



Nota tecnica



# Diseño, construcción y lanzamiento de cohete experimental: Tetris

## *Design, construction and launch of experimental rocket: Tetris*

Liliana Lucero Vargas Oseguera<sup>1</sup>, Diana Gabriela Bejarano Toloza<sup>2</sup>, Antonio Gómez Roa<sup>3</sup>  
Oscar Adrián Morales Contreras<sup>3</sup>, Oscar Abraham Solano Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Carretera Federal Valle de Bravo Km 30, Ejido San Antonio Laguna, 51200 Valle de Bravo, México

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Calle Universitarios Ote. S/N, Cd Universitaria, 80040 Culiacán Rosales, Sinaloa, México

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Blvd. Universitario # 1000 CP: 21500 Unidad Valle de las Palmas Tijuana, Baja California, México

**Autor de correspondencia:** Liliana Lucero Vargas Oseguera, Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Carretera Federal Valle de Bravo Km 30, Ejido San Antonio Laguna, 51200 Valle de Bravo, México. Correo electrónico: [lilianavargasoseguera@gmail.com](mailto:lilianavargasoseguera@gmail.com). ORCID: 0009-0004-0204-192X.

**Recibido:** 29 de Enero del 2024

**Aceptado:** 4 de Junio del 2024

**Publicado:** 10 de Junio del 2024

**Resumen.** - Desde el lanzamiento de Sputnik en los años 50, en todo el mundo se empezaron a utilizar los cohetes a escala para que las personas interesadas en el sector espacial tuvieran acceso tanto en costo como en la seguridad y manufactura. En las instalaciones de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), se desarrolló un proyecto de diseño, construcción y lanzamiento del cohete experimental denominado Tetris. Para el diseño del mismo se utilizó el Software Openrocket, y sus componentes son: la ojiva, fuselaje, 3 aletas tipo trapezoidales, un paracaídas sujeto a la estructura del cohete y a la ojiva, los motores tipo I-J y un Satélite tipo CanSat con paracaídas como carga útil. El Tetris se construyó con material de fibra de vidrio en los laboratorios de Ing. Aeroespacial de la FCITEC-UABC. Se realizaron dos lanzamientos de forma exitosa en las instalaciones de la Laguna Salada ubicada en el estado de Baja California, uno llevando de carga útil una lata con piedras como peso y el otro lanzamiento contenía un CanSat. La altura máxima alcanzada por el cohete fue de 595.8 m s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) en un tiempo de 10 s, desde una plataforma inicial colocada a 16 m s.n.m. El interés principal de hacer estos proyectos radica en manipular nuevos materiales, innovar las técnicas utilizadas en manufactura y sobre todo adquirir experiencia para en un futuro iniciar la era espacial en México como lo fue en los años 60 y 70.

**Palabras clave:** Cohete experimental; Fibra de vidrio; Manufactura.

**Abstract.** - Since the launch of Sputnik in the 1950s, scale rockets began to be used around the world so that people interested in the space sector had access both in terms of cost, safety and manufacturing. At the facilities of the Autonomous University of Baja California (UABC), a project to design, build and launch the experimental rocket called Tetris was developed. For its design, the Openrocket Software was used, and its components are: the warhead, fuselage, 3 trapezoidal fins, a parachute attached to the rocket structure and the warhead, the type I-J engines and a CanSat-type satellite with parachutes as Useful load. Tetris was built with fiberglass material in the Aerospace Engineering laboratories of FCITEC-UABC. Two launches were successfully carried out at the Laguna Salada facilities located in the state of Baja California, one carrying a can with stones as a weight as a payload and the other launch containing a CanSat. The maximum height reached by the rocket was 595.8 m a.s.l. (meters above sea level) in a time of 10 s, from an initial platform placed at 16 m a.s.l. The main interest in doing these projects lies in manipulating new materials, innovating the techniques used in manufacturing and, above all, acquiring experience to in the future begin the space age in Mexico as it was in the 60s and 70s.

**Keywords:** Experimental rocket; Fiberglass; Manufacturing.



## 1. Introducción

El origen de los cohetes se remonta a la antigua China, donde inicialmente se le atribuyeron a un suceso experimental con pólvora y tubos de bambú [1]. No fue hasta el año 1232 que, a causa de una guerra entre chinos y mongoles, donde los chinos usaron por primera vez cohetes, los cuales estaban conformados por flechas y un cohete de combustible sólido [2]. Lo que en la actualidad lo podemos asemejar a los fuegos artificiales. En la era moderna se pueden hallar los nombres de Konstantin Tsiolkovsky, Robert H. Goddard, Hermann Oberth, pioneros de la cohetaría, donde gracias a sus experimentos con cohetes de combustible tanto sólido como líquido dieron origen a lo que hoy en día se puede observar en los lanzamientos espaciales, desde Sputnik hasta personas y máquinas lanzadas al espacio exterior [3].

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) ha definido a un cohete como un elemento de transporte, que puede emplear dos tipos de combustible, sólido o líquido. Los motores de cohetes convierten el combustible en gas caliente, haciendo que el motor empuje el gas hacia atrás, obteniendo que el cohete se mueva hacia adelante. [4].

Así como la evolución en cohetaría, también el propelente fue evolucionando iniciando con un propelente sólido, el cual es uno de los más comunes en la actualidad, prosiguiendo con un propelente líquido, Goddard fue el que consideró que el hidrógeno líquido y oxígeno líquido serían la combinación ideal sin embargo comenzó por experimentar con gasolina [5], hasta implementar propelentes híbridos, los cuales implementan un combustible sólido y un oxidante líquido [6]. A grandes rasgos, la propulsión es el acto de cambiar el movimiento de un cuerpo con respecto al marco de referencia de inercia [7].

Si bien, la cohetaría experimental o amateur aparece entre los investigadores y aficionados a temas aeroespaciales y astronáuticos a finales de los años 50, esto con el gran éxito que tuvo la Unión soviética al poner el satélite artificial Sputnik 1 en órbita, solo ha existido un crecimiento tecnológico en las carreras aeroespaciales, en países como Estados Unidos y Rusia, quienes se han dedicado a innovar constantemente para crear avances y organizaciones de mayor impacto [8], como lo es la NASA, la cual se ha convertido en una agencia que tiene como objetivo la exploración pacífica del espacio en beneficio de toda la humanidad y es bien sabido que el lanzamiento de máquinas y personas al espacio ha sido posible de manera exitosa en la mayoría de las ocasiones [9]. Sin embargo, los cohetes son costosos y de grandes dimensiones para que todo civil pueda aprender de ellos, a causa de esto, nace la cohetaría experimental como rama aeroespacial para aficionados, y el propósito de esto es poder experimentar a una escala pequeña haciendo posible toda modificación deseada y con un costo mucho menor.

En México, la investigación referente a los cohetes experimentales es escasa debido a que realizar investigaciones con estos dispositivos tiene un alto precio económico, por ello actualmente se recurre a proveedores exteriores para hacer uso de este servicio, lo que aumenta el precio drásticamente y nos hace dependientes en el desarrollo espacial. A pesar de ello, hay registros desde 1957 donde se trabaja con cohetes experimentales siendo San Luis Potosí, el primer lugar con lanzamientos de estos cohetes en el país [10]. Algunos de los cohetes que se desarrollaron dentro del programa de la Comisión Nacional del Espacio Exterior (CNEE) fueron el SCT1, SCT2, Tonatiuh y el Tototl alcanzando los 35 mil metros de altura en una sola etapa y el Cohete de dos



etapas llamado Hurtle I alcanzando hasta 120 mil metros.

Finalmente, en 1972, el programa de Cabo Tuna por parte de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) intento reiniciar sus actividades con la serie “Filoctetes”, que a la postre serían los últimos cohetes que se lanzaran en dicho programa. Al suspenderse el trabajo de lanzamientos de cohetes experimentales, continuó consolidándose los grupos de investigación que existen en el país [10].

Pese a los desarrollos efectuados en México sobre cohetes experimentales con anterioridad, reanudar dichas actividades e investigaciones es difícil, debido a la escasa información disponible con la que contamos en nuestro país.

Por tal motivo, se recurrió a una extensa investigación del estado del arte sobre estos vehículos con asesoramiento de miembros de “Tripoli Rocketry Association”, en la cual se obtuvieron certificaciones en coherería de alta potencia para el diseño, construcción y lanzamientos.

En este documento se muestra el diseño y construcción de un cohete experimental educativo, el cual tiene la misión de transportar un satélite tipo CanSat, es decir, una réplica de un sistema espacial integrado en el volumen de una lata de refresco. El concepto de CanSat fue introducido a finales de la década de 1990 por el profesor Robert Twiggs de la Universidad de Standford [11], proviene de sus características donde su tamaño, no supera una lata de refresco y es lanzado con un cohete, dron o globo aerostático a una altitud aproximada de un kilómetro, de allí **Can** es de lata y **Sat** de satélite, por sus siglas en inglés [12].

En contraste con los cohetes que son lanzados al espacio, el que aquí se plantea solo alcanzará una determinada distancia con respecto al nivel del mar, esto depende de la clasificación del

combustible que se utiliza. De igual manera la materia prima con la que se manufactura y el diseño aerodinámico de dicho cohete tiene su papel importante. Para el diseño se utiliza el software Openrocket, que es un simulador de cohetes de código abierto, que permite crear diseños detallados de cohetes y simular el vuelo de los mismos en diversas situaciones, como diferentes condiciones climáticas, altitudes y ángulos de lanzamiento, permitiendo realizar ajustes y mejoras en sus diseños antes de la construcción y lanzamiento real.

La finalidad de la construcción de este cohete experimental es generar experiencia a pequeña escala en el ámbito de la ingeniería aeroespacial en estudiantes mexicanos. Por otro lado, existe un gran interés por parte de la Agencia Espacial Mexicana (AEM), en el Programa Nacional de Actividades Espaciales 2020-2024 se tiene contemplado a mediano y largo plazo desarrollar talento mexicano en la tecnología en el ramo de la coherería debido a que existen 2 puntos en México para poner un puerto espacial como lo es Chihuahua y Baja California. Por ello, estar preparando a estudiantes y desarrollando nuevas técnicas de diseño y construcción apoyará enormemente, no solo contar con recurso humano calificado, sino también en un futuro contar con cohetes mexicanos. En este proyecto los aspectos que se contemplan serán físicos, matemáticos, químicos, entre otros. Los estudiantes encargados de trabajar en este proyecto no tenían conocimiento sobre los cohetes experimentales, ya que sus carreras no son en ciencias espaciales, sin embargo, el interés sobre esta temática es grande, por lo que en un verano científico se prepararon de forma teórica y práctica sobre la metodología de implementación de una misión con un satélite tipo CanSat con múltiples sensores que será lanzado a la atmósfera a bordo de un cohete experimental, considerando el proceso del diseño, simulación, selección de materiales y combustible adecuado.



## 2. Antecedentes

En la cohetería experimental el grano propelente forma parte del proceso de combustión, mientras que la tobera es de los elementos más importantes en el diseño de un cohete, este último elemento se usa para acelerar los gases de escape calientes y producir empuje, es importante tener en cuenta que la cantidad de empuje producido por el motor depende de la velocidad de salida del flujo, presión a la salida del motor y del caudal másico a través del motor, cabe destacar que el valor de estos tres elementos se determina dependiendo el diseño de la tobera [13].

El propelente está compuesto de combustible y un oxidante. El más conocido es con base de azúcar, mientras que otros pueden emplear varios tipos de oxidantes como: polímeros unificadores y metales como aluminio o magnesio [14]. La manera en que se le da forma al propelente asume un papel importante y está directamente relacionado con el rendimiento del motor. Todos los propelentes son procesados con una geometría cilíndrica para acoplarse dentro del motor del cohete maximizando la eficiencia volumétrica [15]. El núcleo, si es que cuenta con uno, puede variar su forma: circular, estrella, cruz, hueso, etcétera, esto genera un cambio de empuje-tiempo dependiendo del mismo. El más común para motores amateur es el circular [16].

Por otro lado, se cuenta con un inhibidor que es un material o recubrimiento resistente al calor para evitar la combustión mientras opera el motor, típicamente son de papel o cartón, sin embargo, también suelen presentarse con un recubrimiento de poliéster o resina epoxi [17].

La evolución del propelente inició en 1794 con el motor de gas de Thomas Mead, el motor de combustión de Robert Street en 1794, la chispa eléctrica de François Isaac de Rivas, seguida de la utilización industrial del motor de Samuel Brown en 1823. Posteriormente, todos habían

sentado la base para el primer cohete de propulsor líquido de Robert Goddard [18].

La estructura del cohete se puede constituir de materia prima como el cartón o materiales compuestos [19]. La fibra de vidrio es un material incombustible no absorbente y químicamente estable, es el material en forma de fibras que son obtenidas del vidrio por diversos procedimientos [20]. Es un buen aislante térmico de fácil colocación y de poco peso, 3 cm de fibra de vidrio tiene la misma capacidad de aislante térmico que 15 cm de madera. Para este material se requiere de la adición de un polímero para reforzar la constitución, en este caso un material epóxico, los cuales son termo-endurecidos [19].

La construcción de cohetes experimentales se diferencia por la composición y el objetivo de cada misión, ya que la mayoría de los cohetes experimentales, son de carácter telemétrico. Así, como la carga útil de este, se define como: el objeto que una persona se compromete a colocar en el espacio exterior o ultraterrestre, mediante un vehículo de lanzamiento o un vehículo de reentrada, incluidos los componentes del vehículo, específicamente deseado o adaptados para ese objetivo [21]. Un ejemplo es el desarrollado por Jiménez [20], de la Universidad de los Andes, quien diseñó un cohete llamado Pua de 952 cm de alto con un motor de propelente sólido (nitrate de potasio y sorbitol) contenido en un tubo de PVC, de fuselaje de aluminio, ojiva de madera, 3 alerones de aluminio y el motor fabricado en su totalidad de aluminio (cámara de combustión y tobera).

A diferencia del cohete desarrollado por Jiménez en este trabajo se emplea fibra de vidrio como material principal y aditivos. Por otro lado, se presenta un cohete cuyo enfoque es el diseño del motor realizado en SolidWorks, aplicando la metodología de SRMD (Solid Rocket Motor Design). El diámetro interno de la cámara de combustión fue de 27.67 mm, con longitud de



230 mm. El combustible sólido se basó en la mezcla de nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) (oxidante) y azúcar de alta pureza (o sucrosa:  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) (combustible), cuya síntesis se logró a través de un proceso de fusión térmica. El desempeño del motor arrojó valores de 227 Newton y un impulso específico de 65.8 segundos, clasificando como un motor tipo G [22]. Por otro lado, el cohete presentado en este artículo utiliza motores tipo I y J, donde se tiene un impulso de 333N-seg y 727 N-seg, respectivamente.

En el 2015 Bouche [23] diseñó y fabricó un transmisor de doble banda, trabajando a 870 MHz y 2.45 GHz, utilizando una antena de pala aerodinámica para ser implementada en un cohete y adquirir datos a través de los sensores integrados, esta antena se colocó en un cohete experimental y fue lanzado con éxito en agosto de ese año. Con esto se hace referencia a que cada lanzamiento tiene una misión subjetiva, y el procesamiento de datos en este caso particular fue realizado fabricando un transmisor, para cumplir con la misión de esta investigación, se utilizaron los módulos transceptores de XBee que utilizan el protocolo de comunicación en red llamado IEEE 802.15.4 punto a punto.

Sean cuales sean las características del cohete por diseñar, se requiere conocer las restricciones en lanzamientos y operaciones, en el caso de un cohete educativo, si la altitud de lanzamiento es menor a 5 km se emitirá una notificación al Organismo de Autoridad [16].

### 3. Metodología

En la figura 1 se describe el proceso para la ejecución de este proyecto. En primera instancia se realiza el estudio o análisis del material a usar, seguido del diseño y simulación del cohete en software; posteriormente el establecimiento del objetivo de la misión se prosigue con la manufactura del cohete y finalmente la

planeación, logística, lanzamiento y recolección del cohete.

La manufactura del cohete se realizó en el laboratorio de Ing. Aeroespacial ubicado en las instalaciones de la FCITEC-UABC, además, se contó con la asesoría en el manejo de materiales de profesionales de la empresa EVA FIBERGlass.

Es importante realizar una extensa adquisición de documentación para tener noción de lo que se está realizando, considerar los factores a los que un cohete este sujeto al momento de realizar su vuelo, cabe mencionar que para realizar todas las prácticas dentro de esta investigación se tomó como guía el código de seguridad emitido por Tripoli Rocketry Association y National Association of Rocketry (NAR), las cuales son organizaciones originarias de los Estados Unidos de América, encargadas de regular todo lo referente a actividades de cohetaría de alta potencia [24].

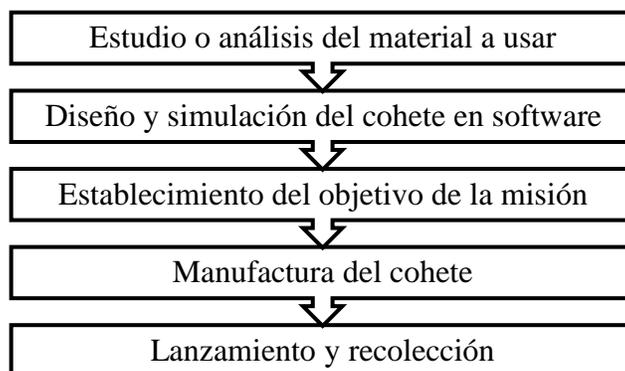


Figura 1. Diagrama metodológico.

#### 3.1. Estudio y análisis del material

Si bien, se sabe que el peso de los cohetes experimentales se encuentra limitado por la capacidad de empuje del motor a utilizar, es decir, cuanto más ancho es el tubo donde está el motor, tiene más combustible y por lo tanto tiene más potencia, ya que lo quema más rápido, en cambio, si es más largo va a tardar más en



quemar, pero pesará más, por ello, se buscan materiales que sean termorresistentes y de peso ligero. A pesar de existir materiales de bajo costo como madera, cartón paja o PVC, se optó por usar la fibra de vidrio en toda la construcción del cohete, este material está compuesto por filamentos de vidrio muy finos, gracias a esto se puede amoldar de una forma sencilla y por ello se puede encontrar en distintos formatos como lo son mallas, tubos o varillas y se utiliza en los cohetes por ser un material liviano con resistencia mecánica, estabilidad dimensional con un muy buen aislamiento térmico y muy importante es un material incombustible, o sea, no propaga el fuego al momento de que se accione el motor y por último hace que el cohete sea reciclable, ya que tiene una larga vida y es de muy bajo mantenimiento [25]. Para la creación del cohete se utilizaron tejidos de fibra de vidrio, se comenzó cortando rectángulos de un rollo de fibra de vidrio (Fig. 2), las cuales fueron cubiertas con resina de poliéster para empastar y catalizador para el endurecimiento de la fibra de vidrio.



**Figura 2.** Hojas de fibra de vidrio

Por otro lado, para la cuerda que sujeta el fuselaje con la ojiva, se utilizó una cinta tubular de nylon, la cual es más flexible que una plana, y son resistentes a la rotura, abrasión y al calor [25].

Para la unión de las piezas como aletas, anillos de centrado y tubo de motor, se buscó un adhesivo estructural capaz de proporcionar

estabilidad en la unión de las piezas, así como también la resistencia térmica, por lo cual, se utilizó el adhesivo estructural conocido como epoxi, el cual es un pegamento fácil de usar y además ofrece gran rigidez y es moldeable, además, los inconvenientes de este material son mínimos, puesto que se ocupan especialistas para manejarlo y una vez instalado no es fácil removerlo [26], sin embargo, esto último resulta una ventaja a la hora de usarlo en los cohetes experimentales, ya que se busca una adherencia alta.

### 3.2. Diseño y simulación del cohete en software

El empleo de simuladores es de gran ayuda hoy en día, gracias a la rápida respuesta que se obtiene para la fase de desarrollo de cualquier proyecto, y de esta manera poder validar el diseño con los parámetros ingresados, es posible generar una perspectiva que nos permite visualizar de manera más acertada el resultado esperado. El diseño se realizó en el simulador de Openrocket, el cual es gratuito y brinda el apoyo y facilidad para reproducir todos los materiales que utilice el modelo, desde el tipo de material con su densidad hasta los acabados [27], permitiendo diseñar la ojiva del cohete, siendo esta forma la más usada por la resistencia de aire que se opone al movimiento del cohete.

Calculando de igual manera la aerodinámica y estabilidad del cohete se utilizaron 3 aletas tipo trapezoidales cónicas con un montado en la superficie (Fig. 3), cabe destacar que las aletas no solo ayudan en la estabilidad, sino que también en otros efectos de vuelo como el equilibrio, rotación, oscilación, etc. [28].

En cuanto al diseño de la ojiva, se consideró que el vuelo del cohete es subsónico. Teniendo en cuenta que existen diversos tipos de ojiva: cónica, tangente, esférica o hiperbólica, entre otras. Según un artículo publicado por la NACA



en 1951, llevado a cabo por Alvin Seiff y Carl A. Sandahl, el uso de puntas esféricas en ojivas cónicas o de otra geometría contribuye a reducir la resistencia a cualquier número de Mach. Por lo que se optó el tipo tangente.

Gracias al simulador, se puede obtener una mejor visualización de cada componente del cohete, incluso los componentes internos como la nariz, acoplamiento, aletas, tubo de motor (para conocer las medidas específicas del motor a utilizar se revisa la página oficial de compra), anillos de centrado, ubicación de la carga útil y paracaídas, entre otras, además de información técnica como, tamaño, masa, velocidad máxima y apogeo.

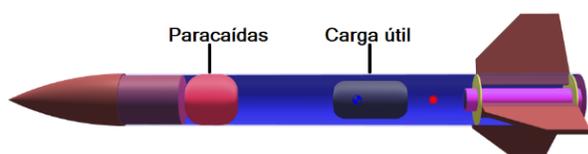


Figura 3. Cohete experimental TETRIS.

Diseñar un cohete en el software Openrocket es sencillo, la interfaz del programa permite manejar los parámetros claves para optimizar el apogeo, velocidad máxima, centro de gravedad, estabilidad, etc. El software también contiene un apartado de simulación de vuelo, donde se integra el motor que se utilizará y se presentan mediante gráficos los parámetros de interés tales como la estabilidad vs. tiempo o características de rotación, etc.

En la figura 4, se realizó una prueba de vuelo con las características del cohete y un motor tipo I de Aerotech, se graficó la altitud vs. tiempo para saber si íbamos a alcanzar nuestro objetivo con los parámetros del cohete.

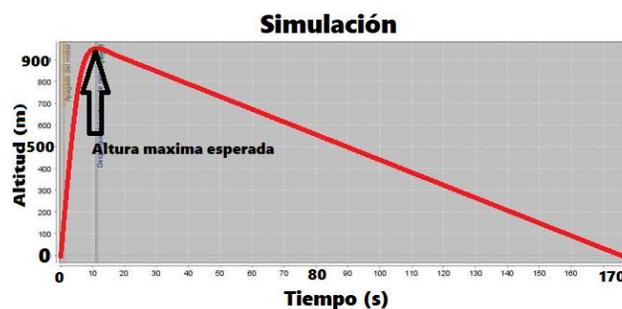


Figura 4. Simulación del tiempo de vuelo del cohete TETRIS

### 3.3. Establecimiento del objetivo de la misión.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar, construir y lanzar un cohete con una carga útil de un satélite para recopilar datos atmosféricos.

El desarrollo de este proyecto permite a los estudiantes diseñar un cohete experimental, considerando su aerodinámica, materiales convenientes, manufactura y lanzamiento del mismo para posicionarlo a una altura de 900 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.), con una carga útil que brinde información atmosférica con los sensores instalados en un satélite enlatado (CanSat).

Este tipo de proyectos busca que los jóvenes estudiantes mexicanos, se adentren a una metodología de trabajo teórico-práctica, motivándolos en su búsqueda de innovación para el desarrollo de un cohete experimental [29], implicando la selección de material, proceso de manufactura que incluya el método de recolección de la carga útil.

### 3.4. Manufactura del cohete.

En la figura 5, se muestra de manera general el proceso de manufactura del cohete experimental una vez que se tiene las consideraciones de diseño y material necesario. Se inicia con la selección de los tubos de metal para el fuselaje y el tubo de motor, esto quiere decir que, se empleó una base sólida para establecer una medida



estándar del cohete. Estos elementos se cubren con acetato y papel encerado. Y sobre estas, las hojas de la fibra de vidrio con su catalizador y resina, como se aprecia en la figura 6 [30].

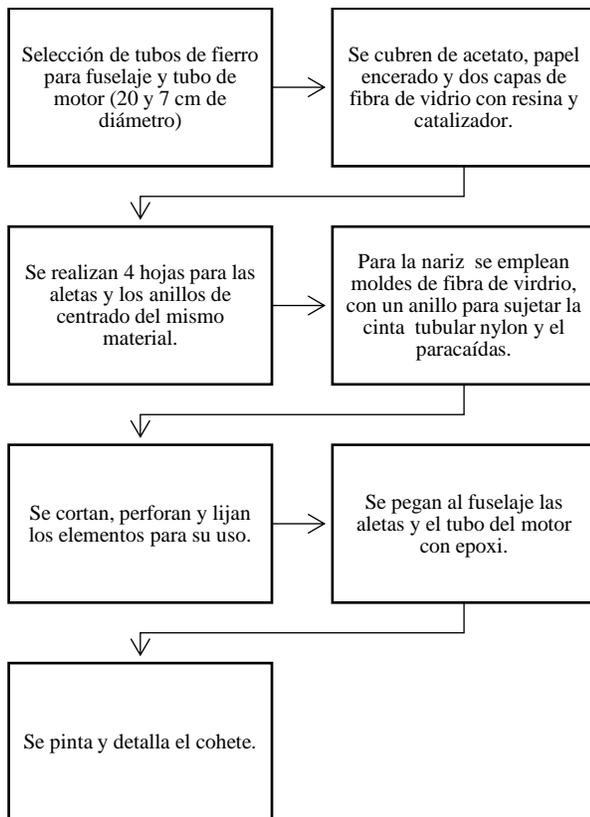


Figura 5. Diagrama de manufactura del cohete.



Figura 6. Proceso de aplicación de la fibra de vidrio.

Para construir las aletas se aplicó el mismo procedimiento previamente descrito, pero en hojas o láminas rectangulares como se aprecia en la figura 7. Posteriormente se dibujaron las dimensiones de las aletas y se utilizan herramientas para realizar los cortes de las mismas (Fig. 8). En el cohete se realiza un

ranurado para la inserción y pegado de las aletas, como se muestra en la figura 9, y finalmente se utilizan pulidoras para el acabado final del cohete (Fig. 10). Es importante mencionar que durante el proceso de construcción del cohete experimental se utilizó el equipo adecuado para resguardar la seguridad del operador.



Figura 7. Proceso de aplicación de la fibra de vidrio para aletas.



Figura 8. Corte de aletas.



Figura 9. Corte de ranuras para aletas en el cuerpo del cohete.



**Figura 10.** Pulido de piezas.

Para la construcción de la ojiva se utiliza un molde, en el que se implementa el mismo material que el resto del cuerpo. En la ojiva se realiza una perforación para colocar un anillo que sujetará un paracaídas. Ya que se tiene todo el material preparado se ensamblan las piezas, para ello se emplea epoxi, con el cual se pega al fuselaje las aletas y el tubo de motor de igual manera.

Por último, se dan los acabados al cohete, pintándolo con un recubrimiento como se muestra en la figura 11.



**Figura 11.** Recubrimiento en cohete ensamblado.

En la figura 12 se observa el cohete TETRIS decorado y listo para el lanzamiento.



**Figura 12.** Cohete experimental Tetris.

Cabe mencionar que un aspecto relevante de este diseño es el material del cual está compuesto, ya que es muy resistente en contraste con un cohete hecho de cartón, plástico como PET o PVC. Por otro lado, el uso de resina epóxica para la unión de las piezas a ensamblar, hace que exista una resistencia mayor al ser este un compuesto capaz de soportar hasta 300 kg.

Por otro lado, al emplear motores de la marca Aerotech, se contempla un procedimiento particular para el montaje de estos. En primera instancia se tiene el motor, con su Ignisor para encenderlo y el kit de carga de eyección.

Para realizar el proceso, primero localizamos el motor, y destapamos la cavidad que tiene, para poder introducir la pólvora en la carga de eyección, dependiendo del diámetro del motor se indica la cantidad de pólvora a vaciar, aproximadamente la mitad del contenido del vial para cohetes de 66.04 mm de diámetro y menores. Uno de los cohetes fue de 381 mm, por lo que correspondió a la mitad de la pólvora.



Figura 13. Montaje de motor: pólvora.

El proceso de instalación del encendedor FirstFire y preparación para el vuelo implica retirar el encendedor del tubo de cartón, enderezar los cables y pelar 12,7 mm a 25.4 mm de aislamiento de los extremos. Luego, se inserta el extremo recubierto de negro del encendedor en la abertura de la boquilla del motor y se empuja completamente dentro del núcleo del motor, asegurándose de que toque el elemento de retardo de tiempo en la pared del motor.

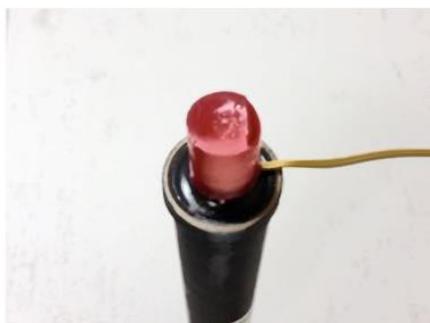


Figura 14. Montaje de motor: Tapa y encendedor.

En el siguiente paso, es presionar el extremo abierto de la tapa de la boquilla sobre la extensión de la boquilla expuesta para sostener firmemente el encendedor en su lugar. En caso de que no se tuviera una tapa de boquilla con el motor, emplear un trozo de cinta adhesiva para asegurar el encendedor al motor. Luego, se instala el motor en el tubo de montaje del motor del cohete, asegurando que esté retenido de manera segura mediante medios mecánicos para evitar que sea eyectado durante el despliegue del sistema de recuperación del cohete.

Para el caso del CanSat, es ubicado dentro del cohete, como se puede observar en la figura 3.

### 3.5. Lanzamiento y recolección

Para el posicionamiento del cohete y sus lanzamientos, se utiliza una plataforma adecuada para lanzamientos de cohetes experimentales, además se colocó un sistema de ignición del motor de manera remota para lograr un despegue inalámbrico a una distancia adecuada para no tener ningún tipo de riesgo [31].

Para el lanzamiento cuya carga útil era el CanSat, se utilizó un motor tipo I y J para el de solo peso, de la marca comercial de AeroTech® (DMS I175WS-13A Super White Lightning y J435WS-14A), para la compra de este motor se necesita una certificación de uso L1 el cual se puede conseguir al ser miembro de la Asociación de Cohetería de Trípoli (TRA), la Asociación Nacional de Cohetería (NAR) o la Asociación Canadiense de Cohetería (CAR).

Para el otro lanzamiento, con una carga útil de únicamente era peso. Se utilizó un motor tipo AeroTech® J435WS-14AEI, los motores son desechables, es decir, que todo lo que compone el motor es de un solo uso. Los motores de la empresa comercial de AeroTech tienen una carcasa de fibra de vidrio enrollada con filamento, una boquilla fenólica compuesta reforzada con vidrio, un mamparo y el propulsor de Super White Lightning, este produce una llama blanco brillante con humo blanco denso y un sonido gutural [32].

Debido a que la carga útil del segundo lanzamiento tenía un GPS consigo, no fue difícil ubicar la misma carga al momento de su aterrizaje, sin embargo, el cohete si fue difícil de encontrar debido a la zona en la que se realizó el lanzamiento. Por otro lado, el primer lanzamiento, con carga útil de únicamente peso, fue realizado con la finalidad de pruebas, ya que al ser el primer cohete lanzado se quiso verificar un buen funcionamiento de la ignición remota,



así como la expectativa en cuanto la recuperación del CanSat y el cohete.

### 3.6. Sistema de comunicación y transmisión de datos

Para la comunicación y transmisión de datos inalámbrica, se empleó el transceptor llamado Xbee PRO, modelo S2C, la elección de este modelo se basó principalmente para tener un rango de comunicación de hasta 2600 metros, debido a que el cohete alcanza una altura de 1000 metros para asegurar la cobertura de esa distancia. Y de igual forma el rango de temperatura para que este dispositivo sea funcional es de -40 a 85 °C.

Así mismo la frecuencia de comunicación es de 2.4 Ghz por lo que es una banda libre, con una red de tipo punto a punto, esto quiere decir que la información emitida por los sensores será transmitida a una estación en tierra remota, y únicamente es unilateral. Para la recepción de información se emplea un transceptor o placa de desarrollo Xbee Explorer, donde es colocado el otro Xbee, que haya sido nombrado receptor.

Previo a esto se debe coordinar ambos Xbee's desde el software X-CTU y configurarlos con el mismo PAN ID (Identificación de Red Personal).

### 3.7. Sistema de recuperación

El sistema de recuperación de cualquier dispositivo incorporado en un modelo de cohete tiene el propósito de devolverlo de manera segura al suelo. Todos los sistemas de recuperación con paracaídas funcionan desarrollando elevación o generan un arrastre adicional para contrarrestar la fuerza de la gravedad y sirva.

Es obligatorio que todo cohete cuente con un sistema de recuperación para poder ser lanzado. La mayoría de los cohetes aficionados utilizan

paracaídas como medio para recuperar el cohete los mismos. El este proyecto cuál es el caso de este cohete, donde se emplearon dos paracaídas circulares de 25 cm y de 100 cm, uno fue integrado al CanSat y el otro al cohete, garantizando un descenso de 9 m/s.

En cuanto al material de estos, fue de nylon al igual que las hebras que sujetaban ocho puntos del paracaídas y a su vez iban anudadas al CanSat y el otro a la ojiva que a su vez iba ligada del cohete.

La manera en como se dobla el paracaídas, y como se anudan los hilos que sostienen al objeto tiene un sentido, ya que se busca un buen equilibrio y un desenvolvimiento rápido del paracaídas al ser expulsado. Para guardar el paracaídas se realizan 4 dobleces iniciando por la mitad del diámetro y así sucesivamente, ver figura 15.

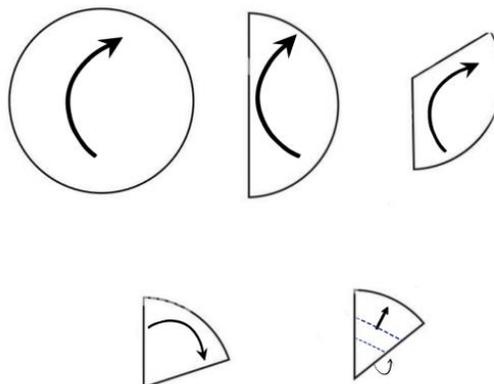


Figura 15. Dobleces de los paracaídas.

Una vez que está doblado se coloca un pedazo de cinta sin realizar mucha presión en el paracaídas, para que en el momento en que sale expulsado, pueda desenvolverse fácilmente.

La selección del tamaño del paracaídas es indispensable para recuperar de manera exitosa el cohete para su posterior reutilización, esto dependerá del peso del cohete y de la fuerza cinética con la que se quiere que el cohete impacte el suelo, a partir de estos datos se



establecen velocidades de descenso que nos ayudaran a calcular el diámetro del paracaídas, contemplando un margen del 10% en las velocidades establecidas para evitar cualquier daño estructural.

Cabe mencionar que si se llega a utilizar un paracaídas más grande de lo necesario esto causara que el cohete toque suelo en un sitio más lejano del lugar de lanzamiento de lo planeado, lo que aumenta el tiempo de búsqueda y aumenta la posibilidad de perderlo.

Para encontrar el sitio donde el paracaídas con el CanSat aterrizó, se pudo ubicar gracias al posicionamiento de GPS que traía incluido, en cuanto al cohete, con este se tuvo que realizar una búsqueda, ya que no contaba con GPS, pero al ser un objeto más grande que el CanSat, fue fácil encontrarlo en un terreno desértico.

#### 4. Resultados y discusiones

El lanzamiento del cohete 1 fue exitoso porque lo recuperamos sin daños estructurales, alcanzó la altura planeada, se recolectaron datos de los sensores de la carga útil que en este caso fue un satélite CanSat a bordo del cohete. Mientras que el lanzamiento 2 solo se presentó un pequeño daño estructural en la aleta lo que nos llevó a mejorar la posición de estas para posteriores proyectos. El material utilizado fue la fibra de vidrio y aditivos, para manufacturar el cohete. Se observó que durante el proceso de manufactura de la fibra de vidrio se requiere de un trabajo rápido, ya que la resina endurece rápidamente. Se contó con las medidas de seguridad pertinentes porque la fibra de vidrio, son hilos finos de vidrio fundido que requiere de un manejo cuidadoso para evitar astillas o alergias en la piel, y teniendo la ayuda de los asesores de la FCITEC-UABC y EVA FIBERGlass y por la experiencia que cuentan se consiguió obtener una mayor calidad en el acabado de la estructura.

Por otro lado, el lanzamiento del cohete se realizó en la Laguna Salada porque es un especial para lanzamiento de cohetes de alta potencia designado por las autoridades federales de la Aviación Civil y la Agencia Espacial Mexicana que se encuentra a una altura de 12 metros sobre el nivel del mar.

La carga útil del cohete contaba con distintos sensores entre ellos un GPS encargado de recibir datos y calcular la posición geográfica con precisión a velocidades altas [33] y el módulo GY91 (este que se compone de varios sensores tiene funciones como un acelerómetro, giroscopio, magnetómetro y barómetro). Caracterizándose por tener una alta integración y precisión, ideal para la toma de datos requeridos [34], ambos se conectaron a un microcontrolador Arduino y el sistema de comunicación Xbee para ser enviados a la estación terrena. El cohete despegó de manera exitosa en una plataforma a 12 m s.n.m. alcanzando en 10 segundos una altura máxima de 595.8 m s.n.m., en la figura 16 se puede visualizar este recorrido mientras que su tiempo de aterrizaje fue de aproximadamente 2 minutos. Estos datos pueden ser empleados en un futuro para realizar un análisis de posición o con respecto a los sensores realizar una comparativa en lanzamientos posteriores.



Figura 16. Gráfica de altura-tiempo del módulo del sensor GY91.



Otros sensores con los que contaba la carga útil son: BME680 (conocido como un sensor que permite llevar un monitoreo de la calidad de aire, humedad, temperatura, presión barométrica y humedad relativa [36] y GPS, los cuales nos permitieron saber que al cohete le tomo un aproximado de 10 segundos para alcanzar la altura máxima, aumentando su temperatura de 35.88 °C hasta 43.66 °C estando en el punto máximo como se muestra en la figura 17, y que la presión paso de 976 hPa en el despegue y disminuyo hasta 921 hPa en el apogeo, esto se aprecia en la figura 18.

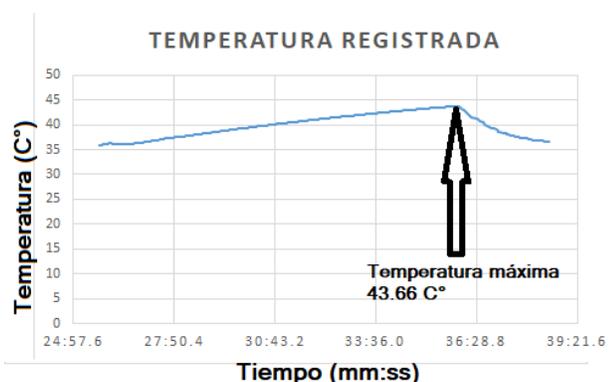


Figura 17 Gráfica de temperatura-tiempo del sensor BME680.

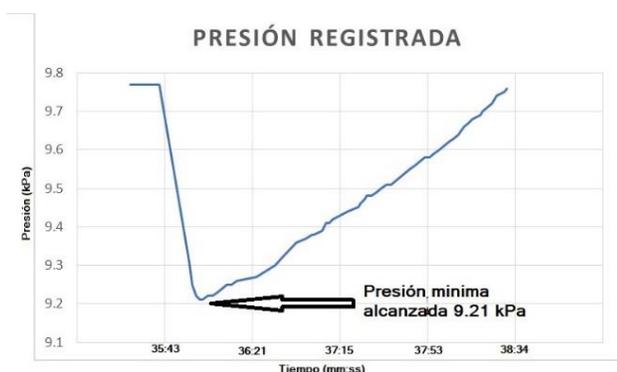


Figura 18 Grafica de presión-tiempo del módulo de sensores GY91.

## 5. Conclusiones

Se lograron adquirir conocimientos teóricos-prácticos para el diseño, desarrollo y

construcción de un cohete tipo L1. Se lograron realizar 2 lanzamientos prácticos de misión exitosos porque se recuperó el cohete de tal manera que es funcional para volver a ser lanzado. Los combustibles utilizados para el primer lanzamiento fue un motor tipo I y para el segundo lanzamiento el motor tipo J de ellos se pudo notar que para posteriores lanzamientos se debe cambiar de posición las aletas de tal manera que estén a la misma longitud donde se encuentra el retenedor del cohete para evitar daños estructurales durante la recuperación.

El protocolo de comunicación Xbee funciono satisfactoriamente en la recolección de datos, porque su respuesta de tiempo fue rápida y sin pérdida de información. Cabe destacar que algunos sensores calcularon los datos con menos unidades que otros y eso provoco una toma de datos errónea, por ello, no se tomaron en cuenta esos datos.

A pesar de tener éxito en los lanzamientos, es conveniente integrar a la estructura del cohete un GPS para su pronta recuperación, puesto que en esta investigación solo se colocó en la carga útil, pero al momento de buscar el cohete fue difícil por el relieve en que se estaba y por el paisaje desértico en que nos encontrábamos.

El nuevo proyecto posterior de diseñar, construir y lanzar un cohete experimental de manera exitosa se presentará a la certificación que ofrece la asociación de Tripoli México.

## 6. Agradecimientos

El apoyo del Dr. Antonio Gómez Roa por su asesoramiento constante en el desarrollo de este proyecto, y la administración de los suministros necesarios para el mismo. A los ingenieros de la empresa EVA FIBERGlass, Oscar Abraham Solano Santos, Wildheimy Piña Gastelum y Walter Ahrens Castro, por su soporte en el



proceso de diseño, manufactura y lanzamiento del cohete y a nuestros compañeros de verano científico. Agradecer el apoyo que brindo la Universidad Autónoma de Baja California para hacer uso de sus instalaciones durante esta estancia, así mismo a la Universidad Autónoma de Sinaloa por el apoyo económico brindado, al TES campus Valle de Bravo por la oportunidad de participar en este programa de investigación y al Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico 2022, Programa Delfín.

## 7. Reconocimiento de autoría

*Liliana Lucero Vargas Oseguera, Diana Gabriela Bejarano Toloza:* Uso del software, diseño, construcción, decoración de cohete y redacción de borrador de artículo. *Antonio Gómez Roa, Oscar Adrián Morales Contreras, Oscar Abraham Solano Santos:* Conceptualización, metodología, logística de lanzamiento, supervisión en la investigación y revisión de versión final de artículo.

## Referencias

- [1] L. T. DeLuca, Highlights of Solid Rocket Propulsion History, Springer, 2016.
- [2] A. S. Mohamed, «How Rockets Work,» Omdurman Ahlia University, 2022.
- [3] T. Benson, «NASA,» 13 mayo 2021. [En línea]. Available: [https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history\\_of\\_rockets.html#:~:text=The%20date%20reporting%20the%20first,of%20a%20solid%20propellant%20rocket](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html#:~:text=The%20date%20reporting%20the%20first,of%20a%20solid%20propellant%20rocket).
- [4] S. May, «NASA,» 7 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-a-rocket-k4.html>.
- [5] J. D. Clark, Ignition, New Jersey: Rutgers University Press, 1972.
- [6] P. Estey, D. Altman y J. Mcfarlane, «An evaluation of scaling effects for hybrid rocket motors,» Aeroespacial Research Center, 2012.
- [7] G. P. Sutton, Rocket propulsion elements, Wiley, 2017.
- [8] A. Urrego, F. Rojas, «Experimental Rocketry missions: the seneca mission, ainkaa 1 rocket» Julio 2010. Pag. 54-55
- [9] "Brief History of Rockets". [En línea]. Available: [https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history\\_of\\_rockets.html](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html)
- [10] Mendoza, J. R. (2010). Cabo Tuna "Una aventura espacial en San Luis Potosí". San Luis Potosí: Museo de la Historia de la Ciencia de San Luis Potosí.
- [11] AEM, «Ingeniería de Sistemas Espaciales Aplicado a una misión CanSat,» México, 2015.
- [12] "Cansat Argentina". [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/sact/cansat-argentina>
- [13] "Nozzle design". [En línea]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/nozzle.html>
- [14] M. Vargas y E. Coronado, «Reacciones de combustión con propelentes sólidos en motores de cohetes experimentales,» Scielo, vol. 28, n° 2, 2011.
- [15] J. Ma, «Analysis of the characteristics of rocket propellant,» Theoretical and Natural Science, pp. 490-495, 2023.
- [16] R. Nakka, Teoría sobre motores cohete de propelente sólido, 2005



- [17] R. S. P. Shu y W. Foster, Vortex shedding from solid rocket propellant inhibitors, 2012.
- [18] R. Thapa y S. Robert, «Evolution in Propellant of the Rocket Engine,» Journal of Materials Physics and Chemistry, 2023.
- [19] S. A. Morales, Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones, México: IPN, 2008.
- [20] A. Jiménez, Diseño y simulación de un cohete con carburante sólido, Bogotá: Universidad de los Andes, 2003.
- [21] P. A. Arizpe, Construcción de Vehículos y Motores Cohete, México, 2022.
- [22] R. Robayo, J. Portocarrero, J. Meneses, J. Salgado, S. Martínez, F. Delgado y A. Gómez, «Diseño, construcción y prueba estática experimental de un motor-cohete de combustible sólido,» Revista UIS Ingenierías, 2021.
- [23] R. Bouché y A. Ghiotto, «Dual-Band Transmitter and Stabilization Blade Antenna for Experimental Rocket Telemetry Application,» IEEE, 2016.
- [24] <https://www.tripoli.org/>(visto el 13th Feb. 2023).
- [25] "Propiedades de la fibra de vidrio" 09 junio 2019. [En línea]. Available: <https://serveiestacio.com/blog/propiedades-de-la-fibra-de-vidrio/>
- [26] "Guía básica de cintas tubulares - Pezzutti" 12 enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.pezzuttitrade.pe/consejos/guia-basica-de-cintas-tubulares/>
- [27] "¿Cuál es el mejor adhesivo epóxico?" Cemix, 2023. [En línea]. Available: <https://www.cemix.com/adhesivo-epoxico-como-aplicarlo/>
- [28] "Open Rocket". [En línea]. Available: <https://openrocket.info/>
- [29] G. González, I. Hernández, B. Orozco y E. Castillo, «Estudio y diseño de Alas para Cohetes Experimentales Amateur», Noche de estrellas, agosto 2019
- [30] Unidad de difusión de la Universidad de Guadalajara, «Cohetería experimental, opción para el desarrollo de emprendimiento»
- [31] M. Damirchi, "Interfaz del módulo GPS NEO-7M con Arduino". [En línea]. Available: <https://electropeak.com/learn/interfacing-neo-7m-gps-module-with-arduino/>
- [32] "Tarjeta GY-91" [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/tarjeta-gy-80-imu-10dof/>
- [33] "Sensor de gas BME680". [En línea]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme680/>
- [34] "Aerotech I175WS-13A Motor de cohete súper blanco Lightning DMS". [En línea]. Available: <https://www.csrocketry.com/rocket-motors/aerotechrocketry/motors/38mm/dms-rocket-motors/aerotech-i175ws-13a-super-white-lightning-dms-rocket-motor.html>



Derechos de Autor (c) 2024 Liliana Lucero Vargas Oseguera, Diana Gabriela Bejarano Toloza, Antonio Gómez Roa, Oscar Adrián Morales Contreras, Oscar Abraham Solano Santos



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)