sirvió como base para el plano de trabajo, definiendo la forma del avión y la ubicación de sus componentes. La geometría del biplano se determinó sin métodos analíticos, utilizando planos de referencia para llegar a las medidas definitivas. Durante la construcción, se encontraron piezas difíciles de conseguir, pero la impresión 3D permitió cubrir estas necesidades. La montura del avión se fue ajustando para asemejarse al biplano original y proporcionar firmeza. La estructura base facilitó la construcción del contorno de las alas traseras, utilizando abatelenguas como soporte. En la parte inferior, se dejó espacio para montar las ruedas, y en la parte frontal, para el motor y la hélice. Este proceso detallado y meticuloso culminó en una maqueta a escala que no solo replica fielmente el diseño original, sino que también rinde homenaje a la innovación y dedicación de los ingenieros mexicanos.

El contexto histórico del sector aeronáutico en México es fundamental para entender la importancia de este proyecto. Los inicios de la aviación en México se remontan a una fase experimental y de operaciones militares a principios del siglo XX. Durante las décadas de 1910 y 1920, la aviación en México se desarrolló principalmente con fines militares y demostrativos, con pilotos pioneros que exploraron las primeras rutas aéreas.

La industria aeronáutica mexicana ha crecido significativamente en las últimas décadas, posicionándose como un sector clave en la economía nacional. Este crecimiento ha permitido a México integrarse en la cadena global de la industria aeronáutica, atrayendo inversiones y desarrollando capacidades en diseño y manufactura de componentes avanzados.

El biplano serie B TNCA no solo representa un logro técnico y logístico, sino que también simboliza el espíritu pionero y la capacidad innovadora de la industria aeronáutica mexicana, que ha evolucionado desde sus humildes comienzos hasta convertirse en un actor relevante en el escenario global.

Punto de vista personal

- Diego Fernando Grajeda Hernandez: Desde mi perspectiva, trabajar en los bosquejos y el diseño de planos para la construcción del biplano ha sido una de las partes más valiosas de este proyecto. El proceso de diseñar un modelo a escala fiel al original requiere una atención minuciosa a las proporciones y a cada detalle estructural. Me ha sorprendido cómo los planos se convierten en una guía fundamental para entender y replicar el funcionamiento del biplano. Cada línea y medida en el plano no solo define la forma física del modelo, sino que también asegura que todos los componentes trabajen en armonía para lograr la estabilidad y el rendimiento de la aeronave. Esta experiencia me ha hecho comprender que los planos no son solo representaciones visuales, sino el primer paso esencial en la creación de una aeronave funcional. En conclusión, el desarrollo de bosquejos y planos para el biplano me ha mostrado la importancia de la planificación detallada en la ingeniería. Realizar los planos me permitió no solo visualizar el producto final, sino también anticipar los desafíos y necesidades del ensamblaje. Este proceso me enseñó que el éxito de un proyecto depende de un diseño preciso y bien estructurado desde el inicio, donde cada línea y medida tienen un propósito. Esta experiencia me ha dado una apreciación profunda por el diseño técnico y la importancia de los planos como base en la construcción de cualquier aeronave, y me

motiva a seguir perfeccionando estas habilidades en mi formación.

- Carlos Ernesto Bernal Lino : Este proyecto no solo resultó en una réplica a escala precisa de la hélice Anáhuac, sino que también permitió una comprensión más profunda de las complejidades del diseño aeronáutico mexicano en sus primeras etapas. A través del uso de tecnologías modernas como la impresión 3D y la integración de principios históricos, el proceso de creación se convirtió en una experiencia enriquecedora que conectó el pasado con el presente, resaltando la importancia de los Talleres Nacionales de Construcción Aeronáutica en la historia de la aviación en México.
- Sebastián Rivera Reyes: En este proyecto me he dado cuenta que me gusta y apasiona la carrera de ingeniería Aeroespacial, en este proyecto aprendí mucho acerca de la historia de la aeronáutica y acerca del funcionamiento de los primeros aviones. Todo esto me ha enseñado que debo aprender a organizarme mejor y planificar de una manera más eficiente. Sinceramente creo que nos faltó comunicación al momento de realizar el avión a escala, pero en mi opinión, nos fue bien para ser nuestro primer avión.
- Owen Emmanuel Salais Estrada: Para mí, construir un modelo de biplano representa un viaje hacia el pasado de la ingeniería aeronáutica, donde cada detalle del proceso ayuda a comprender el desarrollo de la aviación. Este proyecto me ha dado la oportunidad de aplicar conceptos como la aerodinámica y la aerostática de una manera tangible, más allá de la teoría. Al trabajar en la estructura y los componentes, pude ver de primera mano cómo los principios físicos, como la distribución de peso y el flujo de aire, afectan directamente la estabilidad y el control de una aeronave. Entender estos conceptos desde una perspectiva práctica me ha dado una visión más clara de los retos que enfrentaron los pioneros y del ingenio que aplicaron en sus diseños. La construcción de este prototipo de biplano ha sido una experiencia enriquecedora que va más allá de replicar un diseño. He descubierto que cada paso del proceso exige no solo habilidades técnicas, sino también una comprensión profunda de los principios científicos que permiten que una aeronave vuele de manera estable y eficiente. Este proyecto me ha dejado una apreciación más fuerte por el ingenio humano y por la importancia de los fundamentos en la ingeniería. También ha reafirmado mi interés en la aeronáutica y en la importancia de la experimentación práctica como complemento de la teoría. La posibilidad de transformar conceptos abstractos en un modelo funcional ha sido una lección invaluable para mi formación.
- Edgar Andrés Ávila Peña: La creación de la maqueta del avión a escala Biplano serie B, me permitió profundizar en la comprensión de los principios aerodinámicos y el diseño de aeronaves. Me sorprendió la complejidad y precisión requeridas para replicar con fidelidad las características del avión original, la historia que hay detrás de algo tan común en la actualidad como un avión se hizo recapacitar sobre el esfuerzo y los años o décadas que toma hacer que algo despegue del suelo, al trabajar en la maqueta, pude apreciar el trabajo y la ingeniería que se esconde detrás de cada detalle, desde la forma de las alas hasta la disposición del motore, cada elemento juega un papel crucial en el rendimiento y la estabilidad del avión. Este proyecto me inspiró a seguir explorando la fascinante mundo de la aviación y me reafirmó mi pasión por la ingeniería aeroespacial, me siento contento de haber podido trabajar con cada uno de los integrantes del equipo.
- Jonathan Avalos Hernández : La metodología y organización que se realizaron para contruir este proyecto fue fundamental para obtener los resultados esperados. El trabajo es la representación de los desafíos y retos que a lo largo del programa aeroespacial como estudiante se ven plasmados en un prototipo físico, en donde los conceptos, destrezas y el trabajo en conjunto son aspectos que estan involucrados. Este proyecto ha contribuido a conocer parte del contexto histórico del sector aeronáutico en México, y por medio de diversos acontecimientos militares marcaron hitos muy importantes que fueron esenciales para llegar a lo que en la actualidad la industria aeroespacial se encuentra en desarrollo y crecimiento en territorio nacional. La experiencia que me llevo con el armado del prototipo ha marcado una ideología de aprendizaje muy satisfactoria. Mediante el uso de recursos de fácil acceso hasta el uso de tecnología de impresión 3D, hace que pueda identificar las diversas herramientas que se tienen a disposición, y que por medio del ingenio y la creatividad se pueden llegar aprovechar de la mejor manera.
- Mariana Espinoza Rivera: Con este proyecto puedo concluir que verdaderamente se requiere de mucho esfuerzo, dedicación y tiempo. También se puede usar como ejemplo para darse una idea de lo que es trabajar como ingeniero, ya que se requiere de habilidades como trabajo en equipo y el saber trabajar bajo presión. Además ayudó a conocer un poco más a profundidad sobre diversos temas que aunque ya son historia, son importantes ya que debe entenderse el principio o pasado de la profesión para poder entender un poco más la ingeniería cosmonáutica.
- Mizael Castellanos Servín : Este proyecto, aunque laborioso, me pareció que fue una buena probada de lo

que esté haciendo probablemente toda mi universidad, desde mi punto de vista esta clase de proyectos que duran semanas en realizarse y que requieren alta inversión de tiempo. Además me sirvió para poder aprender sobre la historia mexicana de la aviación, de la cual siendo completamente sincero no tenía ni idea antes de esto; esto me sirvió para poder reconocer y admirar el trabajo incansable durante décadas que ha tenido la aviación mexicana y aunque esta nunca haya sido tan reconocida ni tomada en cuenta incluso en nuestros días, vale la pena conocerla y usarla para poder seguir mejorando en un futuro, ya que como dijo Jorge Ruiz de Santayana “Quien olvida su historia esta condenada a repetirla”

- Ramón Alvaro Chaparro Saenz: Este proyecto nos hizo afrontar los desafíos que se presentan a la hora de trabajar en equipo y lograr una buena coordinación y cooperación para llegar a los resultados deseados. También se pone en perspectiva los logros, el esfuerzo, mérito y la dedicación de los pioneros de la aviación en México, los cuales abrieron el camino para avances en el área de la aeronáutica. Con el acceso a una abundante cantidad de información en línea, y con ayuda de herramientas modernas, como la impresión 3D, pudimos hacer un modelo de uno de los primeros aviones mexicanos. Pero, a pesar de eso, no fue una tarea sencilla. Con conocimientos y aplicaciones de Física, y con trabajo en equipo se pueden realizar grandes cosas, y este ejercicio ha sido un paso hacia nuestro camino como contribuyentes a la misión humana de la exploración del aire y del espacio.

Referencias

- Álvarez, H. M. (2024). *Apuntes de clase, Introducción a la Ingeniería Cosmonáutica*.
- De La Defensa Nacional, S. (s.f.). Evolución de la Fuerza Aérea Mexicana. <https://www.gob.mx/sedena/documentos/evolucion-fuerza-aerea-mexicana>
- de Pascal, P. (s.f.). *ESTÁTICA DE FLUIDOS*.
- Flores, S., & Garza, M. R. (2024). *Decades of Rebellion: Volume 1: Mexican Military Aviation in the Rebellions of the 1920s* (Vol. 40). Helion; Company.
- Graño, J. M. B. (2011). *Mecánica de fluidos*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Isidoro Carmona, A. (2015). *Aerodinámica y actuaciones del avión 13*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Los altos vuelos de la aviación militar. (2018, junio). <https://relatosehistorias.mx/numero-vigente/los-altos-vuelos-de-la-aviacion-militar>
- MEXICAN AVIATION HISTORY. (s.f.). <http://mexicanaviationhistory.com/articulos/articulo/?Id=22#>

- Romero, M. R. (1997). *Legendarios en la aeronáutica de México*. Reaseguros Alianza.
- Ruiz Romero, M. (1986). *Grandes vuelos en la aviación Mexicana*. Mexico, DF Grupo.
- Talles nacionales de construcciones Aeronáuticas. (s.f.). <http://www.elheraldodejuarez.com.mx/analisis/talles-nacionales-de-construcciones-aeronauticas-2369565.html>
- Theo. (2020, diciembre). AZTATL. https://aeroenginesaz.com/es/marca_aztatl

Apéndice A Anexo A



Figura A1

Plano Hélice Anáhuac

Apéndice B

Anexo B



Figura B1

Plano Motor Aztatl