

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: TESIS COLECTIVA
DEBERÁ PRESENTAR: EL C. PASANTE:
OMAR ARTURO CARRILLO VILCHIS
PABLO GERARDO KING LUCIO
MIGUEL ÁNGEL VARGAS CONTRERAS

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE COLCHÓN DE AIRE”

INTRODUCCIÓN
ANTECEDENTES DEL AERODESLIZADOR
OBJETIVO
ALCANCE
JUSTIFICACIÓN
METODOLOGÍA
DIMENSIONES PRINCIPALES
CAPÍTULO I CAUDAL
CAPÍTULO II EMPUJE
CAPÍTULO III CONTROL
CAPÍTULO IV FALDÓN
CAPÍTULO V FLOTACIÓN
CAPÍTULO VI CONSTRUCCIÓN
CAPÍTULO VII RENDIMIENTOS REALES
CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES
ANEXOS
BIBLIOGRAFÍA

México, DF., a 09 de Diciembre del 2005.

A S E S O R E S


M. EN C. FELIPE BARRIGA RAMÍREZ


ING. ANTONIO MEDRANO MEJÍA


DR. EDUARDO LICEAGA CASTRO

Vo. Bo.

ESCUELA SUPERIOR DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN
DIRECCIÓN


ING. MIGUEL ALVAREZ MONTALVO
DIRECTOR



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO
DE COLCHÓN DE AIRE

TESIS COLECTIVA.
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN AERONÁUTICA

PRESENTAN:

CARRILLO VILCHIS OMAR ARTURO
KING LUCIO PABLO GERARDO
VARGAS CONTRERAS MIGUEL ANGEL



MÉXICO D.F. 2006

A mi Familia:

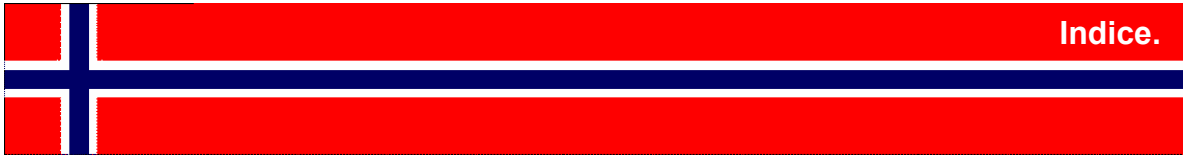
Como testimonio de gratitud y eterno reconocimiento, por el apoyo que siempre me han brindado con el cual he logrado terminar una de las metas de mi vida, siendo para mi, la mejor de las herencias.

Para la realización de este trabajo influyeron muchas personas, sin las cuales muy probablemente no se hubiera podido llegar a concretar, les estamos muy agradecidos de una manera muy especial con cada una de ellas por su valiosa y oportuna intervención.

M. en C. Barriga Ramírez Felipe.
M. en C. Castillo Acosta Francisco Medardo.
Ing. Cerón Vargas Alejandro.
Ing. Crespo y Mena Carlos.
Tec. Correa Arredondo Juan Carlos.
M. en C. Díaz García Hector.
Sr. Espejel Artemio.
Familia Corral Arceo.
Familia Flores Romero.
Ing. Funes Canizalez Cuauhtemoc.
Ing. Islas Alberto.
Sr. Jiménez Rodríguez Leonardo.
Ing. Juárez Navarro Carlos Alfonso.
Dr. Liceaga Castro Eduardo.
Ing. Medrano Mejía Antonio.
Ing. Mendoza Hector.
M en C. Méndez Ramos Mario.
Dr. Moreno Armendáriz Marco Antonio.
Ing. Pérez Robles Cesar Guadalupe.
Ing. Ramos Jiménez Homero.
Ing. Rangel Miranda Carlos.
Ing. Rodríguez Ibarra Fausto Humberto.
Dr. Rodríguez Román Carlos Manuel.
Sra. Tovar Oropeza Maria del Carmen.

Con admiración y respeto.

Carrillo Vilchis Omar Arturo.
King Lucio Pablo Gerardo.
Vargas Contreras Miguel Angel.



Agradecimientos	
Introducción	I
Antecedentes del Aerodeslizador	III
Objetivo	VIII
Alcance	IX
Justificación	XI
Metodología	XIV
Capítulo 1. DIMENSIONES PRINCIPALES.	
1.1 Dimensiones principales	1
1.2 Parámetros de uso	2
1.3 Estimación inicial de peso	3
1.4 Determinación de dimensiones	3
1.5 Datos de diferentes aerodeslizadores	4
Capítulo 2. CAUDAL.	
2.1 Determinación de la superficie del colchón de aire	21
2.2 Determinación del perímetro del colchón de aire	23

2.3 Determinación del peso máximo del prototipo	24
2.4 Determinación de la relación de presiones del colchón de aire	24
2.5 Determinación del caudal necesario de aire	25
Capítulo 3. EMPUJE.	
3.1 Determinación del empuje requerido	31
3.2 Descripción y características de los ventiladores propuestos	32
Capítulo 4. CONTROL.	
4.1 Descripción de maniobras	39
4.2 Dispositivos de control.	42
4.3 Cálculo de la magnitud de la fuerza en los timones direccionales	50
Capítulo 5. FALDÓN.	
5.1 Tipos de faldón	54
5.2 Descripción del faldón a emplear	59
5.3 Materiales propuestos para la construcción del faldón	59
5.4 Combinación de faldones	60
5.5 Determinación de las dimensiones del faldón	61
Capítulo 6. FLOTACIÓN.	
6.1 Determinación de las características geométricas de los volúmenes de flotación.	68
6.2 Obtención de la fuerza de flotación	73
Capítulo 7. CONSTRUCCIÓN.	
7.1 Parámetros de construcción	76
7.2 Requerimientos de construcción	80

7.3 Método de construcción	86
7.4 Narrativa de la construcción	87
7.5 Modificaciones realizadas al prototipo	105
Capítulo 8. RENDIMIENTOS REALES.	
8.1 Registro de velocidades en las descargas de la carcasa	111
8.2 Velocidades en las descargas de las toberas de los ventiladores.	117
8.3 Medición de presión total en el prototipo.	119
8.4 registro de velocidad angular en las flechas de los ventiladores.	122
CONCLUSIONES	125
Anexos.	
DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA POLEA DEL VENTILADOR Y LONGITUD DE LA BANDA	127
COJINETES MONTADOS, FLECHA, EMBRAGUE	139
BIBLIOGRAFIA	145

Actualmente los medios de transporte en el mundo cobran mayor importancia por la necesidad que tiene el ser humano de desplazarse de manera más rápida y cómoda, así mismo estos requieren ser más versátiles, incluyendo la posibilidad de sortear todo tipo de terrenos.

Los autos, aeroplanos, así como los barcos o pequeños botes, cumplen su función en el medio donde se desplazan (tierra, aire y agua respectivamente) sin embargo, el *aerodeslizador* o vehículo de colchón de aire, cumple una función específica en la combinación de su operación en estos tres medios mencionados.

Un aerodeslizador, también conocido como vehículo de colchón de aire o ACV (por sus siglas en inglés Air Cushion Vehicle), es un medio de transporte sustentado por un colchón de aire interpuesto entre el aparato y la superficie líquida o sólida, sobre la que se desplaza.

De acuerdo con la ordenanza marítima se define a un ACV de la siguiente manera:

“Vehículo tal que la totalidad de su peso o una parte importante de su peso, puede ser soportada, en reposo o en movimiento, por un colchón de aire generado de modo continuo y cuya eficacia depende de la proximidad de la superficie por encima de la cual opera el vehículo. Es muy maniobrable y también anfibia”. [ref.¹¹]

También se les puede describir como aquellos aparatos que sosteniéndose a corta distancia de cualquier tipo de superficie de la tierra, por medio de una capa de aire a presión mantenida dentro de los límites inferiores y superficiales del mismo, se desplazan en cualquier dirección a voluntad de su conductor.

Lo que caracteriza a dichos vehículos de colchón de aire, es la proximidad a una superficie sobre la cual actúa la capa de aire en que se sustentan.

En consecuencia no son aeronaves, y de hecho para evitar equívocos y ante su aparición, la Organización Internacional de Aviación Civil, modificó su

definición de éstas para el Anexo 7, el cual actualmente define aeronave como: “Todo aparato que puede sostenerse en la atmósfera gracias a las reacciones del aire, que no sean las reacciones del aire sobre la superficie de la tierra”.

Pero tampoco son vehículos terrestres, porque no circulan en la superficie terrestre o terreno, ni son vehículos acuáticos (si bien pueden flotar en el agua, no están destinados exclusivamente a la navegación marítima).

El aerodeslizador, en su operación se desprende de la superficie del agua o de la tierra, pero al mismo tiempo depende de ella.

Su principal característica es poder desplazarse sobre cualquier tipo de superficie y pasar de una a otra de manera continua.

Un aerodeslizador, también conocido como vehículo de colchón de aire es, en el sentido más general, un medio de transporte sustentado por un colchón de aire interpuesto entre el aparato y la superficie líquida o sólida, sobre la que se desplaza.

En el campo de la náutica hubo muchas tentativas, teóricas o prácticas, para reducir la resistencia debida al rozamiento del casco, interponiendo aire entre éste y el agua. El aire comprimido puede sustentar una carga, y sirviéndose de un ventilador resulta relativamente sencillo conseguir la necesaria diferencia de presiones.

En 1875, el ingeniero naval inglés William Froude le propuso a B. Tideman, constructor en jefe de la Marina Holandesa, aplicar la "lubricación" por aire en cascos de fondo plano, y aunque el primer aerodeslizador propiamente dicho se construyó en la segunda mitad del siglo xx, los experimentos con vehículos de colchón de aire aparecieron mucho antes. En 1877, Sir John Thornycroft, ingeniero naval y diseñador británico de embarcaciones, patentó un vehículo de tipo revolucionario, provisto de una cámara hueca en su fondo, en la que se bombeaba aire a fin de reducir la resistencia hidrodinámica del casco. No obstante, su capacidad era demasiado limitada para conseguir el efecto de colchón, y el diseño se archivó hasta que Christopher Cockerell, un ingeniero electrónico, intuyó que la esencia del problema era la manera que se introducía el aire en la cámara.

Para probar su idea, Cockerell utilizó dos latas una más grande que la otra, un compresor y una balanza de cocina. Introdujo una lata dentro de la otra, de manera que los dos extremos abiertos quedaran hacia abajo, e insertó la tobera del compresor por un agujero practicado en la parte cerrada de la lata mayor. Fijó el compresor, con la tobera dirigida hacia abajo, en una barra vertical, y apoyó la lata sobre la balanza. Hecho esto, bombeó aire en el espacio entre las dos latas, y el plato descendió.



Figura A.1. Muestra el arreglo del experimento de Cockerell demostrando el principio de la cámara plena y corriente de chorro perimetral. Tomada con fines didácticos. [ref. ^{A1}]

Cockerell ya había intentado un experimento similar con una sola lata abierta por el extremo y, también en este caso, el plato de la balanza fue empujado hacia abajo, pero con menos fuerza que en el segundo experimento. El 12 de diciembre de 1955, Cockerell depositó la patente y se dirigió al gobierno británico con el propósito de conseguir ayuda financiera para el desarrollo del invento. Las autoridades, intuyendo su posible aplicación al transporte, clasificaron la investigación como información ultrasecreta.

En 1958, el ingeniero logró el apoyo oficial de la NRDC (National Research and Development Council), que firmó un contrato con la Saunderson-Roe (fábrica de aviones constructora de los helicópteros Westland) para el primer ACV del mundo, el SR.N1, experimentado el 7 de junio de 1959.

El SR.N1 era una balsa de forma ovalada, con un motor radial de nueve cilindros Alvis Leonidas para avión, con 435 hp de potencia, montado verticalmente en el centro. Dicho motor accionaba un ventilador axial que funcionaba en un conducto y suministraba aire para formar el colchón, con una hendidura para las toberas horizontales a fin de permitir el desplazamiento y el

control del vehículo. En realidad, sólo se levantaba 25 cm, lo que limitaba sus posibilidades de movimiento a superficies muy lisas y aguas en calma. No obstante, el 25 de julio de 1959, el SR.N1 zarpó de Caláis y cruzó el canal de la Mancha, llegando al puerto de Dover en un tiempo aproximado de 2 horas.



Figura A.2. Arriba se muestra la imagen del SR.N1. Tomada con fines didácticos. [ref. ^{A2}]

A partir de entonces, las únicas modificaciones importantes incorporadas al proyecto del aerodeslizador han consistido en añadirle una faldilla flexible de caucho duro alrededor del casco (lo que le permite superar obstáculos terrestres y viajar sin sacudidas sobre las olas) y en la separación entre propulsión y sustentación (lograda con diferentes motores).

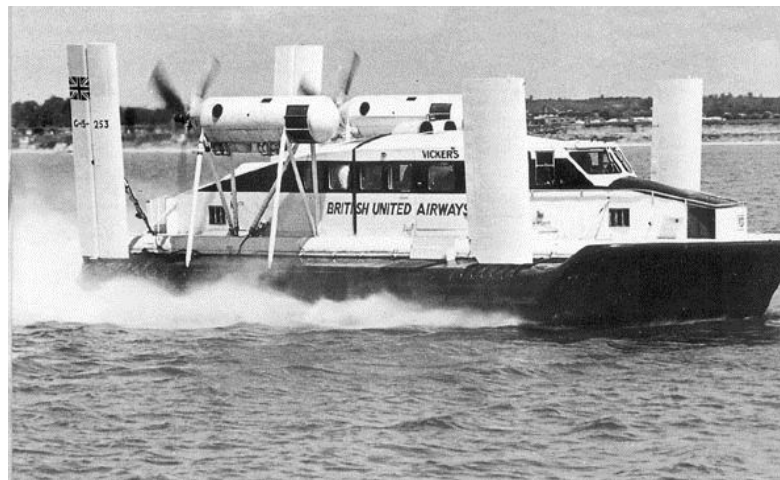


Figura A3. Imagen del Vickers VA-3, que efectuó el primer servicio comercial del mundo con vehículos de colchón de aire a través del río Dee, en la Bahía de Liverpool el 20 de Julio de 1962. Imagen tomada con fines didácticos. [ref. ^{A3}]

A partir del 20 de julio de 1962, cuando el primer pasajero comercial utilizó un aerodeslizador, el nuevo vehículo se difundió con suma rapidez y se empleó básicamente para el transporte de mercancías (en especial vehículos) y personas. Sus inconvenientes (autonomía limitada y bajas prestaciones con mar agitado) quedan ampliamente compensados por la facilidad de uso. El aerodeslizador puede hacerse a la mar desde una superficie de cemento, de este modo los pasajeros pueden subir a bordo con toda comodidad y embarcar los vehículos usando la rampa de acceso que algunos modelos de aerodeslizador cuentan, como en el ejemplo de la siguiente imagen.



Figura A4. Muestra la imagen del SR.N4 provisto de una rampa.

Imagen tomada con fines didácticos. [ref. ^{A4}]

Como se comprenderá, el aerodeslizador atrajo pronto la atención de los estados mayores militares, por su posible empleo como transporte militar. Para los técnicos en logística, esto casi representa la realización de un sueño: un vehículo verdaderamente anfibio, capaz de transportar gran parte de un batallón de infantería, completamente equipado, desde mar abierto a tierra firme, sin necesidad de reducir velocidad. Por otra parte, el hecho de que el aerodeslizador resulte prácticamente inmune a los dos sistemas de defensa estática más difíciles de neutralizar (las barreras submarinas y las minas) constituye una indudable ventaja tanto para las operaciones de desembarco como para las patrullas costeras, y especialmente para misiones de cazaminas.

Además de las aplicaciones puramente militares, el aerodeslizador encuentra amplio uso en los servicios de patrullaje, como la guardia costera: su capacidad para patrullar en aguas poco profundas transportando la carga de un camión lo hace muy valioso para operaciones de socorro y emergencia.



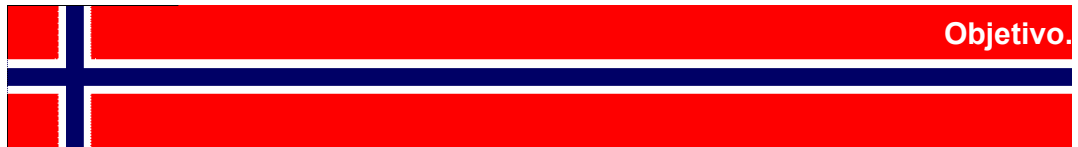
Figura. A5. Muestra la imagen de un ACV destinado a patrullaje y rescate. Imagen tomada con fines didácticos. [ref. ^{A5}]

Los ACV más pequeños, del tamaño de un automóvil, también han encontrado su mercado como vehículos de patrulla, en especial a lo largo de los ríos. Un uso especial de los aerodeslizadores, experimentado por vez primera en Canadá en 1973, es como rompehielos.

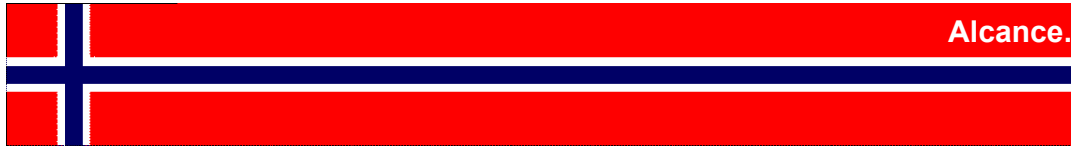
En este caso, la capacidad para navegar por bajos fondos permite a esta singular embarcación trabajar con éxito incluso por zonas inalcanzables para los rompehielos normales. La rotura del hielo se logra gracias a la formación, bajo la superficie helada, de grandes burbujas de aire generadas por el movimiento del vehículo.[ref. ^{A1}]



Figura A6. Imagen de un rompehielos de la Guardia Costera de los EE.UU. Imagen tomada con fines didácticos. [ref. ^{A6}]



Diseñar y construir un primer prototipo de vehículo de colchón de aire (o por sus siglas en inglés ACV), de peso máximo operacional de 450 kg_f, fabricado con materiales compuestos adquiridos en el territorio nacional, además de mostrar el tema de manera general.



Calcular, diseñar y construir un primer prototipo de vehículo de colchón de aire con características de tipo recreativo.

En este proyecto de vehículo de colchón de aire, al ser el primero en su tipo, realizado como proyecto experimental y como proyecto de tesis, en el marco de titulación profesional como opción para la carrera de ingeniería aeronáutica del IPN:

Los principales objetivos de este vehículo es validarlo experimentalmente, y como tal, dentro de la parte de alcance, no se contempla el realizar los cálculos estructurales dentro de un panorama completo y detallado, por las siguientes razones:

- La construcción de este vehículo de colchón de aire es completamente en materiales compuestos, lo cual implica que no existe una estructura tipo tradicional, es decir con elementos metálicos con un perfil transversal conocido o tipo tubular.
- La estructura que, en sí misma es prácticamente una membrana integrada y con base en materiales compuestos, no se comporta como una estructura a base de elementos metálicos, adicionalmente a ello el comportamiento de los materiales compuestos no responde de manera similar a dichos materiales metálicos, es decir no se verifica una isotropía (esfuerzos homogéneos en todas direcciones), ni tampoco una diferencia clara entre un límite de esfuerzos de tipo elástico (recuperable), de cedencia (no recuperable), pero sí repentinamente de falla (ruptura)
- Al ser una estructura tipo monocasco, el análisis estructural no puede ser hecho de manera tan sencilla con los métodos tradicionales, pero sí de manera numérica (por medio un paquete de análisis por elemento finito).

- Adicionalmente a ello, el alcance de este trabajo de tesis es validar la construcción del vehículo, en todos sus sistemas, verificar experimentalmente su funcionamiento, y posteriormente se procedería a verificar la estructura tanto de manera teórica, numérica y experimental, puesto que es una parte importante de este proyecto, pero fuera del alcance de la tesis ya mencionado.
- Por lo que se recomienda como otro tema de tesis, eventualmente el análisis por elemento finito de la estructura tipo monocasco y en materiales compuestos, tomando en cuenta que esto requiere muchos recursos de una o varias máquinas según el tipo de análisis y el detalle requerido, es decir: si se requiere analizar por completo y como una unidad integrada, a toda la estructura o cuerpo del vehículo, o solo las partes que se consideran más críticas, o bien solo una parte que puede considerarse como repetitiva, en términos geométricos y de distribución de esfuerzos.

En nuestro país, la construcción de vehículos con base de colchón de aire, o ACV, no se ha desarrollado de manera razonable, sin embargo se tienen necesidades que cubrir tales como la producción de los mismos para aplicaciones de incursión en terrenos difíciles y pantanosos los cuales abundan en el territorio nacional.

La carrera de Ingeniería Aeronáutica del Instituto Politécnico Nacional tiene como objetivo el de formar ingenieros en aeronáutica, no solo capaces de construir aeroplanos sino todo tipo de vehículos que aprovechen la tecnología aeronáutica, para satisfacer las necesidades nacionales.

Es por ello que se propone el desarrollo del ACV, y que plantea las siguientes características:

- Un buen diseño de ACV es superior a una embarcación (barco, bote, lancha, etc.) porque ofrece menor resistencia al avance, lo que hace que también se requiera menor potencia para operar.
- Un ACV es 100% más eficiente que una embarcación con dimensiones y capacidad similar. La escasez y aumento en el precio del combustible hará que un ACV sea una forma atractiva de transporte en un futuro, es probable que algún día todas las embarcaciones se rijan por el principio de un ACV.
- El desplazamiento de un ACV es más silencioso que el de una embarcación, porque el ACV va sobre el agua y no a través de ella.
- Tiene la ventaja de que al viajar encima del agua disminuye el riesgo de una colisión en contra de un obstáculo no visible debajo de la superficie del agua y tampoco pone en riesgo el sistema de propulsión, con la ventaja de no disminuir la velocidad. Es más seguro para las personas que rodean al ACV (como pueden ser: Bañistas, nadadores, esquiadores, buzos, etc.), debido a que no existe un casco rígido y un elemento propulsor dentro del agua.

- Un ACV elimina la necesidad de un lugar especial para abordar la embarcación (muelle, embarcadero, etc.).

El ACV puede navegar sobre:

- Tierra
- Agua
- Hielo
- Nieve
- Fango
- Arena
- Grava
- Asfalto o Cemento

Aplicaciones recreativas de un ACV:

- Paseos sobre arena (por el desierto).
- Pesca Familiar.
- Transportación para el buceo.
- Caza.

Aplicaciones comerciales de un ACV:

- Rescate en inundaciones.
- Paseos turísticos.
- Servicio de transbordador.
- Rescate en hielo quebradizo.
- Aprovechamiento en áreas pantanosas.
- Conservación de cultivos.
- Trabajos hidrográficos.
- Explotaciones diversas en zonas lejanas.
- Transporte de refugiados.
- Asistencia en casos de desastre.
- Tareas de control y vigilancia.
- Preservación de la fauna y el medio ambiente.
- Empleo militar.

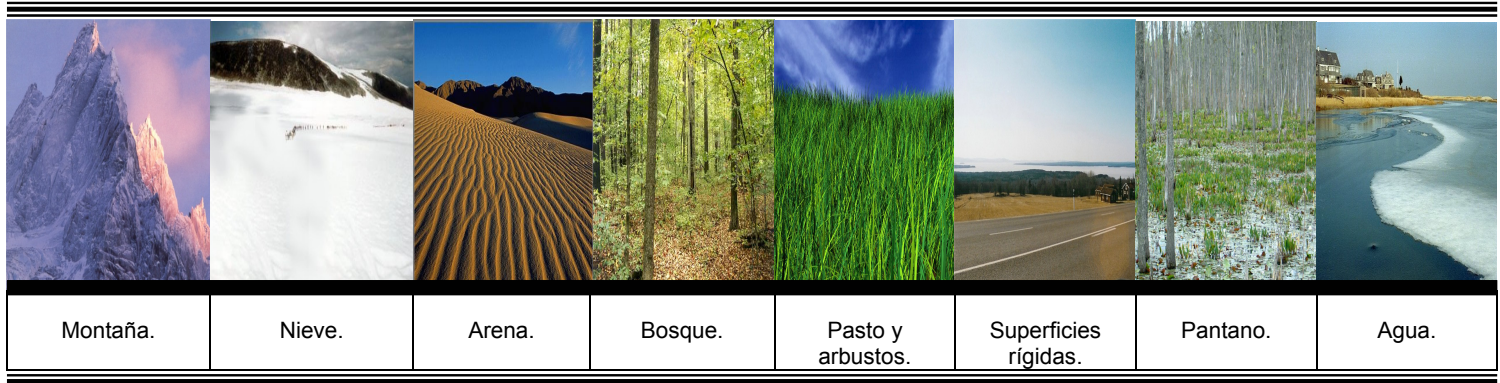
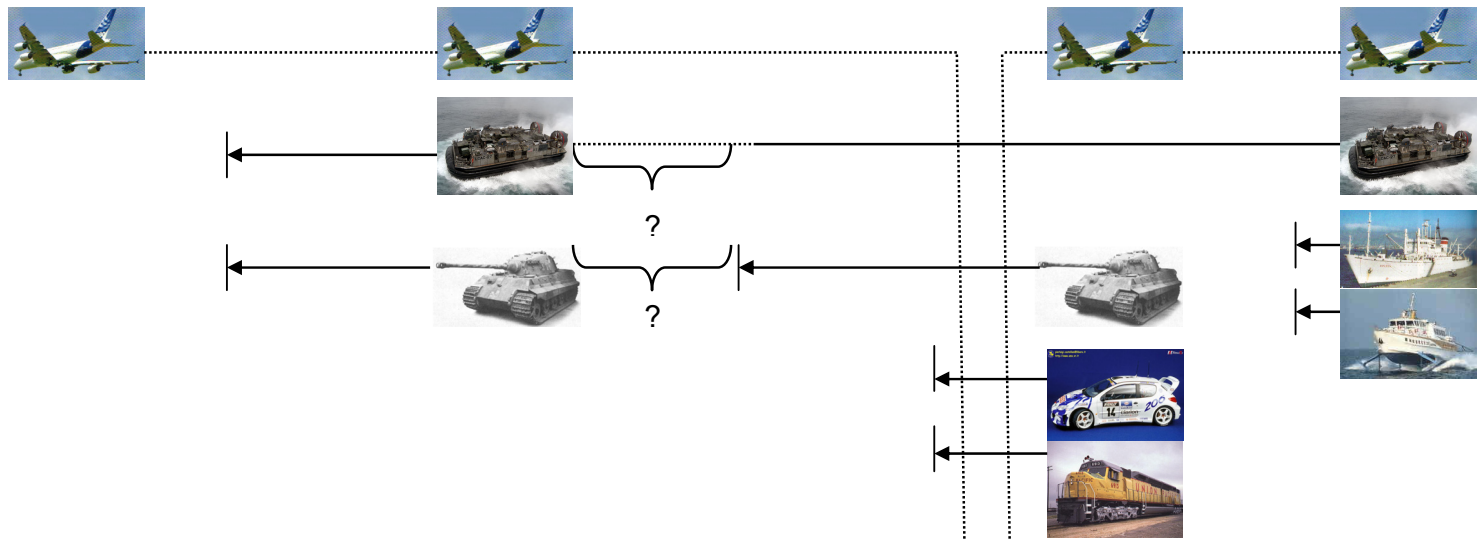
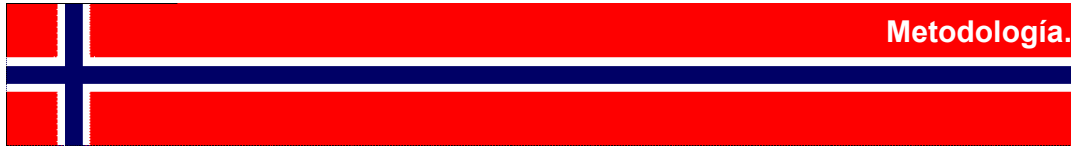


Figura. J1. Arriba se muestra la imagen comparativa de diferentes medios de transporte y su capacidad de acceso a diferentes terrenos.



Para el diseño, el cálculo y la construcción del aerodeslizador, se plantea la siguiente metodología:

I.- Se consideran las especificaciones del vehículo como son:

- Un vehículo de uso recreativo.
- Pequeñas dimensiones
- Debe contar con espacio adecuado para un piloto y un acompañante.
- Acceso fácil a la cabina.
- Potencia suficiente para cumplir los requerimientos de operabilidad del prototipo.
- Producción del momento para generar control direccional.
- Cumplir con el mínimo de seguridad como puede ser la capacidad de flotabilidad.

II.- Se definen los parámetros a cumplir o requerimientos del diseño, esto es:

- El peso máximo del vehículo; y
- carga útil.

III.- Una vez propuestos los requerimientos se propone el siguiente proceso de diseño, es decir:

Se define la secuencia de tareas para concretar el prototipo, que va desde los cálculos iniciales y sus propuestas hasta el término de la construcción del aparato.

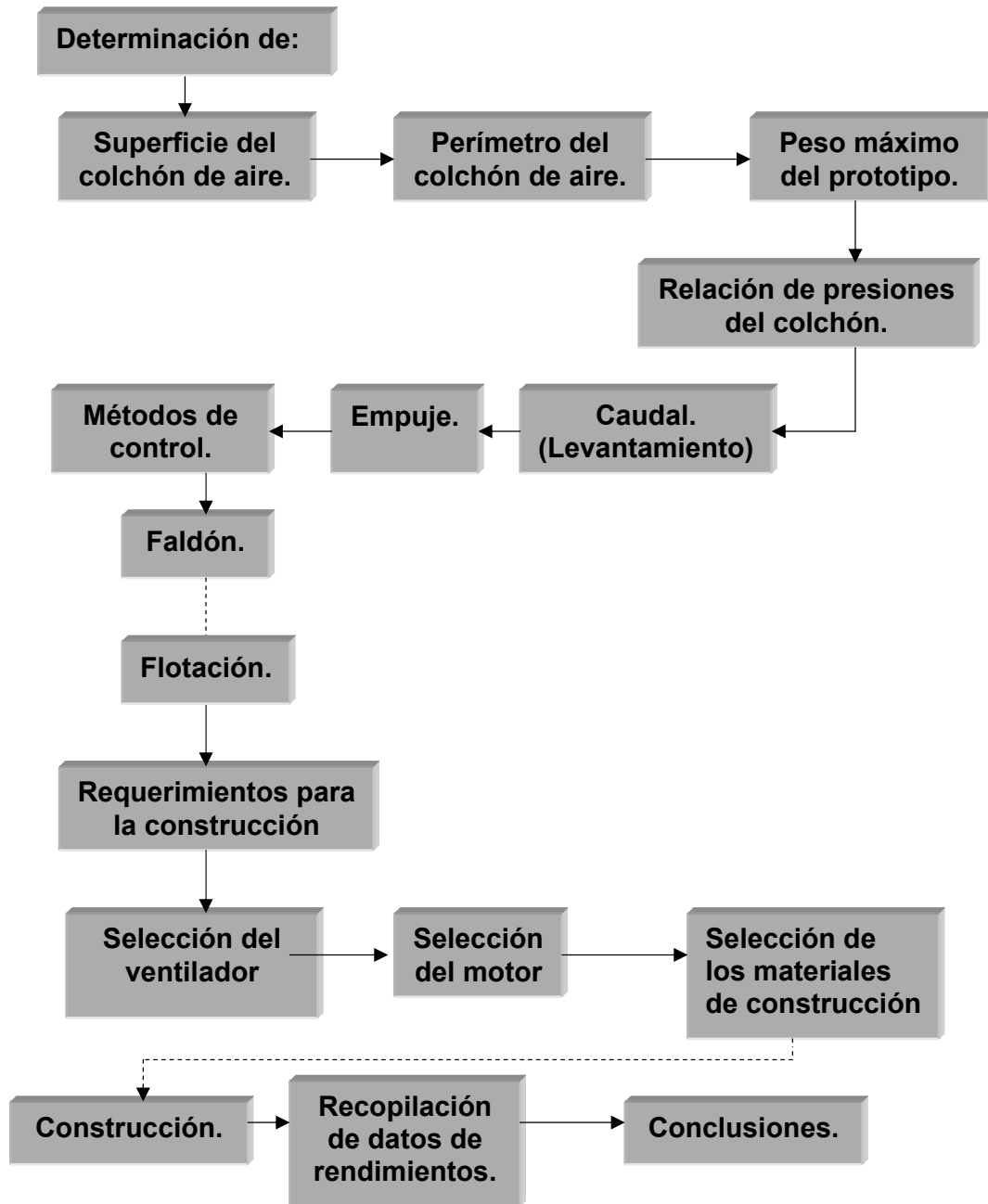


Diagrama M.1. Metodología usada para el diseño, cálculo y construcción del aerodeslizador

DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES DIMENSIONES.

1.1 Dimensiones principales

La determinación de las dimensiones principales, son la base de todo el diseño del vehículo.

En este capítulo se usará una metodología con base en el uso de relaciones numéricas específicas, las cuales fueron obtenidas a través de experiencias adquiridas por diferentes autores [ref.¹].

El diseño de un ACV es similar al de un barco convencional el cual incluye un proceso iterativo de aproximaciones llamadas secuencia inicial de diseño conceptual, diseño preliminar, diseño detallado y preparación de la fabricación de dibujos y documentos.

Los requerimientos del diseño dependen del uso del ACV (que pueden ser comerciales, militares, recreativos o de uso específico). Los parámetros de control serán diferentes de acuerdo a los rendimientos requeridos para estabilidad, resistencia al daño, inclemencias del clima, navegabilidad, maniobrabilidad, restricciones en la selección del motor

Esta no es una aproximación generalizada para el diseño de un vehículo (ACV), pero se recomienda la siguiente secuencia:

1. Definir los parámetros de uso
(Incluir carga útil, rendimientos y cualquier requerimiento en especial).
2. Hacer una estimación inicial del peso.
(Estructura, carcasa, planta motriz, sistema impulsor, mecanismos de control, combustible, accesorios)

3. Determinar dimensiones.
(Longitud, Ancho, Altura del colchón)
4. Estimar rendimientos.

1.2 Parámetros de uso.

Para este proyecto se propone:

- Un vehículo de uso recreativo.
- Debe contar con espacio adecuado para un piloto y un acompañante.
- Acceso fácil a la cabina.
- Potencia suficiente para cumplir los requerimientos de operabilidad del prototipo.
- Producción del momento para generar control direccional.
- Estabilidad y control necesario para navegar.
- Capacidad de flotación.
- Un aerodeslizador con el sistema de levantamiento y empuje integrado

Partiendo con lo anterior, tenemos que:

En un vehículo de colchón de aire con el sistema de levantamiento y empuje integrado es aquel que utiliza una sola fuente motriz para brindar estas dos acciones. Se toma una parte del flujo entregado por la hélice o ventilador y se dirige hacia el faldón el cual es el levantamiento, y la otra parte del flujo se dirige hacia el empuje, así como lo muestra la figura 1.1.

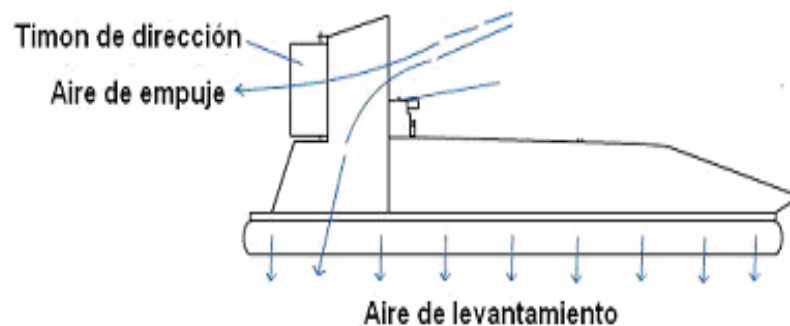


Figura 1.1. División de flujo del aire en un sistema integrado.
Tomada con fines didácticos. [ref. ¹]

1.3 Estimación inicial de peso.

En el diseño de un ACV una de las primeras tareas es identificar el peso de cada uno de sus componentes, se propone un estimado en peso de los componentes que conformaran el peso máximo operacional de 4414.5 N.

Una primera estimación de peso en porcentaje es la siguiente:

Componente	Porcentaje en peso
Estructura	40%
Planta motriz	15%
Combustible	5%
Carga útil	35%
Equipo	5%

Tabla 1.1 Estimación de peso en porcentajes.

Tomando en cuenta una variación en la carga útil y en la estructura, ya que se desconoce por el momento el peso exacto de las mismas.

1.4 Determinación de dimensiones.

- *Relación longitud/anchura (l_c/B_c) del colchón.*

La relación l_c/B_c influye directamente la velocidad del ACV, su potencia y navegabilidad. En el caso de baja velocidad del vehículo se incrementa la relación l_c/B_c que proveerá navegabilidad, decreciendo la resistencia al avance a velocidad media, se incrementa el alcance y decrece el punto máximo de resistencia al avance. A partir de 1980 hubo una tendencia general a incrementar la relación l_c/B_c .

Un típico punto de partida para un ACV sería de 2.0 (l_c/B_c) tomando como una base rectangular plana con las esquinas redondeadas. Como lo es un ACV pequeño de una plaza y hasta los Transbordadores medianos utilizan esta geometría. Un l_c/B_c de 2.5 es usado en ACV más largos. [ref.¹]


- *Relación presión/longitud (p_c/l_c) del colchón.*

En general, un ACV de pasajeros requiere una gran superficie y baja densidad del aire dentro del colchón, y por el contrario un ACV de tipo militar requiere gran superficie y alta densidad. Un punto de diseño de la densidad del colchón debe estar en un rango entre 10 a 15 kg/m³ o mayor a

20 kg/m³ si se trata de un ACV de tipo militar. El hecho de que el parámetro sea alto se refleja en un mayor ruido del ACV. [ref.¹]

1.5 Datos de diferentes aerodeslizadores.

Se presentan las características principales (peso, longitud, potencia) de varios modelos de aerodeslizadores existentes en el mercado a nivel mundial, con el objeto de familiarizar y de dar una idea general de los mismos.

Nombre	SR.N1	
Peso	3.5 toneladas.	
Longitud	30 pies.	
Planta Motriz	Alvis Leonidas.	
Potencia	450 Caballos de Potencia.	Figura 1.2 Tomada con fines didácticos. [ref. ²]


Nombre	C.C.1 (Cushion craft 1)	
Peso	1.8 toneladas.	
Longitud	19 pies.	
Planta Motriz	Coventry Climax..	
Potencia	145 Caballos de Potencia.	

Figura 1.3 Tomada con fines didácticos. [ref.³]


Nombre	SR.N2		
Peso	27 toneladas.		
Longitud	60 pies.		
Planta Motriz	Cuatro	Blackburn Nimbus	
Potencia	800 Caballos de Potencia c/u.		

Figura 1.4 Tomada con fines didácticos. [ref.⁴]


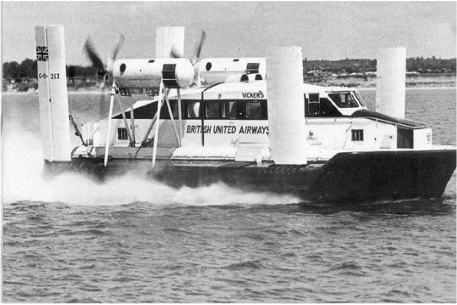



Nombre	C.C.2		
Peso	2.8 toneladas.		
Longitud	30 pies.		
Planta Motriz	Rolls Royce LV 8-41		
Potencia	250 Caballos de Potencia.		

Figura 1.5 Tomada con fines didácticos. [ref.⁵]


Nombre	V.A.3		
Peso	12.6 toneladas.		
Longitud	55 pies.		
Planta Motriz	Cuatro	Bristol Siddeley Turmo 603.	
Potencia	425 Caballos de Potencia (c/u).		
			Figura 1.6 Tomada con fines didácticos. [ref. ⁶]

Nombre	C.C.5		
Peso	2 toneladas.		
Longitud	29 pies.		
Planta Motriz	Rolls-Royce V8		
Potencia	240 Caballos de Potencia		
			Figura 1.7 Tomada con fines didácticos. [ref. ⁷]

Nombre	H.D.1		
Peso	8.5 toneladas.		
Longitud	50 pies.		
Planta Motriz	Dos	Coventry Climax (Levantamiento).	
	Dos	Rolls Royce Continental (propulsión)	
Potencia	80 Caballos de Potencia. (Coventry Climax) 145 y 310 Caballos de Potencia (Rolls Royce Continental)		
			Figura 1.8 Tomada con fines didácticos. [ref. ⁸]

Nombre	SR.N3		
Peso	35 toneladas.		
Longitud	77 pies.		
Planta Motriz	Cuatro	Bristol Siddeley Gnome	
Potencia	1050 Caballos de Potencia. c/u		
			Figura 1.9 Tomada con fines didácticos. [ref. ⁹]

Nombre	SR.N4		
Peso	165 toneladas.		
Longitud	130 pies.		
Planta Motriz	Cuatro	Bristol Siddeley Proteus	
Potencia	3400 Caballos de Potencia. c/u		
			Figura 1.10 Tomada con fines didácticos. [ref. ¹⁰]

Nombre	SR.N5		
Peso	7 toneladas.		
Longitud	38 pies.		
Planta Motriz	Bristol Siddeley Gnome		
Potencia	900 Caballos de Potencia		
			Figura 1.11 Tomada con fines didácticos. [ref. ¹¹]

Nombre	SR.N6	
Peso	9 toneladas.	
Longitud	48 pies.	
Planta Motriz	Bristol Siddeley Gnome	
Potencia	900 Caballos de Potencia	

Figura 1.12 Tomada con fines didácticos. [ref.¹²]


Nombre	H.D.2		
Peso	5 toneladas.		
Longitud	30 pies.		
Planta Motriz	Uno	Rover Turbine (Levantamiento).	
	Dos	Rover Turbine (propulsión)	
Potencia	150 caballos de Potencia c/u		

Figura 1.13 Tomada con fines didácticos. [ref.¹³]


Nombre	BH.7	
Peso	56 toneladas.	
Longitud	78.41 pies.	
Planta Motriz	Rolls-Royce Proteus 15M/541	
Potencia	4250 Caballos de Potencia.	

Figura 1.14 Tomada con fines didácticos. [ref.¹⁴]


Nombre	ASV e2	
Peso	0.56 toneladas.	
Longitud	12.3 pies	
Planta Motriz	Rotax 582 UL	
Potencia	65 Caballos de Potencia	

Figura 1.15 Tomada con fines didácticos. [ref.¹⁵]


Nombre	UH-13PT	
Peso	0.362 toneladas.	
Longitud	13 pies	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	15 Caballos de Potencia	

Figura 1.16 Tomada con fines didácticos. [ref.¹⁶]




Nombre	UH-13P	
Peso	0.419 toneladas.	
Longitud	13 pies	
Planta Motriz	Kohler (vertical)	
Potencia	25 Caballos de Potencia	

Figura 1.17 Tomada con fines didácticos. [ref.¹⁷]

Nombre	UH-12T4	
Peso	0.374 toneladas.	
Longitud	12 pies	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	15 Caballos de Potencia	Figura 1.18 Tomada con fines didácticos. [ref. ¹⁸]

Nombre	Neptune Sobol	
Peso	0.255 toneladas.	
Longitud	6.56 pies	
Planta Motriz	Rotax 582	
Potencia	64 Caballos de Potencia	Figura 1.19 Tomada con fines didácticos. [ref. ¹⁹]

Nombre	UH-10T2	
Peso	0.272 toneladas.	
Longitud	10.5 pies	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	13.5 Caballos de Potencia	Figura 1.20 Tomada con fines didácticos. [ref. ²⁰]


Nombre	UH-10F2	
Peso	0.213 toneladas.	
Longitud	10 pies	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	16 Caballos de Potencia	

Figura 1.21 Tomada con fines didácticos. [ref.²¹]

Nombre	UH-10F TRAINER	
Peso	0.190 toneladas.	
Longitud	10 pies	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	16 Caballos de Potencia	

Figura 1.22 Tomada con fines didácticos. [ref.²²]

Nombre	UH-6F TRAINER	
Peso	0.092 toneladas.	
Longitud	6 pies	
Planta Motriz	Tecumseh (vertical)	
Potencia	3.5 Caballos de Potencia	

Figura 1.23 Tomada con fines didácticos. [ref.²³]

Nombre	UH-12R	
Peso	0.430 toneladas.	
Longitud	12.5 pies.	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	10 Caballos de Potencia	

Figura 1.24 Tomada con fines didácticos. [ref.²⁴]

Nombre	UH-13t	
Peso	0.545 toneladas.	
Longitud	13.8 pies.	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	28 Caballos de Potencia	

Figura 1.25 Tomada con fines didácticos. [ref.²⁵]





Nombre	UH-14P	
Peso	0.613 toneladas.	
Longitud	14.6 pies.	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	20 Caballos de Potencia	

Figura 1.26 Tomada con fines didácticos. [ref.²⁶]

Nombre	UH-15P	
Peso	0.590 toneladas.	
Longitud	15.8 pies.	
Planta Motriz	Tecumseh	
Potencia	30 Caballos de Potencia	
		Figura 1.27 Tomada con fines didácticos. [ref. ²⁷]

Nombre	UH-15TA	
Peso	0.726 toneladas.	
Longitud	15.8 pies.	
Planta Motriz	Subaru	
Potencia	42.5 Caballos de Potencia	
		Figura 1.28 Tomada con fines didácticos. [ref. ²⁸]

Nombre	UH-16S	
Peso	0.772 toneladas.	
Longitud	15.8 pies.	
Planta Motriz	Subaru	
Potencia	85 Caballos de Potencia	
		Figura 1.29 Tomada con fines didácticos. [ref. ²⁹]


Nombre	UH-17T	
Peso	0.998 toneladas.	
Longitud	17.3 pies.	
Planta Motriz	Subaru	
Potencia	100 Caballos de Potencia	

Figura 1.30 Tomada con fines didácticos. [ref.³⁰]


Nombre	UH-19P	
Peso	0.952 toneladas.	
Longitud	19.4 pies.	
Planta Motriz	Subaru	
Potencia	100 Caballos de Potencia	

Figura 1.31 Tomada con fines didácticos. [ref.³¹]

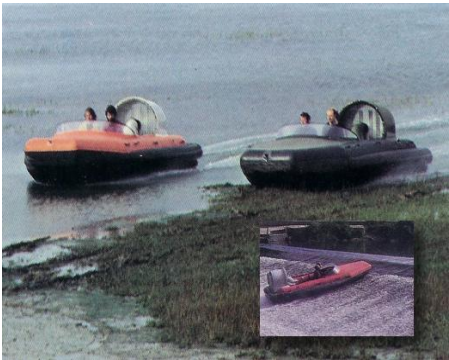
Nombre	Skima 4 (4)	
Peso	0.475 toneladas.	
Longitud	4 metros.	
Planta Motriz	No proporcionada	
Potencia	25 Caballos de Potencia	

Figura 1.32 Tomada con fines didácticos. [ref.³²]

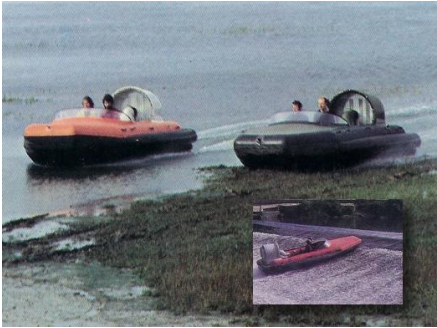
Nombre	Skima 4 (3)	
Peso	0.4 toneladas.	
Longitud	4 metros	
Planta Motriz	No proporcionada	
Potencia	25 Caballos de Potencia	

Figura 1.33 Tomada con fines didácticos. [ref.³²]

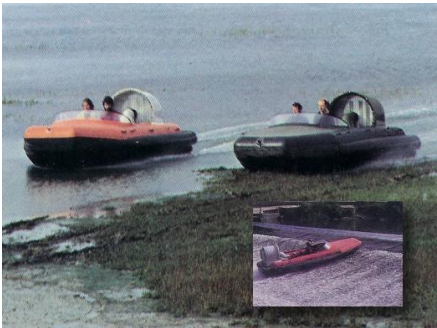
Nombre	Skima 4 (2)	
Peso	0.325 toneladas.	
Longitud	4 metros	
Planta Motriz	No proporcionada	
Potencia	25 Caballos de Potencia	

Figura 1.34 Tomada con fines didácticos. [ref.³²]

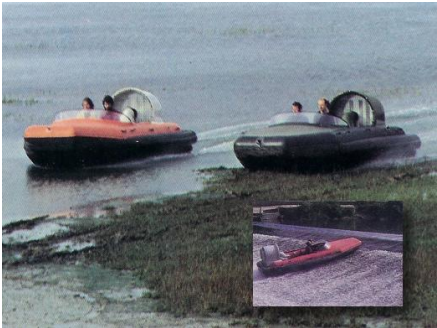
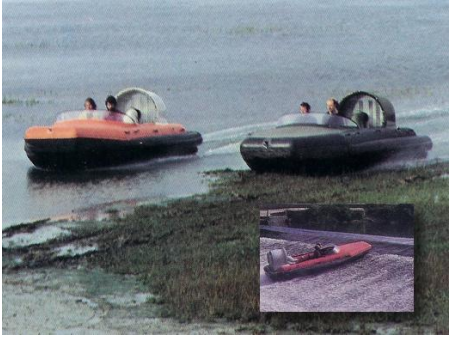
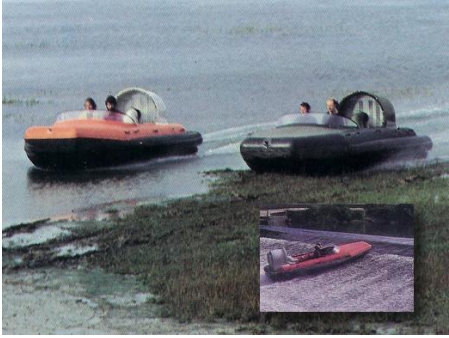
Nombre	Skima 4 (1)	
Peso	0.25 toneladas.	
Longitud	4 metros	
Planta Motriz	No proporcionada	
Potencia	25 Caballos de Potencia	

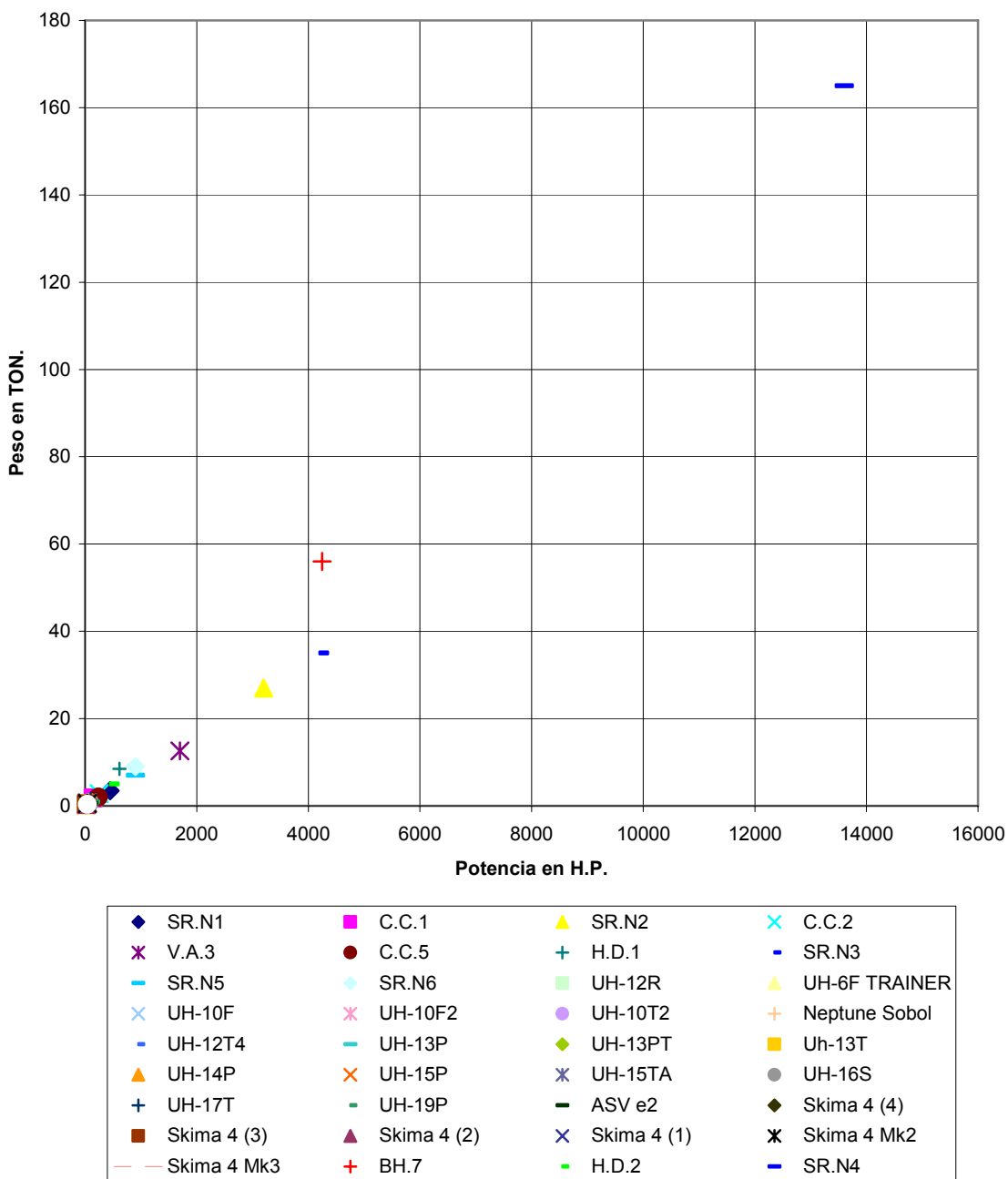
Figura 1.35 Tomada con fines didácticos. [ref.³²]

Nombre	Skima 4 Mk2	
Peso	0.55 toneladas.	
Longitud	5.03 metros	
Planta Motriz	No proporcionada	
Potencia	40 Caballos de Potencia	
		Figura 1.36 Tomada con fines didácticos. [ref. ³²]

Nombre	Skima 4 Mk3	
Peso	0.33 toneladas.	
Longitud	5.03 metros	
Planta Motriz	No proporcionada	
Potencia	40 Caballos de Potencia	
		Figura 1.37 Tomada con fines didácticos. [ref. ³²]

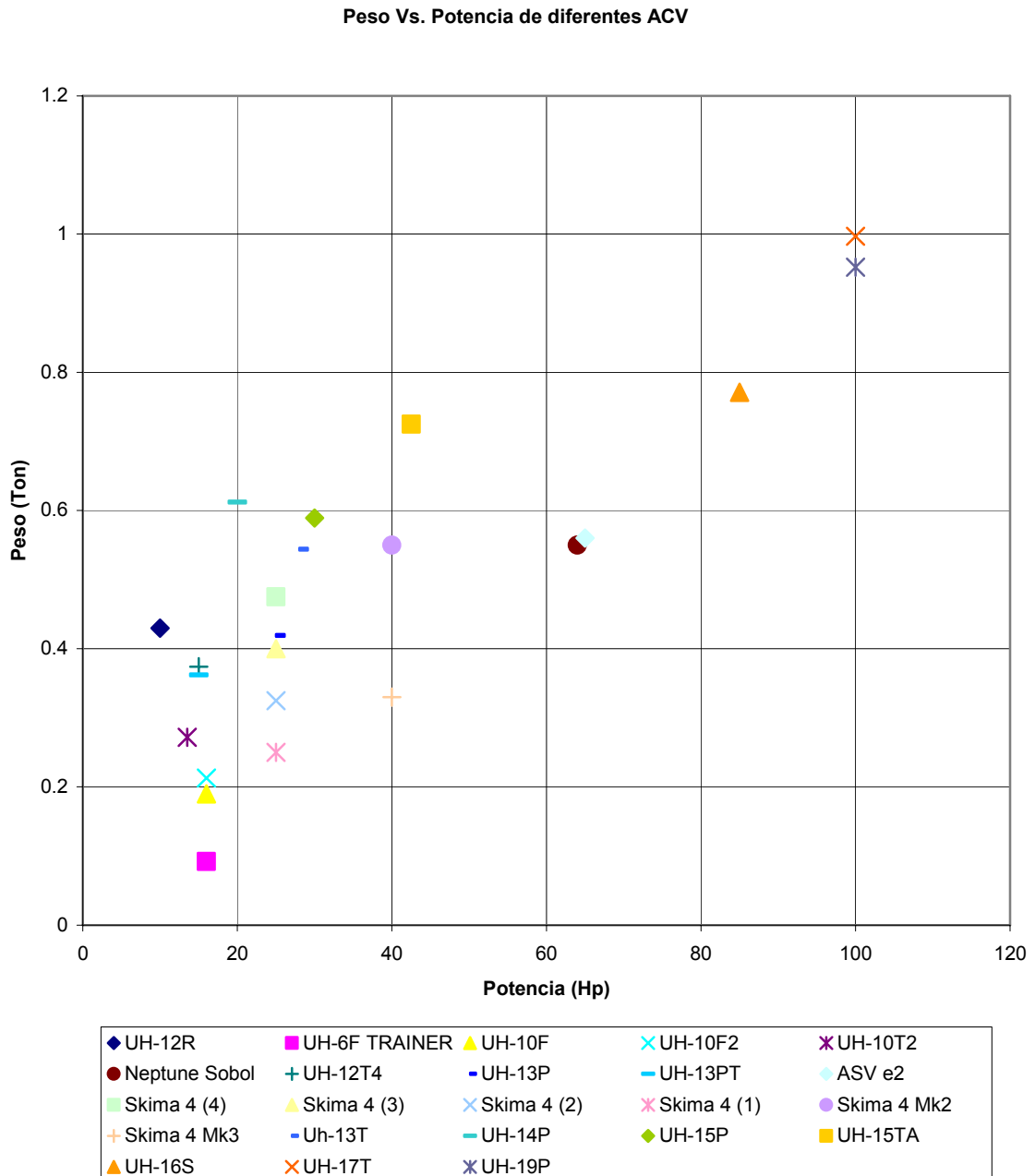
A continuación se recopilan los datos de peso y potencia de los vehículos antes mostrados, con la finalidad de hacer una gráfica comparativa entre ellos.

Peso Vs Potencia de diferentes tipos de aerodeslizadores



Gráfica 1.1 Gráfico del universo de algunos aerodeslizadores existentes en el mercado mundial.

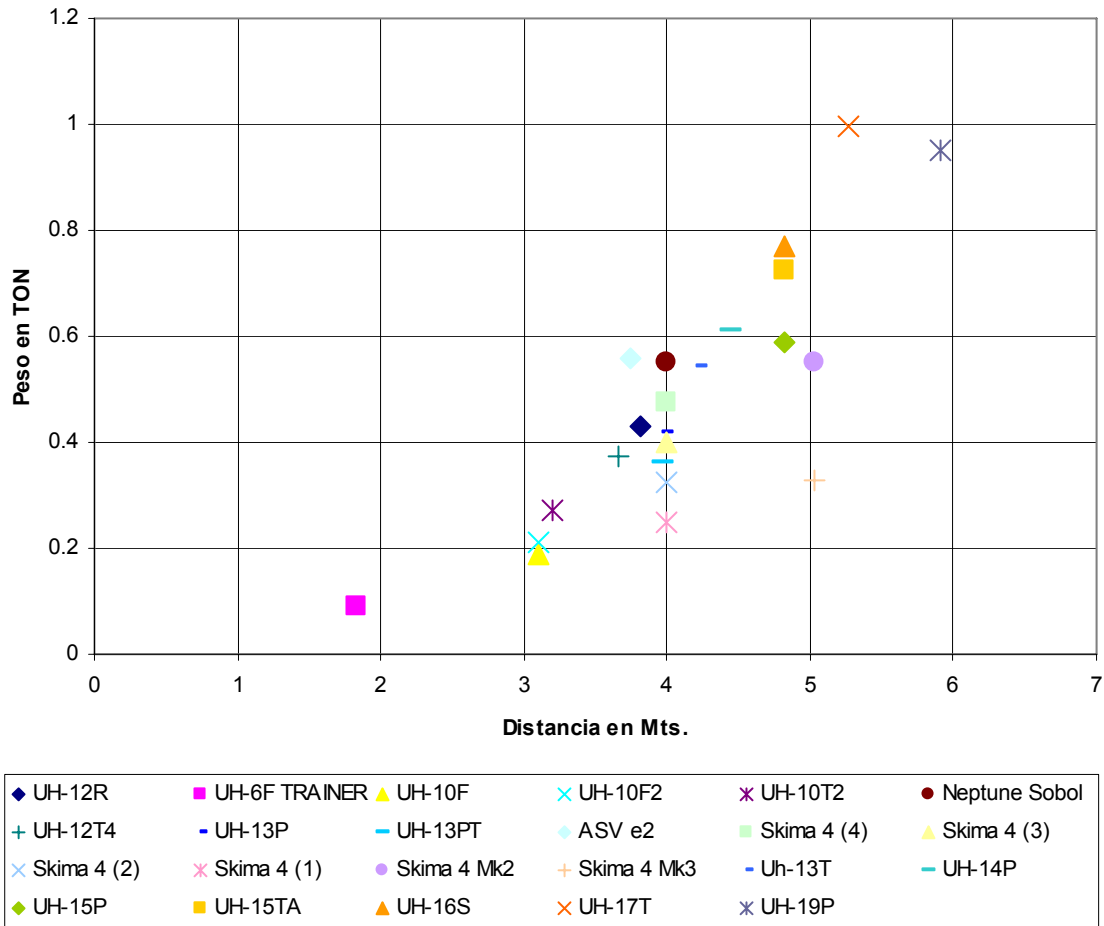
Debido a que en el gráfico anterior no se logra apreciar en forma clara, las características de peso y potencia de los vehículos que comprenden el segmento en el que se encuentra el prototipo, se genera la siguiente gráfica formada por vehículos de colchón de aire en un intervalo que no exceda una tonelada de peso y 100 caballos de potencia.



Gráfica 1.2 Gráfico que muestra un intervalo al cual podría pertenecer el ACV.

De la gráfica anterior, se aprecia que el aerodeslizador va a diseñarse a partir de un aparato pequeño que no requiera de gran potencia. Dado que se decide un aparato de uso recreativo, de un peso máximo operativo de 4414.5 N.

Peso Vs. Longitud de diferentes aerodeslizadores



Gráfica 1.3 Gráfico que muestra el peso máximo operacional contra la longitud de varios aerodeslizadores.

Con esta gráfica se concluye que 5 metros de longitud es adecuado para un peso estimado de 4414.5 N.

Referencias capítulo 1.

Referencias Bibliográficas

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

Referencias de imágenes

1. <http://www.universalhovercraft.com/>
2. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn123.jpg>
3. <http://www.hovercraft-museum.org/images/cc1-1.jpg>
4. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn210.jpg>
5. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/britnorm/lcc2.jpg>
6. <http://www.hovercraft-museum.org/images/va31.jpg>
7. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/cc5/lcc51.jpg>
8. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/hdl/lhd1.jpg>
9. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn317.jpg>
10. <http://www.quicktechhobby.com/Hovercrafts/Hovercrafts/srn4-lrg.jpg>
11. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn51.jpg>
12. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn6-ccg-3.jpg>
13. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/hdl/lhd23.jpg>
14. <http://www.hovercraft-museum.org/images/bh7mk4-01.jpg>
15. http://www.hovercraft.com/info/images/asve2_1.jpg
16. http://www.hovercraft.com/info/images/13pt_3.jpg
17. http://www.hovercraft.com/info/images/13p_2.jpg
18. http://www.hovercraft.com/info/images/12t4_1.jpg
19. <http://www.hovercraft.ru/foto/sobol16.jpg>
20. http://www.hovercraft.com/info/images/10t2_2.jpg
21. http://www.hovercraft.com/info/images/10f2_1.jpg
22. http://www.hovercraft.com/info/images/10ft_3.jpg
23. http://www.hovercraft.com/info/images/6ft_1.jpg
24. http://www.hovercraft.com/info/images/12r_2.jpg
25. http://www.hovercraft.com/info/images/13t_3.jpg
26. http://www.hovercraft.com/info/images/14pt_3.jpg
27. http://www.hovercraft.com/info/images/15p_1.jpg
28. http://www.hovercraft.com/info/images/15ta_3.jpg
29. http://www.hovercraft.com/info/images/16s_1.jpg
30. http://www.hovercraft.com/info/images/17t_1.jpg
31. http://www.hovercraft.com/info/images/19p_3.jpg
32. <http://www.hoverhire.co.uk/skima4.html>

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL REQUERIDO PARA LEVANTAMIENTO.

2.1 Determinación de la superficie del colchón de aire.

De acuerdo a la propuesta de diseño, se tienen las siguientes medidas del colchón de aire.

- Relación longitud/anchura (l_c/B_c) del colchón.

Un típico punto de partida para el diseño de un ACV es de 2.0 (l_c/B_c) a 2.5 (l_c/B_c). Desde un ACV pequeño de una plaza, hasta los transbordadores medianos utilizan ésta relación. [ref. 1].

En base a lo anterior, se considera una relación de l_c/B_c igual a 2.5, considerando las siguientes dimensiones:

$$l_c = 5 \text{ m. (longitud del colchón de aire)}$$

$$B_c = 2 \text{ m. (anchura del colchón de aire)}$$

Es decir, que la relación l_c/B_c está dentro de los márgenes establecidos en la referencia 1.

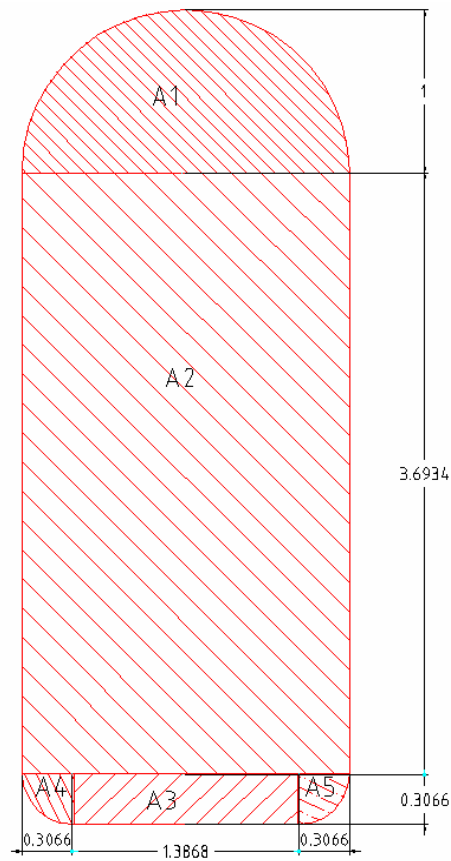


Figura. 2.1. Vista en planta de la superficie del colchón de aire
Acot.: m

De la figura 2.1, se tiene que el área A1 es un medio círculo, por lo que:

$$A1 = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{\pi (1\text{m})^2}{2} = 1.5787 \text{ m}^2$$

Donde:

$$\pi = 3.1415$$

A2 es un rectángulo,

$$A2 = (B_2)(H_2) = (2 \text{ m})(3.6934 \text{ m}) = 7.3868 \text{ m}^2$$

A3 es un rectángulo por lo tanto:

$$A3 = (B_3)(H_3) = (1.3868 \text{ m})(0.3066 \text{ m}) = 0.4251 \text{ m}^2$$

A4 y A5 son iguales y se consideran un cuarto de círculo cada una de ellas:

$$A4 = A5 = \frac{\pi r^2}{4} = \frac{\pi (0.3066 \text{ m})^2}{4} = 0.0738 \text{ m}^2$$

Entonces, $\sum A = S_c$

$$S_c = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$S_c = 1.5787 \text{ m}^2 + 7.3868 \text{ m}^2 + 0.4251 \text{ m}^2 + 0.0738 \text{ m}^2 + 0.0738 \text{ m}^2$$

$$S_c = 9.5382 \text{ m}^2$$

Donde:

S_c = Superficie del colchón de aire (m^2)

2.2 Determinación del perímetro del colchón de aire.

Teniendo lo anterior, es posible calcular l_j , que es el perímetro total del colchón.

La longitud de la media circunferencia (A1)

$$l_1 = \frac{\pi d}{2} = \frac{\pi (2 \text{ m})}{2} = 3.1415 \text{ m}$$

Donde

l_1 = longitud de la media circunferencia (A1)

La longitud de la suma de los costados del rectángulo (A2)

$$l_2 = (H_2)(2) = (3.6934 \text{ m})(2) = 7.3868 \text{ m}$$

Donde

l_2 = longitud total de ambos costados del rectángulo (A2)

La longitud de la base del rectángulo inferior (A3)

$$l_3 = B_3 = 1.3868 \text{ m}$$

Donde

l_3 = longitud de la base del rectángulo inferior (A3)

La suma de longitudes de los cuartos de circunferencia en las esquinas (A4 + A5) es:

$$l_4 = \frac{\pi d}{4} = \frac{\pi (0.6132 \text{ m})}{4} = 0.4816 \text{ m (X 2)}$$
$$l_4 = 0.9632$$

Por lo que el perímetro del colchón de aire es $\Sigma l = l_j$

$$\Sigma l_{\text{total}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$
$$l_{\text{total}} = 3.1415 \text{ m} + 7.3868 \text{ m} + 1.3868 \text{ m} + 0.9632 \text{ m}$$
$$l_{\text{total}} = 12.8783 \text{ m}$$

2.3 Determinación del peso máximo del prototipo.

Una vez definido el peso máximo operativo del vehículo como se describe en el capítulo 1, es posible realizar una estimación en magnitud del peso de los componentes.

Componente	Peso (N)
Estructura	1765.8
Planta motriz	662.175
Combustible	220.725
Carga útil	1545.075
Equipo	220.725
Peso total del prototipo	4414.5

Tabla 2.1 Estimación inicial de peso.

2.4 Determinación de la relación de presiones del colchón de aire.

Teniendo en cuenta que la presión del colchón corresponde al peso máximo operativo entre el área proyectada en una vista en planta del prototipo, se tiene que:

$$P_c = \frac{W}{S_c} \quad (2.1)$$

Donde:

P_c = Presión del colchón (Pa)
 W = Peso Máximo operativo. (N)
 S_c = Superficie del colchón (m^2)

Sabiendo que

$$W = 4414.5 \text{ N}$$

$$S_c = 9.5382 \text{ m}^2$$

Sustituyendo valores en la ecuación 1:

$$P_c = \frac{4414.5 \text{ N}}{9.5382 \text{ m}^2} = 462.8231 \text{ Pa}$$

2.5 Determinación del caudal necesario de aire.

Para la determinación del caudal se utilizara la teoría exponencial para el rendimiento de un colchón de aire sobre una superficie rígida

Esta teoría considera que la tobera de descarga es infinitamente delgada en la que se supone que la velocidad del flujo de aire a través de la descarga se distribuye de manera uniforme. Además de que la línea de corriente que se dirige hacia el exterior es un arco circular de radio r . Entonces se toma un elemento de la corriente de chorro, el cual inmediatamente después de atravesar el borde exterior de la tobera, se encuentra con una diferencia de presión, la cual se compensa por una fuerza centrípeta. [ref. ^{1,2}].

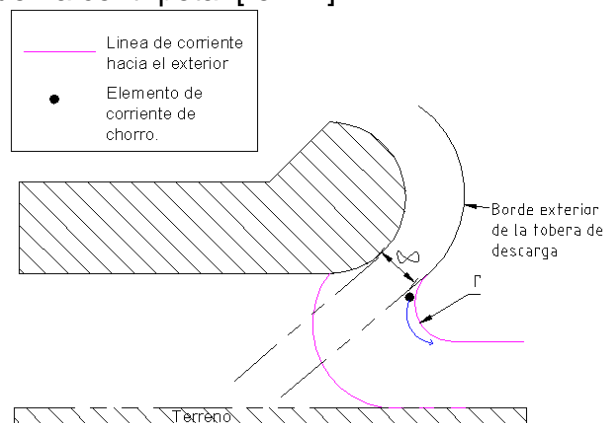


Figura 2.2 Corte transversal en la descarga de aire

Stanton-Jones de la Corporación Británica Hovercraft desarrolló una relación en la que el caudal y la presión total de levantamiento pueden ser obtenidos mediante la ecuación (2.2).

$$\frac{P_c}{P_t} = 1 - e^{-2x} \quad (2.2)$$

Donde:

P_t = Presión total. (Pa)

$x = (1 + \cos\theta) \left(\frac{t}{h} \right)$; (con un valor de $\theta = 45^\circ$)

t = Espesor o diámetro de la tobera de descarga, que para este diseño es igual a 0.0254 m

h = Es la altura del claro entre la superficie rígida y la parte inferior del faldón, en este caso es dos veces t y es igual a 0.0508 m.

θ = Ángulo de descarga del aire hacia el colchón de aire. [ref. 1]

La siguiente formula determina el caudal. (Q)

$$Q = \left(\frac{2}{\rho_a} \right) \left\{ I_j h P_t^{0.5} \frac{\left[1 - \left(1 - \frac{P_c}{P_t} \right)^{0.5} \right]}{(1 + \cos\theta)} \right\} \quad (2.3)$$

Despejamos la presión total de la ecuación (2.2).

$$P_t = \frac{P_c}{1 - e^{-2x}} = \frac{462.8231 \text{ Pa}}{1 - e^{-1.7071}} = 565.3766 \text{ Pa}$$

Y se sustituyen los valores antes calculados en la ecuación 2.3 para obtener el caudal requerido.

$$Q = \left(\frac{2}{1.225 \frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3}} \right) \left\{ (12.8783 \text{ m})(0.0508 \text{ m})(564.3766 \text{ Pa})^{0.5} \frac{\left[1 - \left(1 - \frac{462.8231 \text{ Pa}}{564.3766 \text{ Pa}} \right)^{0.5} \right]}{(1 + \cos 45^\circ)} \right\}$$

$$Q = 8.4065 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Teniendo así el caudal necesario de aire para generar un colchón de aire.

Método de coeficiente de caudal.

La relación entre caudal del colchón de aire y la presión para levantar el prototipo sobre una superficie rígida y agua en calma ya ha sido descrita por el método exponencial. Sin embargo, el faldón tipo bolsa y segmentos puede tener dos configuraciones:

- a) La bolsa tiene pocos orificios de descarga, pero de gran tamaño hacia la parte segmentada del faldón.
- b) La bolsa tiene una gran cantidad de orificios de descarga, relativamente pequeños hacia la parte segmentada del faldón.

En el segundo caso, mejora la resistencia de la bolsa del faldón por reducir las concentraciones de esfuerzo y de este modo reduce la tendencia a rasgarse debido a la operación del aparato.

Teniendo ya el valor del caudal, se debe obtener el valor del coeficiente de flujo del caudal para darse una idea de si se está o no dentro de los parámetros establecidos [referencia 1], siendo el resultado aproximado al valor del caudal obtenido anteriormente.

La relación para el coeficiente de flujo es:

$$Q = \bar{Q} S_c \sqrt{\left(\frac{2P_c}{\rho_a} \right)} \quad (2.4)$$

Donde:

\bar{Q} = coeficiente de caudal.

En general, \bar{Q} toma valores de:

$$\bar{Q} = 0.015 - 0.050 \text{ (para un ACV) [ref}^1\text{]}$$

Despejando de la ecuación (2.4) y sustituyendo valores para el prototipo.

$$\bar{Q} = \frac{Q}{S_c \sqrt{\left(\frac{2P_c}{\rho_a}\right)}}$$

$$\bar{Q} = \frac{8.4065 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{9.5382 \text{ m}^2 \sqrt{\left(\frac{2(462.8231 \text{ Pa})}{1.225 \frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3}}\right)}}$$

$$\bar{Q} = 0.032$$

Al obtener \bar{Q} dentro del parámetro antes mencionado se da una idea de que el rendimiento será apropiado.

De acuerdo con la referencia [1] la expresión comúnmente utilizada para el cálculo de levantamiento de un ACV es:

$$Q = V_c D_c h_j \quad (2.5)$$

Donde:

$$V_c = \sqrt{\frac{2P_c}{\rho_a}} \text{ Que es la velocidad de escape del aire del colchón } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

D_c = Coeficiente de descarga de la tobera de acuerdo al ángulo de descarga ($\theta = 45^\circ$) para este caso $\cong 0.4674$

Sustituyendo valores de la ecuación 2.5

$$Q = \left(\sqrt{\frac{2(462.8231 \text{ Pa})}{1.225 \frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3}}} \right) (0.4674)(0.0508 \text{ m})(12.8783 \text{ m})$$

$$Q = 8.4065 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con lo que así es demostrado que la teoría exponencial coincide con la estimación del cálculo del caudal requerido para generar el colchón de aire necesario en una superficie rígida.

Referencias capítulo 2

Referencias Bibliográficas

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.
2. **G.H. ELSLEY & A.J. DEVEREUX**. Hovercraft Design and construction. Ed. David & Charles Newton Abbot, Great Britain, 1968, 262pp.

EMPUJE.

Introducción

Ventiladores axiales y Hélices.

La principal diferencia entre un ventilador y una hélice, es que el ventilador generalmente tiene mucha más solidez, y opera con valores bajos de J relación de avance. [ref¹]

Las hélices son elementos mecánicos giratorios que sirven para producir un impulso sobre el aparato en el que van montadas. Las hélices pueden generar tracción o propulsión, dependiendo de la posición que guarden con respecto al motor y al sentido de giro del mismo, así como el de la hélice. Las hélices se componen de un cubo, un cono, y las palas. La pala esta formada por un número infinito de perfiles aerodinámicos acomodados sucesivamente. [ref²]

3.1 Determinación del empuje requerido.

Los ventiladores existentes en el mercado, son construidos con propósitos industriales, como extracción de gases, acondicionamiento del aire, etc.

Los fabricantes no tienen previsto que dichos ventiladores se utilicen como unidades propulsoras de vehículos, por lo consiguiente, no brindan al consumidor valores de empuje.

A continuación se muestra la forma de cómo calcular el empuje estático que producen los ventiladores [ref³]

$$T_s = Q_s V_d \rho. \quad (3.1)$$

Donde:

$$Q_s = \text{Caudal en la descarga} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{S}} \right)$$

$$V_d = \text{Velocidad de descarga} \left(\frac{\text{m}}{\text{S}} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad del aire} \left(\frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3} \right)$$

$$T_s = \text{Empuje estático (N)}$$

3.2 Descripción y características de los ventiladores propuestos.

Los ventiladores adquiridos son del tipo axial tubular, de aluminio fundido cuyos datos básicos son proporcionados por el fabricante [ref⁴]

Potencia absorbida: 5.5 Kw
Velocidad angular: 1400 RPM
Caudal máximo: 49000 m ³ /hr
Diámetro: 1m

Tabla 3.1

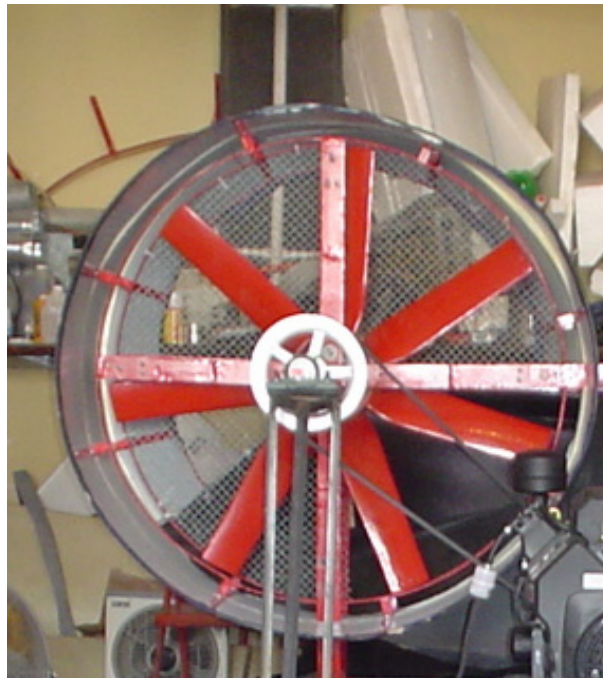


Imagen 3.1 Muestra el ventilador alojado en la tobera.

Presión vs Caudal

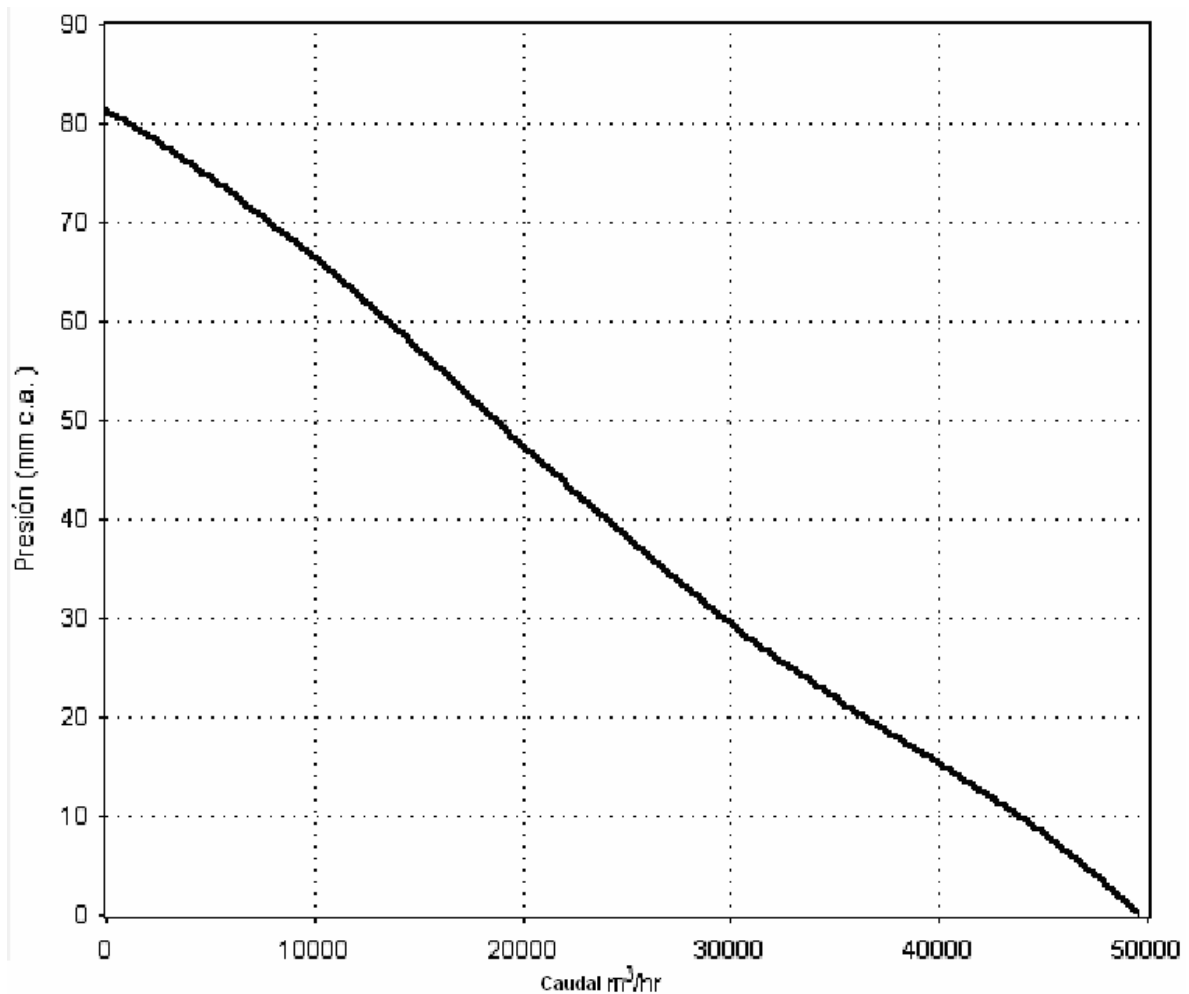


Figura 3.2 Curva del ventilador a emplear, obtenida a 20 ° C y a nivel medio del mar.

Tomada con fines didácticos. [ref.¹]

La tobera que aloja al ventilador cuenta con una derivación de flujos en la parte posterior al plano del ventilador, la cual secciona el flujo en:

- Una tercera parte destinada a alimentar el sistema de levantamiento y
- Considerando que dos terceras partes del caudal que entrega cada ventilador, son destinadas a producir empuje, se cuenta con un caudal de 9.07 m³/s en descarga libre, el valor antes mencionado surge de multiplicar el caudal máximo (tabla 3.1) por 2/3.

Cabe señalar que el flujo destinado a empuje pasa por una tobera en su salida, como se muestra en la figura 3.3; esto con la finalidad de incrementar la velocidad de descarga.

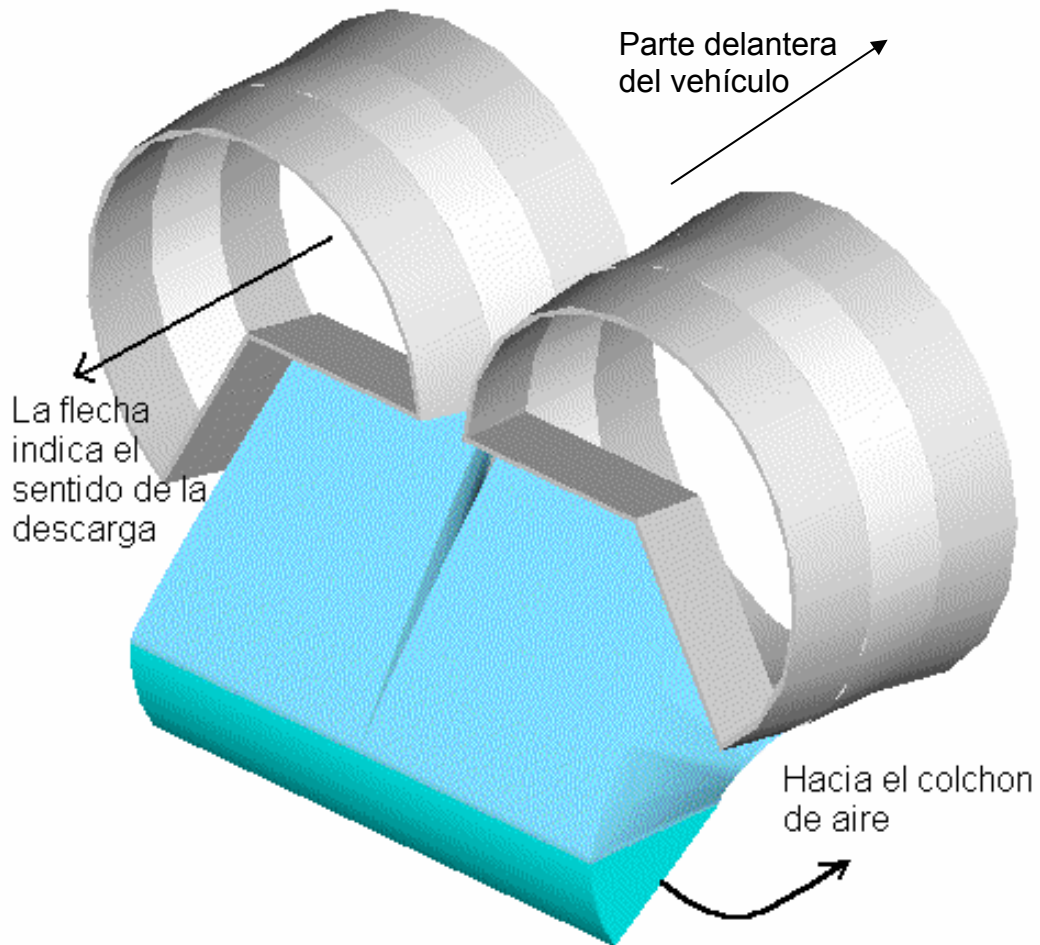


Figura 3.3 Vista trasera de las toberas que alojan a los ventiladores

A partir de la ecuación de continuidad:

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_1 V_1 A_1$$

Donde podemos determinar la cantidad de flujo másico como se muestra a continuación:

$$\overline{m\dot{a}} = \rho VA \quad (3.2)$$

Donde:

$$\overline{m\dot{a}} = \text{flujo másico} \left(\frac{\text{kg}_m}{\text{s}} \right)$$

$$\rho = \text{densidad} \left(\frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3} \right)$$

$$A = \text{Area} (\text{m}^2)$$

$$V = \text{Velocidad} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Considerando condiciones de atmósfera tipo, las cuales son:

Condiciones a nivel del mar

$$\text{Temperatura } 15 \text{ } ^\circ\text{C} = 288.2 \text{ } ^\circ\text{K} = 59 \text{ } ^\circ\text{F} = 518.7 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$\text{Presión } 101304 \text{ Pa} = 2116.2 \text{ lb/ft}^2 = 29.92 \text{ inHg} = 10326.61 \text{ Kg}_i/\text{m}^2 = 14.7 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{Densidad} = 1.225 \text{ Kg/m}^3 = 0.002378 \text{ slug/ft}^3 = 0.125 \text{ UTM/m}^3$$

$$\text{Aceleración de la gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Conociendo el caudal que maneja cada uno de los ventiladores y multiplicándolo por la densidad del aire a nivel medio del mar (condiciones atmósfera tipo), es posible conocer el flujo másico.

$$\overline{m\dot{a}} = Q\rho$$

$$\overline{m\dot{a}} = \left(9.074 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left(1.225 \frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3} \right)$$

$$\overline{m\dot{a}} = 11.1157 \frac{\text{kg}_m}{\text{s}}$$

El área de descarga es 2/3 de la superficie total de cada uno de los círculos que abarcan cada uno de los ventiladores, y cuyo radio es de 0.45 metros.

$$A = \frac{2}{3} \pi r^2$$

Por lo tanto:

$$A = \frac{2}{3}(3.1415)(0.45\text{m})^2 = 0.4241\text{m}^2$$

Despejando la velocidad de la ecuación 3.2 y sustituyendo valores se obtiene el valor de velocidad de descarga de flujo de aire.

$$V = V_d = \frac{\left(11.1157 \frac{\text{kg}_m}{\text{s}}\right)}{\left(1.225 \frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3}\right)(0.4241\text{m}^2)} = 21.3959 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Empleando la ecuación 3.1 es posible conocer el empuje en régimen estático de cada ventilador.

$$T_s = \left(9.074 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(21.3959 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(1.225 \frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3}\right) = 237.8293\text{N}$$

Puesto que se trata de dos ventiladores, considerando que el otro ventilador al tener arquitectura y funcionamiento similar se considera entonces que el empuje global será:

$$T_{s_{\text{total}}} = T_s(2) = 475.65 \text{ N (aproximadamente } 48.4862 \text{ Kg}_{\text{fuerza}}.)$$

Dado que se cuenta con el primer prototipo construido, es posible determinar experimentalmente el valor de la fuerza propulsiva con el siguiente procedimiento: [ref⁵]

Material a emplear:

Un dinamómetro y dos cuerdas.

- El dinamómetro debe quedar localizado entre el objeto que sirve de estructura inmóvil o referencia.
- Una cuerda es atada a dicho objeto anclado en el terreno (árbol, poste, etc.) capaz de resistir la fuerza una vez que se tense la cuerda.
- La otra es atada al vehículo

- Una vez implementado el dispositivo anterior y puesto en marcha el dinamómetro marca en su carátula el valor del empuje estático.

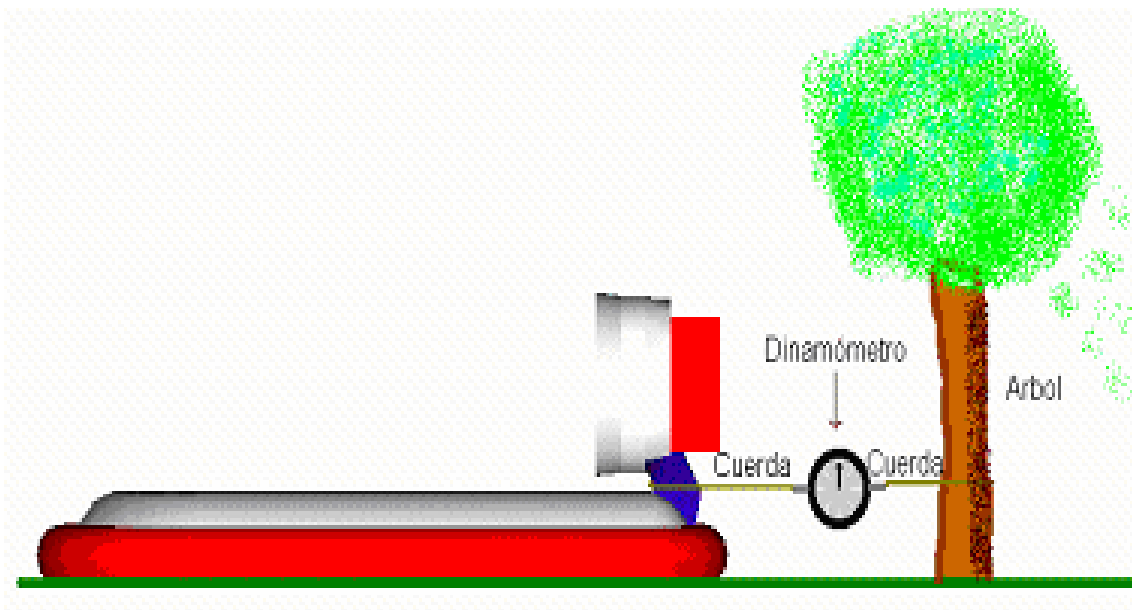


Figura 3.4 Muestra el arreglo para obtener el empuje estático real de un vehículo de colchón de aire.

Referencias capítulo 3.

Referencias bibliográficas.

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.
2. **MONROY ACEVES CARLOS**, Diseño y Manufactura de Hélices con Flechado Mediante Procesos de CAD y CAM Para su Experimentación en Túnel de Viento, Tesis Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN, México 2003
3. **P. FITZPATRICK**. Calculati6n of a ducted fan assembly for hovercraft. Hovercraft Club of Great Britain. (Apuntes).
4. Catalogo general 2005 Soler y Palau. Programa de selecci6n de producto Easyvent 1.8 (CD).
5. **JEREMY KEMP**. The Hovercraft Constructor's Guide. Reino Unido.(Cd)

Referencias de imágenes.

1. Catalogo general 2005 Soler y Palau. Programa de selecci6n de producto Easyvent 1.8 (CD).

CONTROL.

Es el conjunto de dispositivos con los que cuenta el vehículo de colchón de aire, los cuales permiten realizar la trayectoria que el piloto demande por medio de dichos dispositivos.

4.1 Descripción de maniobras.

Con fines prácticos, se consideran los ejes de referencia de forma similar a los de una aeronave.

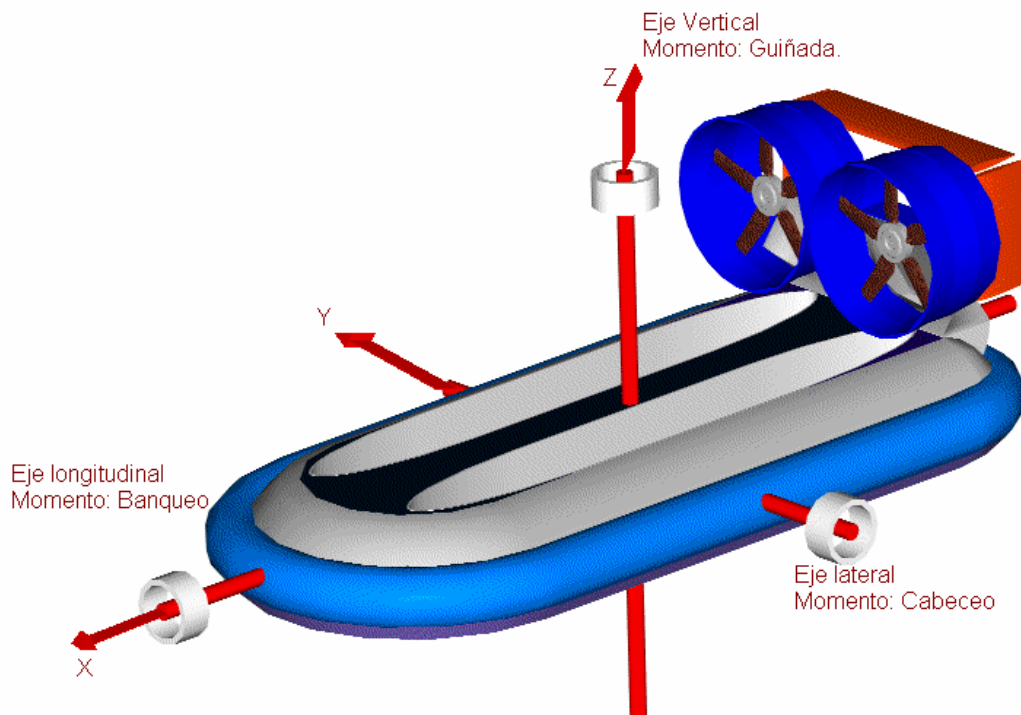


Figura 4.1. Ejes de Referencia.

Guiñada.

La fuerza generada en los timones direccionales es transmitida a través del brazo de palanca existente entre esta misma fuerza y el centro de gravedad del vehículo, creando un momento de guiñada.

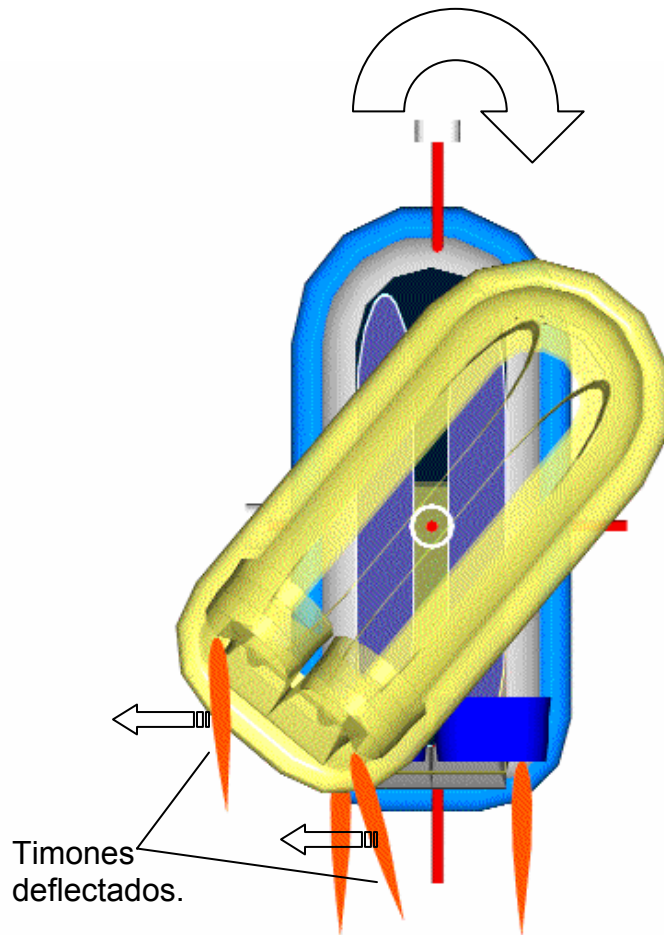


Figura 4.2 Guiñada

Banqueo.

Las superficies de control y algunos dispositivos destinados a proporcionar control direccional tienden a generar un momento de banqueo adverso (alabeo) en virtud de su altura relativa al centro de gravedad. [ref¹.]

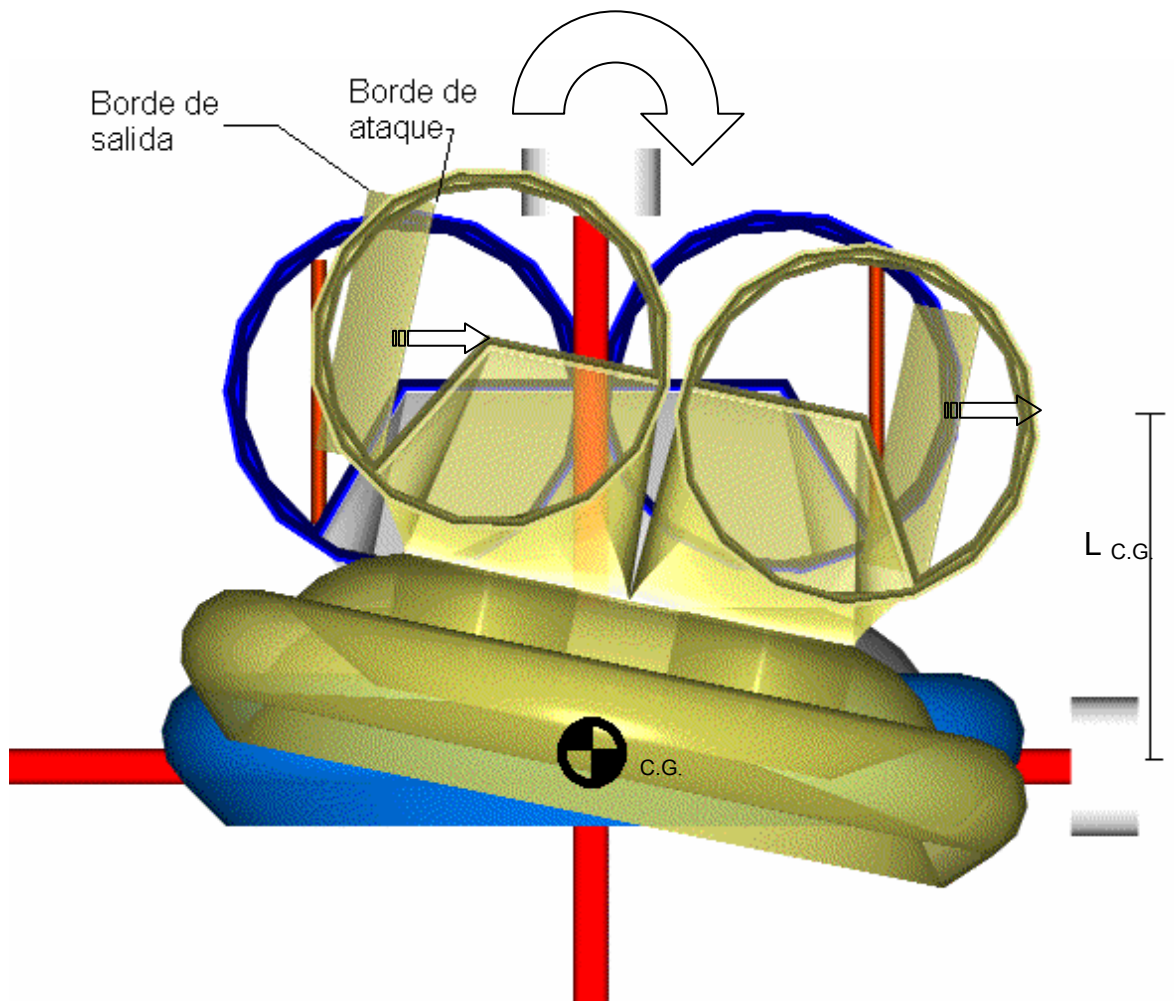


Figura 4.2 Guiñada

Cabeceo.

La fuerza generada en el elevador es transmitida a través del brazo de palanca existente entre esta misma fuerza y el centro de gravedad del vehículo, creando un momento de cabeceo.

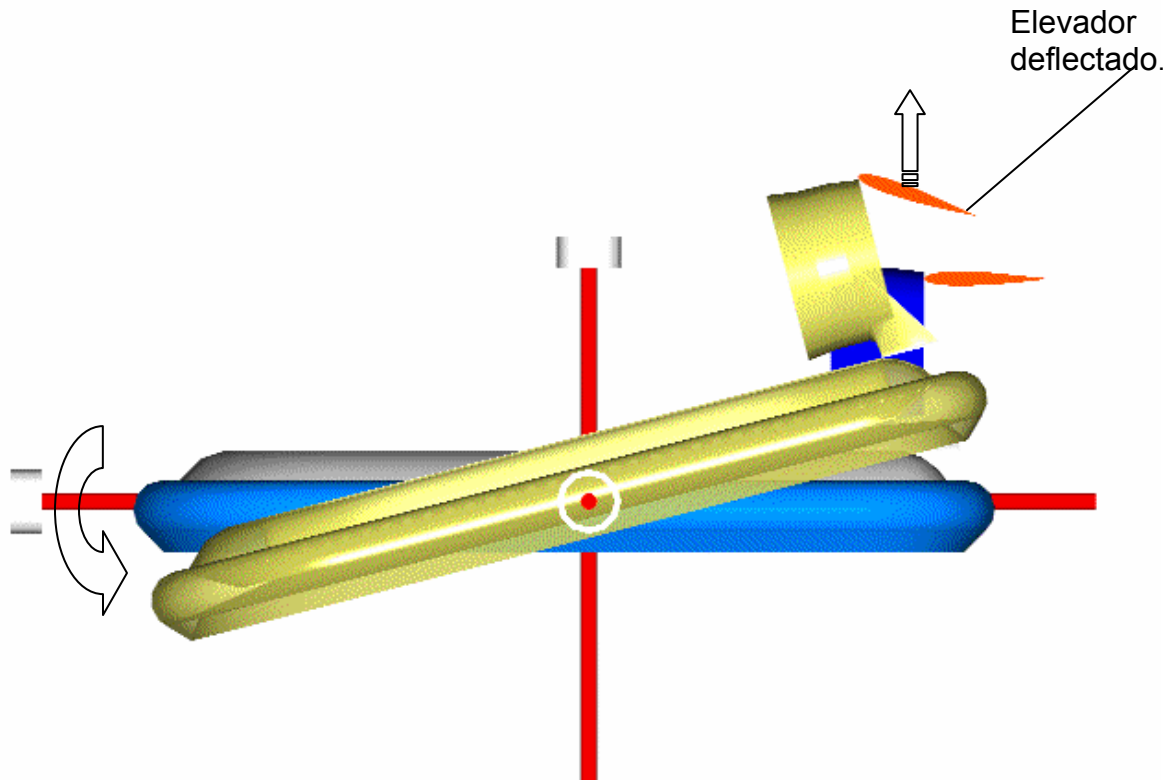


Figura 4.4. Cabeceo

4.2 Dispositivos de Control.

A continuación se explican y ejemplifican diversos dispositivos de control utilizados en los vehículos de colchón de aire, los cuales influyen directamente sobre la precisión de la maniobrabilidad dependiendo del tipo, número, dimensión y ubicación del(os) dispositivo(s) con que esté provisto el vehículo.

Timón de dirección.

Brinda control direccional en el vehículo, es decir, se utiliza para producir momentos de guiñada; estos timones tienen dos limitantes, ya que son poco

eficientes a bajas velocidades y altos ángulos de ataque.



Figura 4.5 El vehículo VA 3 ejemplifica el uso de estos timones como medio de control. Tomada con fines didácticos. [ref¹.]

Timón de dirección bañado por la estela de la hélice.

Este fue un sistema desarrollado por la BHC (British Hovercraft Corporation) en la década de los sesentas. Esta superficie de control se instala en la proximidad de la descarga de aire generada por la hélice propulsora, incrementando la efectividad del timón vertical especialmente a bajas velocidades del vehículo.

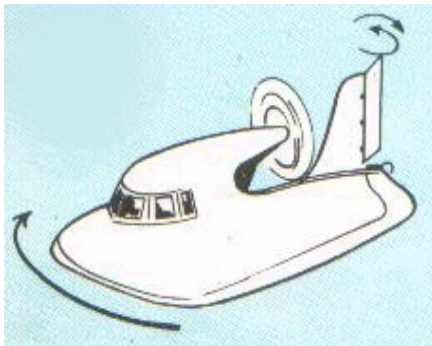


Figura 4.6 Esquema de un vehículo de colchón de aire con timón direccional bañado por la estela de la hélice. Tomada con fines didácticos. [ref.².]



Figura 4.7 Vehículo de colchón de aire el cual está provisto de este tipo de timones de dirección. Tomada con fines didácticos.[ref.³.]

Elevadores.

Estas superficies de control están diseñadas para regular la actitud longitudinal dinámica del vehículo, puesto que producen momentos de cabeceo. Es conveniente montar este tipo de superficies de control, ya que es una forma rápida de ajuste de la actitud longitudinal para diferentes condiciones de carga en el vehículo.



Figura 4.8. Vehículo de colchón de aire SR.N6 el cual tiene un par de elevadores.
Tomada con fines didácticos. [ref.⁴]

Timones retráctiles acuáticos.

Este dispositivo es conveniente para dirigir el vehículo a altas velocidades; como su nombre lo dice son retráctiles y operan exclusivamente cuando el vehículo de colchón de aire se encuentra desplazándose sobre agua. Al sumergir una de estas superficies (del par con que debe contar el vehículo como mínimo) se genera una fuerza de resistencia al avance que multiplicada por el brazo de palanca respecto del centro de gravedad ayuda a que se produzca la guiñada.

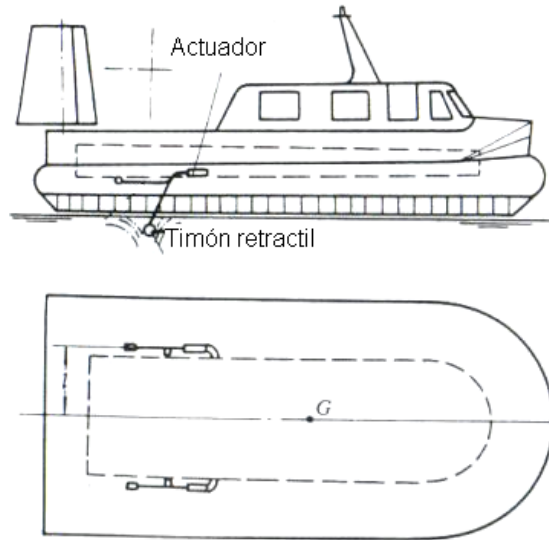


Imagen 4.9. Esquema de timones retráctiles acuáticos en un vehículo de colchón de aire. Tomada con fines didácticos. [ref.⁵]

Diferencia de tracción.

La instalación de un dispositivo capaz de reducir o aumentar las revoluciones por minuto de una hélice respecto de otra, puede ser aplicado a los vehículos de colchón de aire para generar una guiñada. Este método es muy conveniente para las veces en que se opera a bajas velocidades.



Figura 4.10. Ejemplo de un vehículo de colchón de aire (C. C. 2) que utiliza la diferencia de tracción como medio de control. Tomada con fines didácticos. [ref.²]

Hélices de paso variable.

Las piezas de este dispositivo son complejas y costosas, es por eso que usualmente son utilizadas solo en vehículos de colchón de aire de medianas y grandes dimensiones. Como su nombre lo dice, las palas de la hélice pueden presentar diversos ángulos al viento relativo, variando la magnitud de la tracción e inclusive en algunos casos el sentido de ésta.

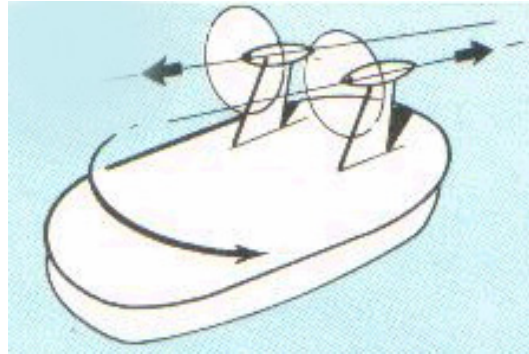


Figura 4.11. Esquema de hélices de paso variable montadas en un vehículo de colchón de aire.
Tomada con fines didácticos. [ref.²]



Figura 4.12. Hélice de paso variable en el vehículo LCAC-91.
Tomada con fines didácticos. [ref.⁶]

Postes giratorios.

Las hélices se encuentran montadas sobre estos postes, los cuales son capaces de girar sobre su propio eje mediante actuadores.

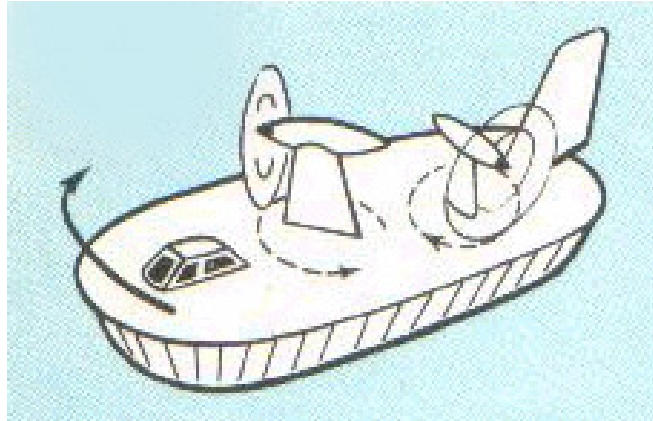


Figura 4.13 Esquema de un vehículo dotado con postes giratorios.
Tomada con fines didácticos. [ref.²]



Figura. 4.14. El SR.N4 es un ejemplo de la aplicación de estos dispositivos.
Tomada con fines didácticos. [ref.⁷]

Esto crea la posibilidad de que un conjunto de hélices puedan girar de forma sincronizada y lograr direccionar su vector de tracción a un mismo rumbo y así mantener el curso original del vehículo cuando este sea desviado por la existencia de un viento lateral o una corriente que esté arrastrando al vehículo (Figura 4.15 (a)).

Este dispositivo también es muy útil cuando se desea realizar un viraje ya que si el vehículo cuenta con 2 pares de postes (2 postes delanteros y 2 postes traseros), al girar los dos postes delanteros ciertos grados, y los 2 postes traseros el mismo número de grados pero en dirección inversa, se incrementará la velocidad angular de guiñada que, en combinación con timones direccionales, reducirán el radio de giro para realizar el viraje (figura 4.15 (b)). [ref³]

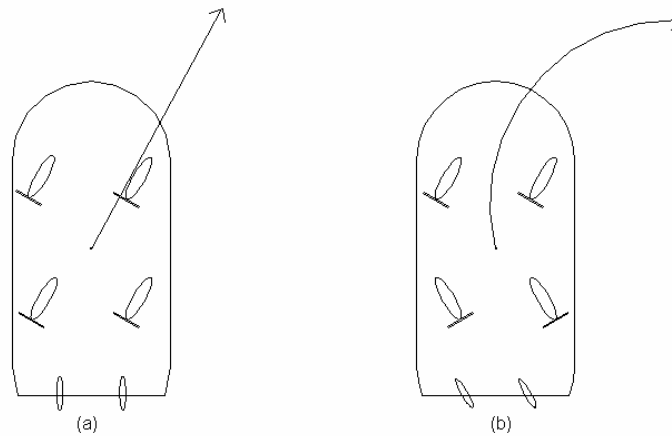


Figura 4.15. Esquema de un Vehículo de colchón de aire con 2 pares de postes giratorios.

Toberas rotativas de empuje.

Utilizan aire a presión suministrado por ventiladores centrífugos el cual es expulsado por las toberas rotativas. El rendimiento de empuje de las toberas es bajo, pero provee de una buena maniobrabilidad en baja y alta velocidad en operaciones coordinadas con otros dispositivos, además de mejorar el movimiento de cabeceo y guiñada.

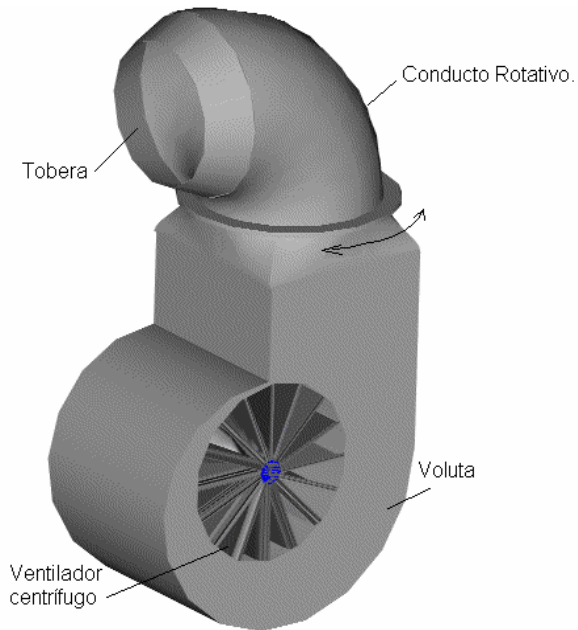


Figura 4.16. Muestra una tobera rotativa de empuje.



Figura 4.17. Vehículo con Toberas rotativas. Tomada con fines didácticos. [ref.⁸]

Portillas soplantes.

El Principio de operación es el mismo que las toberas rotativas excepto que el aire presurizado es tomado directamente de los costados de la carcasa del vehículo,

esto es utilizado solamente para incrementar la velocidad de giro a bajas velocidades. El mérito de las portillas soplantes es su simplicidad y bajo costo.

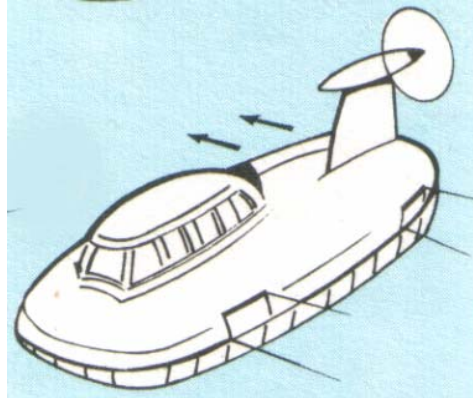


Figura 4.18. Esquema de portillas soplantes en un vehículo de colchón de aire. Tomada con fines didácticos. [ref.²]

4.3 Cálculo de la magnitud máxima de la fuerza en los timones direccionales.

En el presente proyecto, por factibilidad, el dispositivo de control direccional a utilizar es un par de timones direccionales bañados por la estela de la hélice situados como se muestra en la figura (4.19), estimando que se utilice un perfil aerodinámico NACA 0012 para ésta geometría.

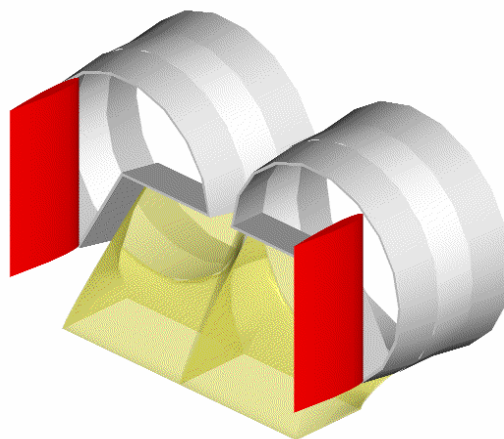


Figura 4.19. Posición de los timones direccionales.

Con la finalidad de saber la magnitud de la fuerza que generarán estas superficies de control para producir la guiñada, se hace uso del método Anderson de uso común en ingeniería aeronáutica.

Las características de ambos timones son:

Alargamiento = 2
 Conicidad = 1
 Envergadura = 0.8 m.
 Utilizando el Perfil NACA 0012

Siguiendo la metodología [ref²] es posible conocer el coeficiente máximo de levantamiento de la superficie de control.

Cl vs estación de la semienvergadura

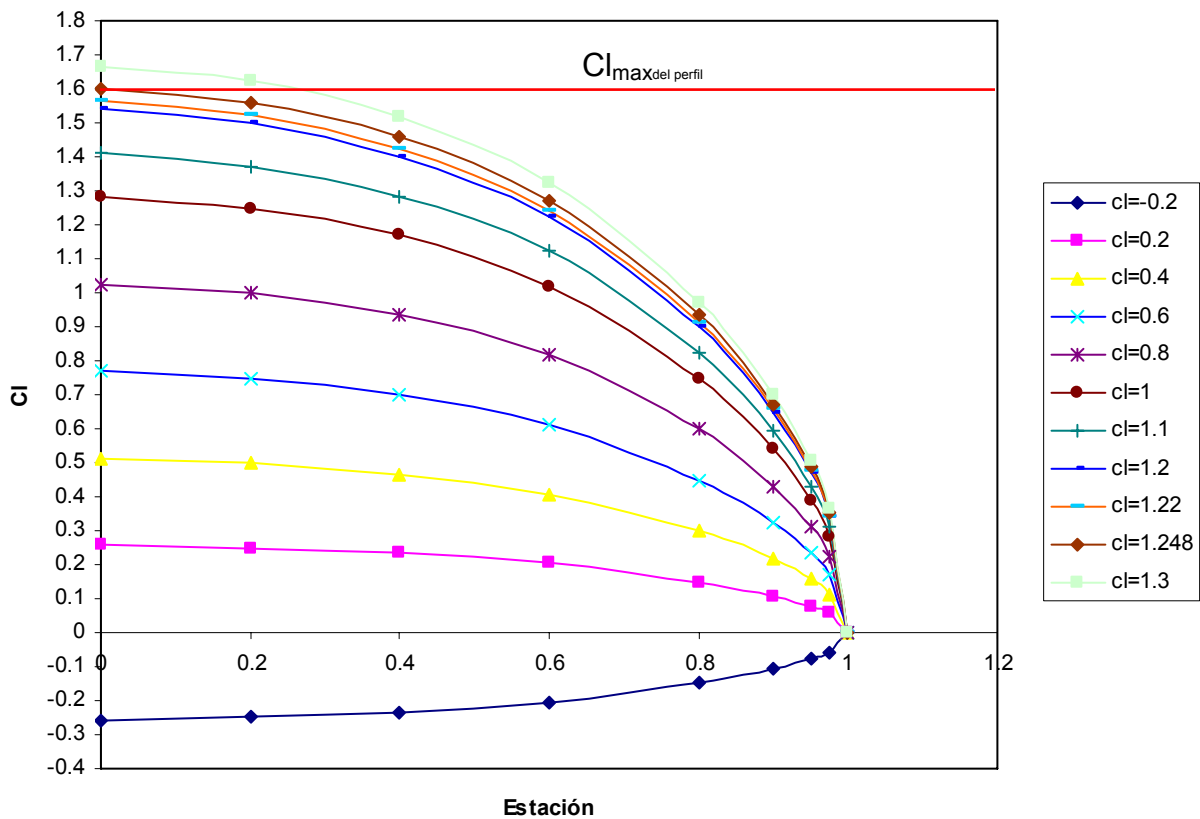


Figura 4.20. Gráfica: Distribución de los Coeficientes de levantamiento a lo largo de la semienvergadura.

La curva que es tangente al valor del CL_{max} del perfil es la que posee un $CL = 1.24$
 Ahora es posible trazar la Gráfica de sustentación del timón direccional.

Sustentación del Timón direccional.

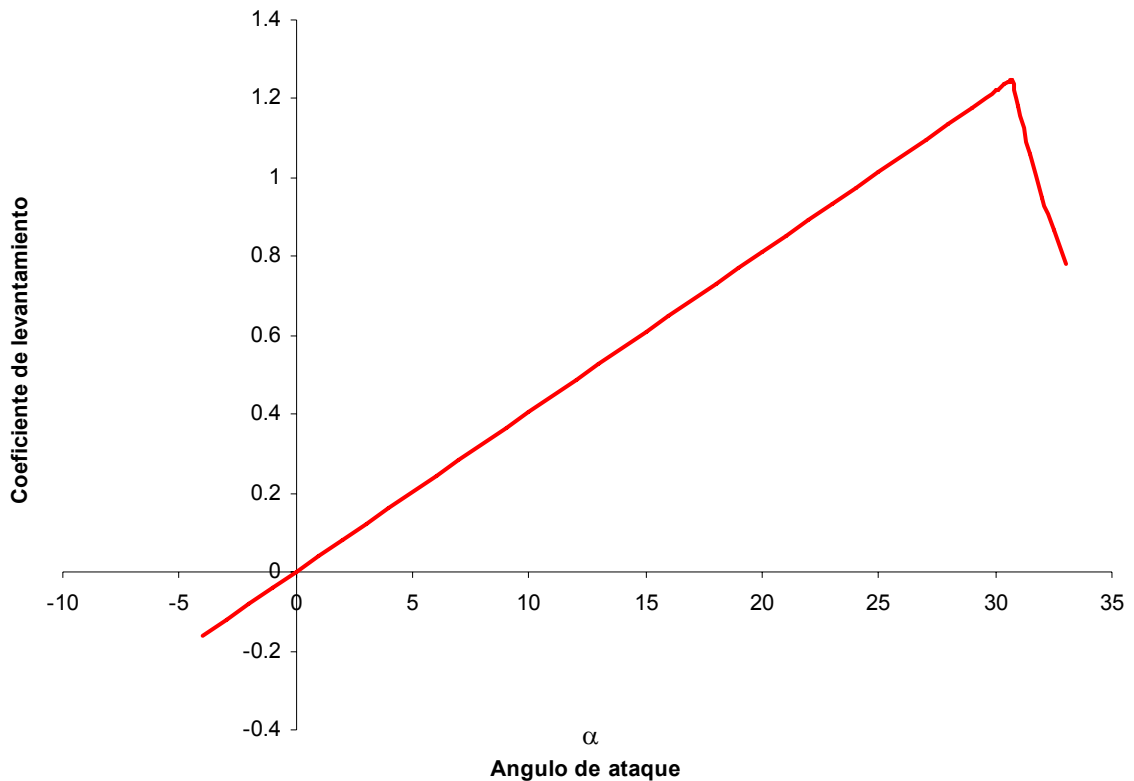


Figura 4.21 Polar del timón de dirección

Con la gráfica anterior es posible conocer el coeficiente de levantamiento entregado para cada ángulo de ataque, por lo que se determina la fuerza en diversas actitudes del timón de dirección.

α	Cl	Fza. R. (N)	Momento (N-m), un solo timón	Momento (N-m), ambos timones
0	0	0	0	0
5	0.2033	18.2455193	36.4910	72.9820
10	0.4066	36.4910386	72.9820	145.9641
15	0.6100	54.7365579	109.4731	218.9462
20	0.8133	72.9820772	145.9641	291.9283
25	1.0167	91.2275965	182.4551	364.9103
30	1.2200	109.473116	218.9462	437.8924

Nota: La distancia considerada como brazo de palanca para obtener los momentos, es la existente entre el centro de gravedad del aparato y el centro aerodinámico del timón de dirección, y tiene un valor de 2m.

Referencias capítulo 4

Referencias bibliográficas.

1. **G.H. ELSLEY & A.J. DEVEREUX.** Hovercraft Design and construction. Ed. David & Charles Newton Abbot, Great Britain, 1968, 262pp.
2. **RODRÍGUEZ IBARRA FAUSTO H.** Método para la obtención de la gráfica polar de un avión. Publicación L.A.
3. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT,** Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

Referencias de imágenes

1. <http://www.mikekemble.com/mside/images/va3w.jpg>
2. **WILLIAM T. GUNSTON,** Hydrofoils and Hovercraft, Ed. Doubleday and Company Inc. Estados Unidos de Norteamérica, 1970, 192 pp.
3. <http://www.asieuropeltd.com/images/photo4.jpg>
4. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn6-5mus5.jpg>
5. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT,** Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.
6. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/images/lcac-rampwrk4.jpg>
7. <http://www.hoverwork.com/content/srn4.JPG>
8. <http://www.hoverwork.com/content/ice1.jpg>

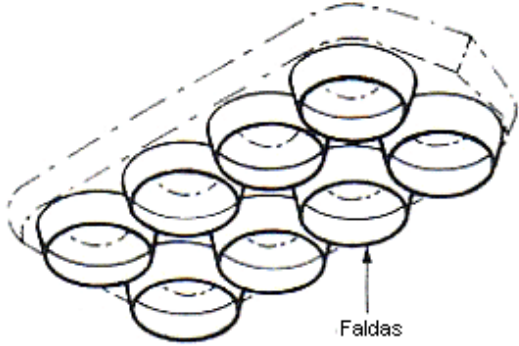
FALDÓN.

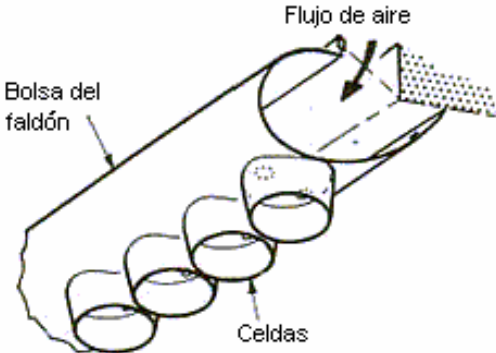
Un espacio que contiene una masa de aire bajo presión se denomina “colchón de aire”, situado por debajo de un vehículo u objeto a ser movido. Este aire debe ser constantemente suministrado mediante una fuente que le proporcione a dicha masa de aire la energía necesaria para mantener la presión, a través, por ejemplo, de un ventilador, ya que existen pérdidas en la periferia del vehículo.

La cantidad de flujo de aire requerido en dicho colchón es directamente proporcional a la longitud perimetral del vehículo y la altura del faldón; una forma de reducir la cantidad de flujo y potencia que demanda el vehículo para mantenerse operando (levitando) es mediante un faldón flexible. Este permite una altura de levitación razonable con pocos centímetros de claro de escape, que quiere decir altura entre el piso y la parte mas baja del vehículo, al ser menor esta altura, por consiguiente se obtiene con ello una menor fuga de ese flujo de aire.

5.1. Tipos de Faldón.

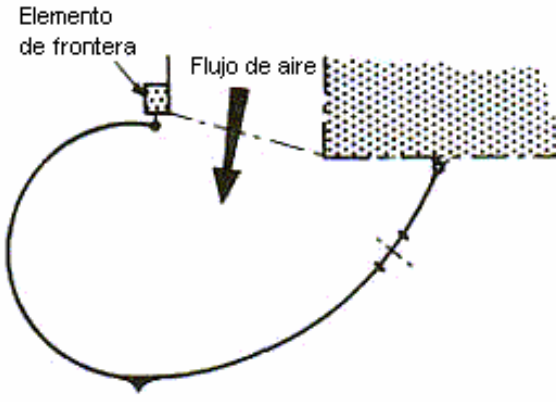
A continuación se muestran algunos esquemas de faldones utilizados en diferentes tipos de vehículos de colchón de aire.

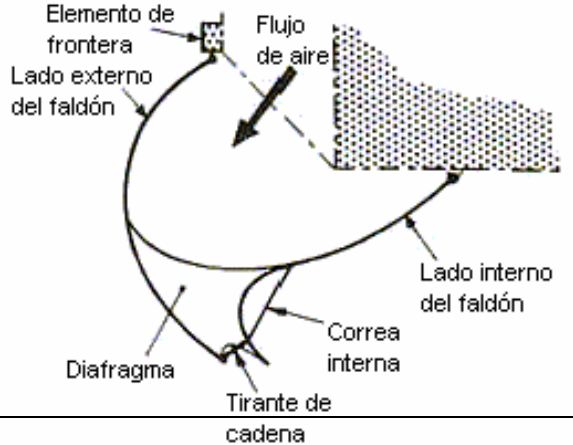
Faldón tipo:	Bertin	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • Sedam N.101 • Sedam N.102 • Sedam N.300 • Sedam N.500 • Be11 Carabao • Aerojet Manta 	
		<p>Figura 5.1 (a) Tomada con fines didácticos. [ref. ¹]</p>

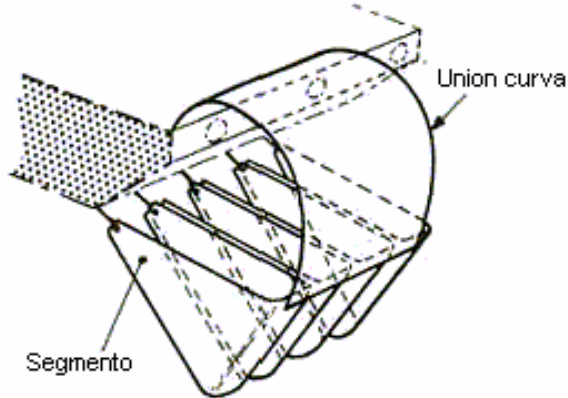
Faldón tipo:	Celda Periférica	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • Sedam N.101 	
		<p>Figura 5.1 (b) Tomada con fines didácticos. [ref. ¹]</p>

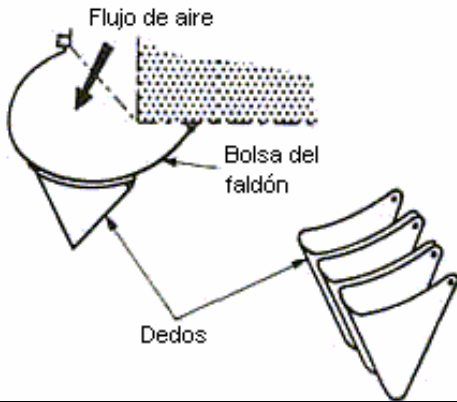
Faldón tipo:	Truncado	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • SR.N1 • SR.N2 	
		<p>Figura 5.1 (c) Tomada con fines didácticos. [ref. 1]</p>

Faldón tipo:	Enrollado	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • Vickers 	
		<p>Figura 5.1 (d) Tomada con fines didácticos. [ref. 1]</p>

Faldón tipo:	Bolsa	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • Aerodeslizadores de alta velocidad 	
		<p>Figura 5.1 (e) Tomada con fines didácticos. [ref. ¹]</p>

Faldón tipo:	Corriente de chorro	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • SR.N2 • SR.N3 • SR.N5 • SR.N6 	
		<p>Figura 5.1 (f) Tomada con fines didácticos. [ref. ¹]</p>

Faldón tipo:	Segmentado	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • HD2 • VT1 • EM2 	
		<p>Figura 5.1 (g) Tomada con fines didácticos. [ref. 1]</p>

Faldón tipo:	Bolsa y dedos	
Utilizado en:	<ul style="list-style-type: none"> • SR.N3 • SR.N4 • SR.N4 Mk.2 • SR.N5s • SR.N6s • BH.7 	
		<p>Figura 5.1 (g) Tomada con fines didácticos. [ref. 1]</p>

5.2. Descripción del faldón a emplear.

El faldón tipo bolsa y dedos, esta compuesto por una sección llamada bolsa y segmentos de faldón también llamados comúnmente “dedos”, capaces de moverse hacia arriba y hacia abajo independientemente. El uso de este tipo de faldón proporciona un desplazamiento sin grandes perturbaciones al presentarse irregularidades en el terreno, otra ventaja es que al tener una menor superficie de contacto, esto debido a que en la base del faldón se trata de segmentos (dedos), solo tienen contacto con el terreno las puntas de estos mismos, ayudando a disminuir la resistencia al avance del vehículo.

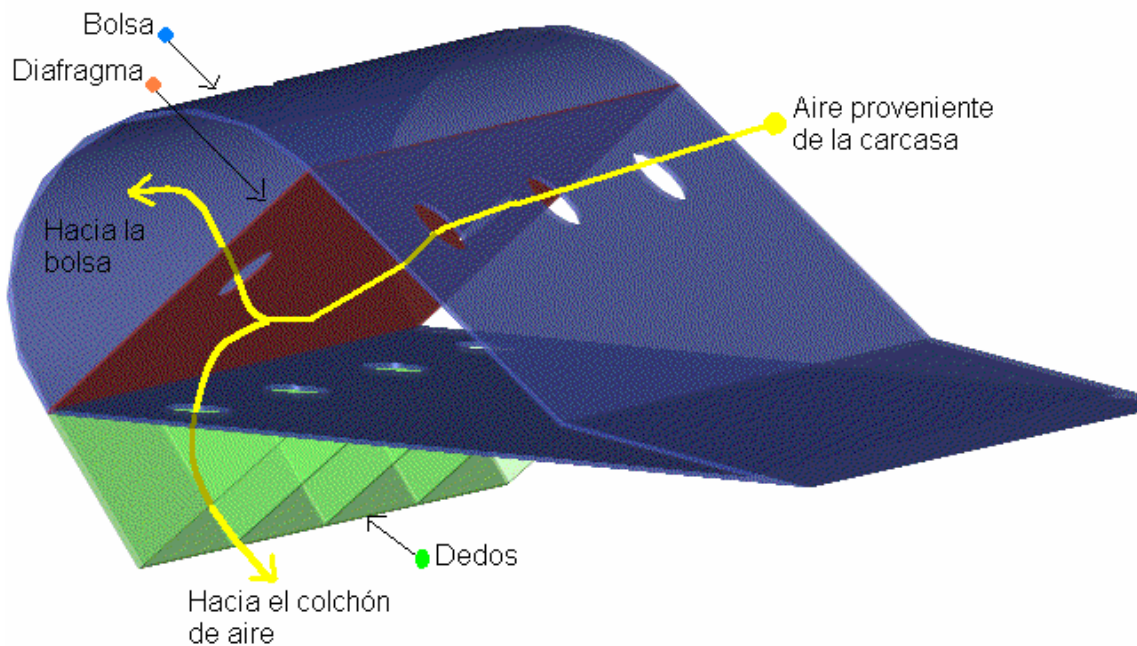


Figura 5.2. Sección de faldón bolsa con dedos.

Este faldón es relativamente simple de diseñar y construir, y de ser necesaria una reparación los segmentos del faldón pueden ser sustituidos de una forma rápida y fácil.

5.3. Materiales propuestos para la construcción del faldón.

El material más comúnmente utilizado por los constructores de hovercraft son el nylon recubierto con poliuretano ó neopreno, caucho, tela polipropileno reforzada, etc.

Sin embargo, se pueden utilizar otros materiales que cumplan con las características de impermeabilidad, buena resistencia a esfuerzos mecánicos, baja densidad del material y buena flexibilidad.

5.4. Combinación de faldones.

Se puede dar el caso de mezclar diferentes configuraciones de faldones en un mismo vehículo con la finalidad de aplicar mejor las cualidades que ofrecen las distintas configuraciones según convenga. Un claro ejemplo de ello es lo que ideó la Sociedad de Estudios y Desarrollo de los Aerodeslizadores Marinos, también conocida por sus siglas en francés SEDAM, mejorando el sistema del faldón Bertin al envolver un conjunto de faldas elementales mediante una falda perimetral, esta falda periférica es ligeramente más alta que las faldas elementales que envuelve y esta es alimentada por el aire que escapa de la base de faldas interiores.

Este sistema es conocido como faldón de tipo multi-faldas con una falda periférica.



Figura 5.3. Conjunto de 8 faldas elementales envueltas por una falda periférica (a). Modelo provisto de un sistema multi-faldas y provisto de una falda periférica (b).

Tomada con fines didácticos. [ref.²]

Las Ventajas que ofrece esta disposición son las siguientes:

- Aumenta la superficie del colchón.
- Limita mejor su perímetro de escape.
- Ofrece seguridad suplementaria en caso de desgarramiento de una falda interna, y limita la fuga producida.

A continuación se muestra la configuración del faldón del hovercraft BH.7.

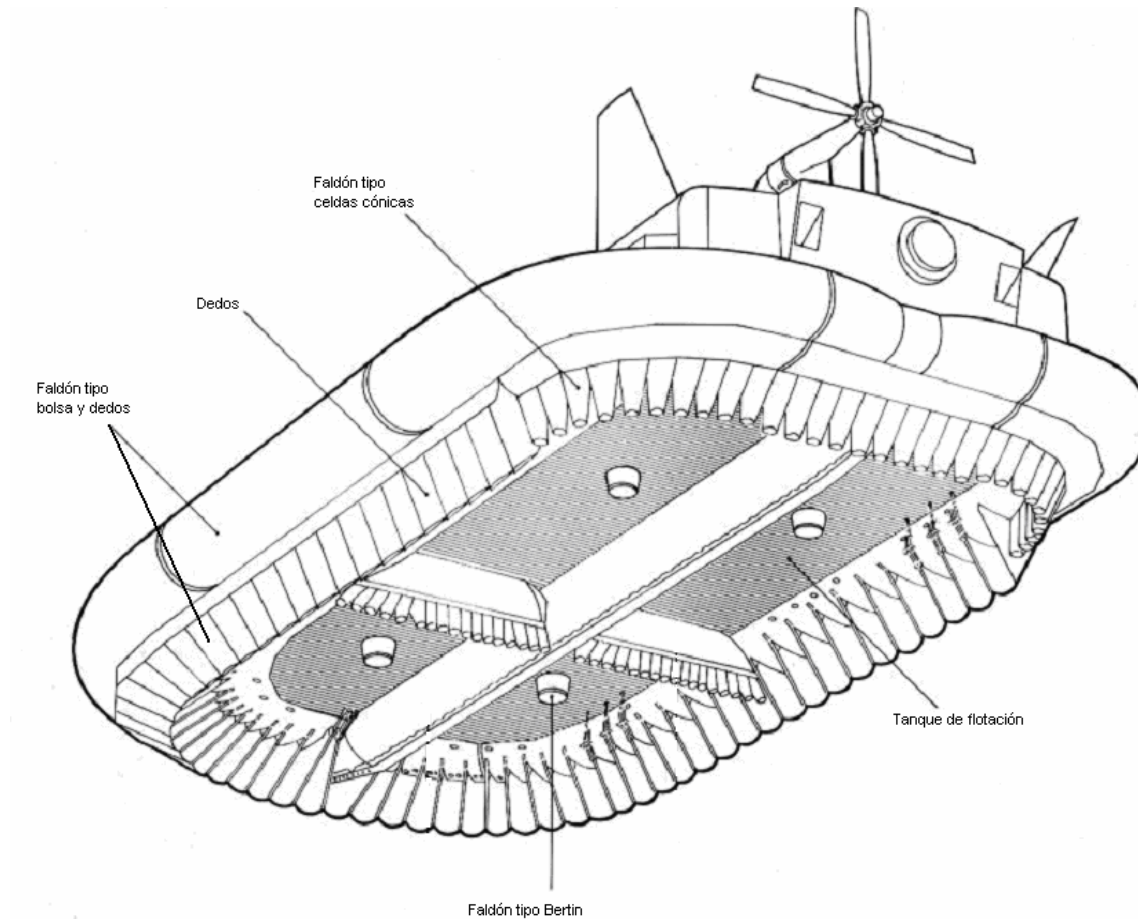


Figura 5.4. Faldón conformado por distintas secciones de faldones. Tomada con fines didácticos. [ref.³]

5.5. Determinación de las dimensiones del faldón.

Para poder determinar las dimensiones del diseño se requiere de varias relaciones que a continuación se mencionan. [ref.¹]

$$\frac{Z_h}{X_h} = 0.15 \rightarrow 1.0$$

$$\frac{L_j}{X_h} = 1.75 \rightarrow 3.5$$

$$\frac{h_f}{h_{Sk}} = 0.5 \rightarrow 0.85$$

Donde:

Z_h = Distancia vertical entre los puntos de sujeción de la bolsa con respecto al carcasa del prototipo. (m).

X_h = Distancia Horizontal entre los puntos de sujeción de la bolsa con respecto al carcasa del prototipo. (m).

L_j = perímetro del perfil que describe la bolsa en un corte transversal. (m).

h_f = Altura del segmento. (m).

h_{sk} = Altura del faldón. (m).

A continuación se muestran las literales en un corte transversal del faldón:

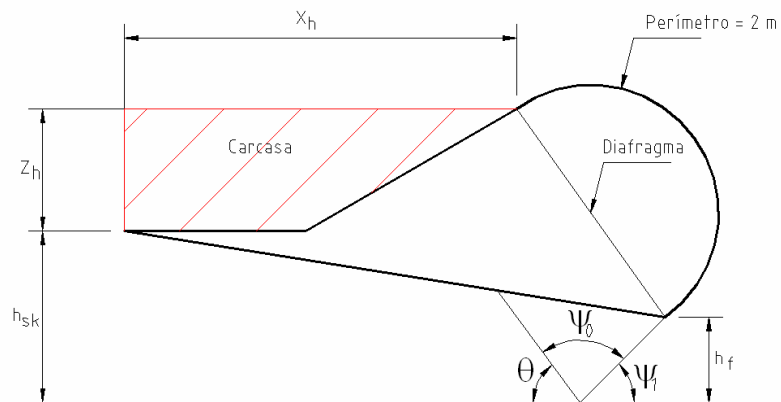


Figura 5.5 Corte transversal del faldón.

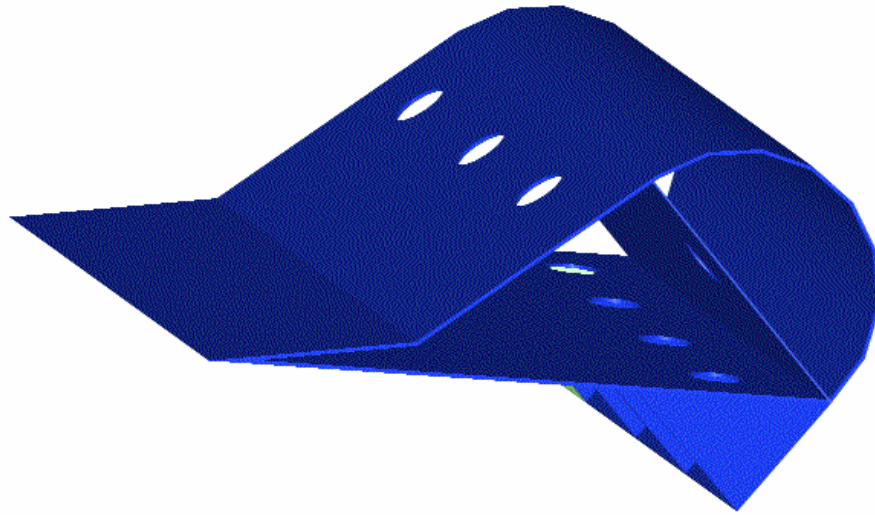


Figura 5.6 Sección de faldón (isométrico).

Para la siguiente relación es conveniente utilizar el valor más alto del límite [ref¹], pero se delibera que para este caso, tomar un valor intermedio entre los límites, ya que favorece en valor a las demás relaciones posteriormente.

$$\frac{Z_h}{X_h} = \frac{0.1774 \text{ m}}{0.5714 \text{ m}} = 0.3104$$

Para la siguiente relación siempre se prefiere el valor mas alto cuando se trata de una relación baja de presiones.

$$\left(\frac{P_t}{P_c} = 1.2215 \right)$$

Donde:

P_c = Presión del colchón

P_t = Presión total.

$$\frac{L_j}{X_h} = \frac{2 \text{ m}}{0.5714 \text{ m}} = 3.5$$

Características de la altura del segmento:

- Mayor altura del segmento tiene un mejor desempeño en el libramiento de obstáculos.
- Menor altura del segmento reduce la capacidad de libramiento de obstáculos.

Relación de altitudes:

$$\frac{h_f}{h_{Sk}} = \frac{0.125 \text{ m}}{0.25 \text{ m}} = 0.5$$

El valor obtenido está dentro del rango y además confirma su estabilidad.

Las dimensiones que mejor se ajustan a las relaciones anteriormente mencionadas son mostradas en el siguiente esquema.

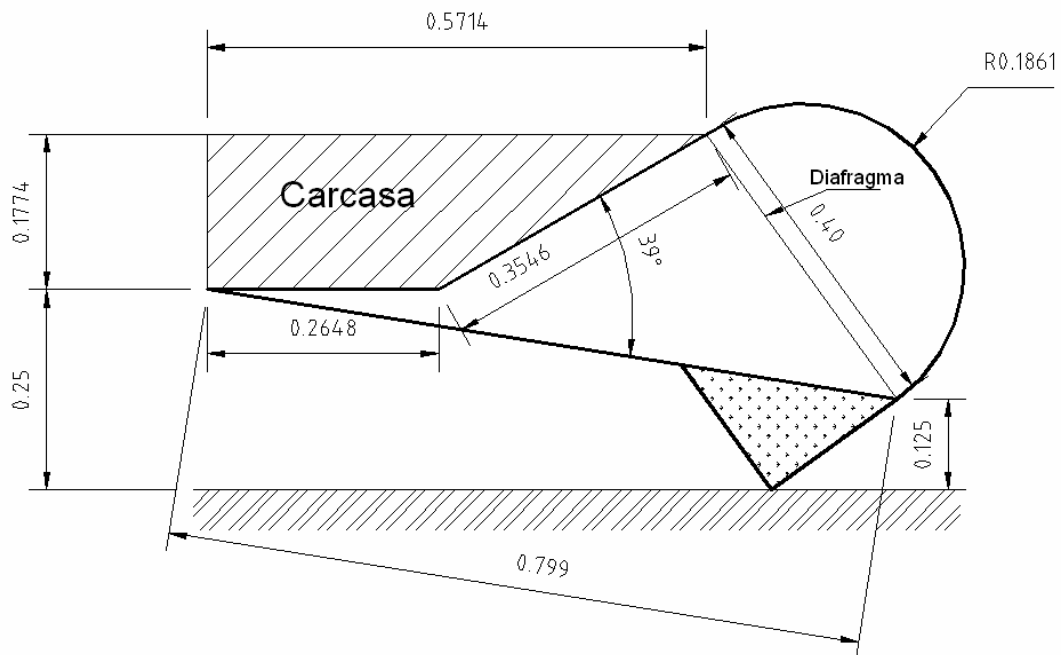


Figura 5.7 Dimensionado en corte transversal del Faldón.
Acot.: m

El diafragma brinda ventajas al faldón como una tensión uniforme en la bolsa, y ayuda a mantener la geometría del mismo, además de que realiza la función de una especie de acumulador neumático, es decir en el caso de que se presente una fuga repentina de aire en el colchón, este diafragma compensa esa pérdida mediante el aire que estaba previamente contenido en la bolsa del faldón.

Ángulo de inclinación interno. (ψ_0).

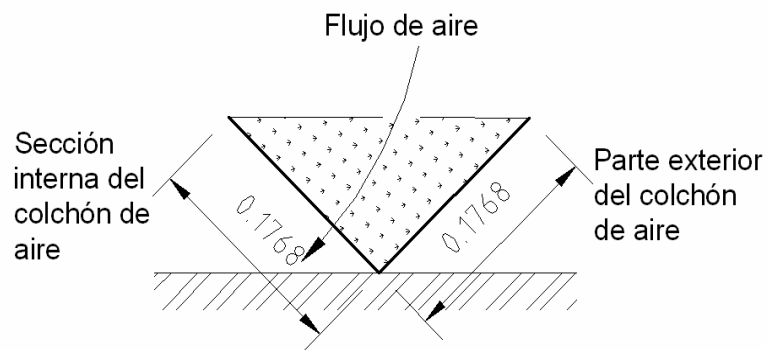
Un valor muy pequeño de (ψ_0) causa deformación (pliegue, corrugado, etc.) de los segmentos en la parte delantera del borde del segmento, pero un valor muy alto causará el uso de mucho material, y por lo tanto aumento de peso. En general $\psi_0 \geq 90^\circ$. Para el prototipo se toma un valor de $\psi_0 = 90^\circ$.

Ángulo de inclinación de los segmentos. (ψ_1).

Un valor pequeño del ángulo proporciona menor resistencia al avance, pero si es excesivamente pequeño causará una disminución en el área del colchón.

En general se toman valores de ψ_1 $40^\circ \rightarrow 50^\circ$.

Puesto que el valor de este ángulo esta interrelacionado tanto de θ (ángulo de descarga del aire = 45°) como de ψ_0 (ángulo de inclinación interno = 90°). Para este caso se considera un valor de $\psi_1 = 45^\circ$. Puesto que con fines prácticos el terreno forma un plano horizontal, la suma de estos 3 ángulos antes mencionados deberá dar como resultado 180° .



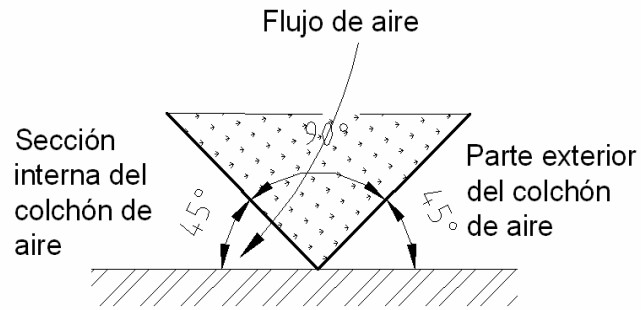


Figura 5.8 Corte transversal de un segmento de faldón indicando dimensiones.
Acot.: m

Referencias capítulo 5

Referencias Bibliográficas.

1. LIAN YUNG & ALAN BLIAULT, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

Referencias de imágenes.

1. http://www.australianhovercraft.com/design_skirts.htm
2. <http://aernav.free.fr/Naviplane/N300/EvolutionJupes/EvolutionJupes.html>
3. <http://www.hovercraft-museum.org/images/bh7tech13.jpg>

FLOTACIÓN.

Un aerodeslizador es un vehículo anfibia, por lo que debe contar con la capacidad de flotar, bajo el supuesto de que se llegase a presentar un paro de motor cuando el vehículo se desplace sobre agua, evite el hundimiento.

La ley de flotación, conocida como principio de Arquímedes, este principio afirma lo siguiente: existe una fuerza de flotación sobre un objeto igual al peso del líquido desalojado. [ref¹]

$$E = \gamma * \forall \quad (6.1)$$

Donde:

E = Fuerza de flotación. (N)

γ = Peso específico del líquido en el que se sumerge el objeto. $\left(\frac{N}{m^3} \right)$

\forall = Volumen desalojado por el cuerpo sumergido. (m³)

6.1 Determinación de las características geométricas de los volúmenes de flotación.

Primeramente se determina el área de una elipse, ya que por su geometría, brinda continuidad en la sección del canal interno, además de brindar un efecto de tipo venturi al observar la vista en planta de la figura 6.1 (b) por medio de la siguiente formula:

$$A = \pi ab$$

Donde:

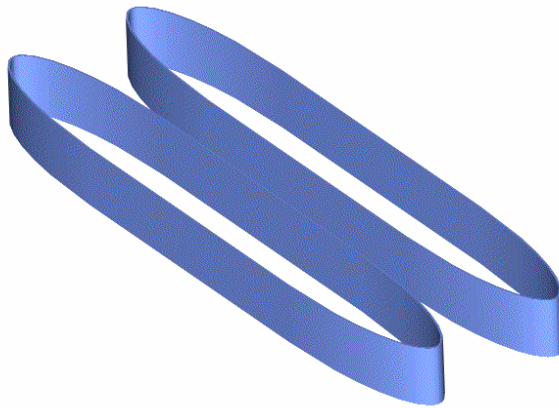
a = Semieje mayor

b = Semieje menor

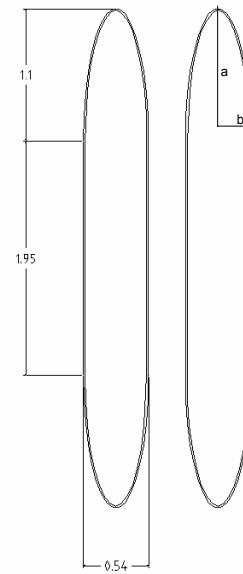
Al sustituir valores, tenemos que:

$$A = \pi(1.1\text{m})(0.27\text{m})$$

$$A = 0.9330\text{m}^2$$



(a)



(b)

Figura 6.1. Muestra los volúmenes de flotación en isométrico (a), y acotamiento de los volúmenes de flotación (b). Acot.: m.

Se determina el área del rectángulo intermedio entre las dos semi-elipses:

$$A = b * h$$

$$A = (0.54\text{m})(1.95\text{m})$$

$$A = 1.053\text{m}^2$$

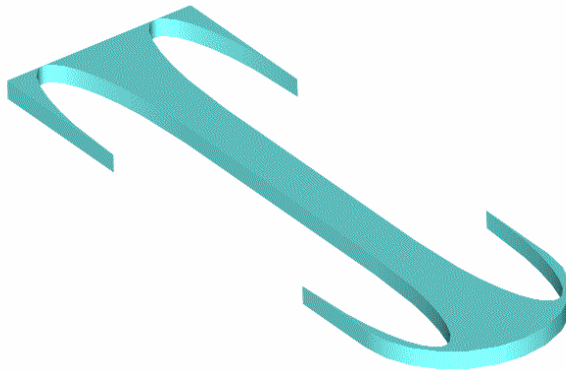
Al sumar las dos áreas anteriores, se multiplican por su profundidad para obtener el volumen de esa figura, teniendo en cuenta que se trata de dos figuras idénticas, posteriormente se multiplica ese volumen por 2:

$$A_{\text{fig.1}} = 0.9330\text{m}^2 + 1.053\text{m}^2 = 1.986\text{m}^2$$

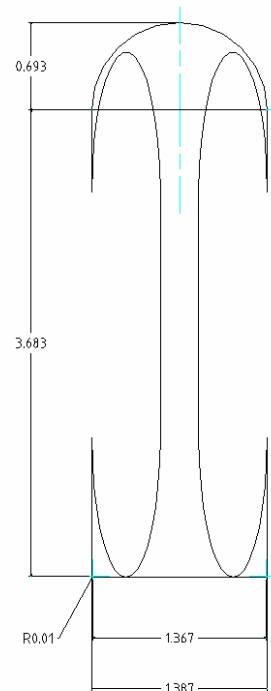
$$V_{\text{fig.1}} = (1.986\text{m}^2)(0.4\text{m}) = 0.7944\text{m}^3$$

$$V_{\text{fig.1}} * (2) = 1.5888\text{m}^3$$

Posteriormente, se determina el volumen de la espuma que rodea los volúmenes antes mencionados.



(a)



(b)

Figura 6.2. Muestra el volumen correspondiente a la espuma de poliestireno (a), así como el acotamiento del volumen de la espuma de poliestireno (b).
Acot.: m.

Seccionamos la pieza en un medio de círculo, un rectángulo y la parte inferior en un rectángulo con dos de sus esquinas redondeadas. Finalmente al área de éste, se le resta el área de la sección anterior, para después obtener el volumen de la figura 6.2 (b).

El área del semicírculo es:

$$A = \frac{\pi r^2}{2}$$
$$A_{\text{semicírculo}} = \frac{\pi(0.693\text{m})^2}{2} = 0.7543\text{m}^2$$

El área del rectángulo:

$$A_{\text{rectángulo}} = b * h$$
$$A_{\text{rectángulo}} = (1.387\text{m})(3.683\text{m}) = 5.1083\text{m}^2$$

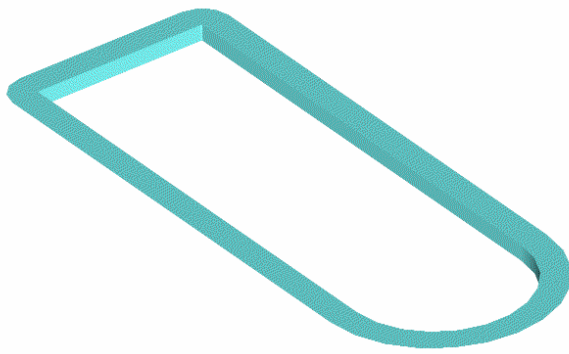
El área inferior de la sección 2:

$$A_{\text{parte inferior}} = \left[\frac{\pi r^2}{4} \right] (2) + [b * h]$$
$$A_{\text{parte inferior}} = \left[\frac{\pi(0.01\text{m})^2}{4} \right] (2) + [1.367\text{m} * 0.01\text{m}]$$
$$A_{\text{parte inferior}} = 1.3671\text{m}^2$$

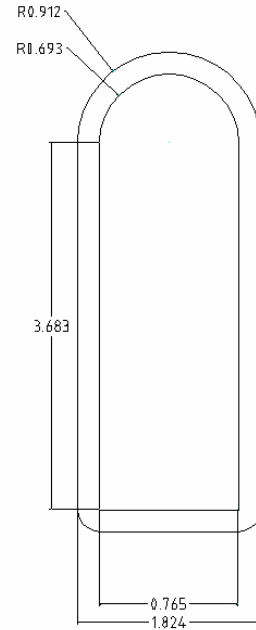
Se calcula el área de la figura 6.2, que al multiplicarla por la profundidad se obtiene el volumen de la misma.

$$A_t = A_{\text{semicírculo}} + A_{\text{rectángulo}} + A_{\text{parte inferior}} = 7.9841\text{m}^2$$
$$A_t - 2(A_{\text{fig1}}) = 7.9841\text{m}^2 - 3.972\text{m}^2 = 4.0121\text{m}^2$$
$$A_{\text{fig2}} = 4.0121\text{m}^2$$
$$V_{\text{fig2}} = A_{\text{fig2}} * \text{profundidad}$$
$$V_{\text{fig2}} = (4.0121\text{m}^2)(0.126\text{m}) = 0.5055\text{m}^3$$

Se determina el volumen correspondiente a la espuma de poliuretano, cuya sección transversal es un triángulo.



(a)



(b)

Figura 6.3. Muestra el volumen correspondiente a la espuma de poliuretano (a), Acotamiento del volumen de la espuma de poliuretano (b). Acot.: m.

Considerando que el área de la sección transversal es un triángulo rectángulo cuya base mide 0.219 m y de altura 0.126 m, se determina su área a continuación.

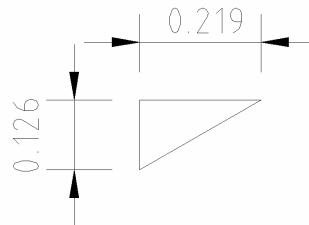


Figura 6.4 Sección transversal del volumen de la espuma de poliuretano. Acot : m.

$$A_{\text{triángulo}} = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{0.219\text{m} \cdot 0.126\text{m}}{2} = 0.0137\text{m}^2$$

Ahora esta área se multiplica por el perímetro de la figura 6.3 (b) y obtenemos el volumen de la figura 6.3 (a).

$$V_{\text{fig3}} = A_{\text{triángulo}} * \text{Perimetro}_{\text{fig2}}$$

$$V_{\text{fig3}} = 0.0137\text{m}^2 * 10.9415\text{m} = 0.1498\text{m}^3$$

Con la sumatoria de los volúmenes obtenemos la flotación que recibe el Aerodeslizador.

$$\Sigma V = V_{\text{fig1}} + V_{\text{fig2}} + V_{\text{fig3}}$$

$$\Sigma V = 1.5888\text{m}^3 + 0.5055\text{m}^3 + 0.1498\text{m}^3 = 2.24419\text{m}^3$$

6.2 Obtención de la fuerza de flotación.

Utilizando la ecuación 6.1 y sustituyendo valores obtenemos la fuerza de flotación.

$$E = \forall \gamma$$

$$E = 2.2441\text{m}^3 * 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = 22014.621\text{N} = 2244.1\text{Kg}_f$$

Éste resultado indica que el vehículo de colchón de aire no se hundirá.

Aunque realmente la fuerza de flotación, se ve ligeramente reducida debido a que tanto los volúmenes de espuma de poliuretano y el aire tienen un peso, por tal motivo se realiza a continuación las pertinentes correcciones para visualizar qué tanto se reduce la capacidad de flotabilidad del aparato.

Se calculan los pesos de las secciones destinadas a producir la fuerza de flotación.

$$W = \gamma \forall$$

Donde:

W = Peso de la sección (N)

γ = Peso específico $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right)$

\forall = Volumen (m^3)

En los volúmenes de flotación (figura 6.1) se considera que en su interior se encuentra aire tomando el peso específico del aire al nivel medio del mar atmósfera tipo.

$$W_{\text{Volumenes de F.}} = \left(12.017 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) (1.5888\text{m}^3) = 19.093 \text{ N.}$$

Para la sección 2 (figura 6.2) el peso específico de la espuma de poliestireno es de $78.48 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$.

$$W_{\text{seccion2}} = \left(78.48 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) (0.5055 \text{m}^3) = 39.671 \text{N}.$$

La espuma de poliuretano utilizada para hacer la sección de la figura (6.3) tiene un peso específico que oscila en un intervalo comprendido entre $196.2 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$ y $235.44 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$, se utilizara el de mayor valor en este caso, para garantizar la flotabilidad.

$$W_{\text{seccion3}} = \left(235.44 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) (0.1498 \text{m}^3) = 35.268 \text{N}$$

Sumatoria de los peso de las secciones

$$\Sigma W = 94.03 \text{N}$$

La capacidad real de flotación con la que cuenta el vehículo tiene un valor bastante similar al que se tenía en primera instancia, es decir:

$$E_{\text{real}} = 22014.621 \text{N} - 94.03 \text{N}$$

$$E_{\text{real}} = 21920.59 \text{N} \approx 2234.51 \text{Kg}_f$$

Referencias capítulo 6

Referencias Bibliográficas

1. **MERLE C. POTTER & DAVID C. WIGGERT**, Mecánica de Fluidos, Ed. Prentice Hall México, 1998, 711 pp.

CONSTRUCCION.

7.1 Parámetros de construcción.

Se deben considerar como parámetros de construcción:

- La selección del ventilador (o hélice), el cual debe asegurar el caudal requerido para el levantamiento del vehículo de colchón de aire.
- La selección del motor, el cual debe proporcionar la potencia suficiente para mover la unidad de desplazamiento (ventiladores o hélices).
- El tipo de materiales con el que se va a fabricar el prototipo, que en éste caso deben ser ligeros y resistentes.

Características del ventilador seleccionado.

Para este proyecto se han seleccionado un par de ventiladores de tipo axiales tubulares, modelo TAT-1000H, de aluminio fundido cuyos datos básicos son: potencia absorbida 5.5 Kw, velocidad angular 1400 RPM, caudal máximo 49000 m³/hr, y diámetro de 1 m. [ref.¹]



Imagen 7.1. Muestra el ventilador TAT-1000H alojado en la tobera.

Características técnicas del motor seleccionado.

Modelo: Command PRO CH730 25HP

Tipo de flecha del motor: Horizontal

Tipo y número de cilindros: En V, 2 cilindros.

Tipo de enfriamiento: Por aire.

Tipo de motor: De 4 ciclos, de gasolina, monobolck en aluminio.

Máxima potencia @3600 RPM	25 hp (18.6 Kw)
Volumen en la cámara de combustión	44 pulgadas cúbicas (725 centímetros cúbicos)
Diámetro interior del émbolo	3.27 pulgadas (0.83 m)
Desplazamiento, o carrera del émbolo	2.64 pulgadas (0.67 m)
Torque máximo @ 2800 rpm	39.9 lb-ft (54.1 Nm)
Peso seco del motor.	94 lb (43 kg)
Capacidad de aceite	2.0 galones (1.9 litros)
Dimensiones (Longitud x Ancho x Altura)	13.8 x 17.7 x 26.5 pulgadas. (0.35 x 0.45 x 0.67 m)

Tabla 7.1. Características técnicas del motor Command PRO CH730. Tomada con fines didácticos. [ref.²]



Imagen 7.2. Motor Kohler Command PRO CH730 25HP Tomada con fines didácticos. [ref.¹]

Al seleccionar una planta motriz es importante tomar en cuenta no solo la gráfica de rendimientos de la misma, (comúnmente el fabricante da a conocer la curva de potencia contra revoluciones por minuto ó par motor contra R.P.M.s), si no

también en qué condiciones fue generada esta curva, (que normalmente es a nivel medio del mar) ya que si la planta motriz va a operar en condiciones diferentes a éstas, la curva de rendimientos del motor se verá modificada, entregando una potencia afectada cuando se presenten casos en la que exista una disminución en la densidad de aire, como lo es el operar en una región cálida o con gran elevación en el terreno, como es el caso de la Ciudad de México. Además se debe tomar en cuenta de qué forma va a ser transmitida la potencia hacia los ventiladores, puesto que se presentarán pérdidas de la misma en los elementos de transmisión.

Cabe destacar que en el supuesto de que se deseé sobre revolucionar un ventilador para compensar pérdidas de presión y/o caudal en el sistema de conductos del vehículo, debido a cambios de sección, rugosidades, puntos de estancamiento, por mencionar algunas, la potencia exigida por éste será mayor y se tendrá que hacer uso de las leyes de los ventiladores, los cuales se describen a continuación.

Se les llama *Leyes de los ventiladores* a las relaciones entre las características de funcionamiento para un ventilador dado, trabajando en condiciones cambiadas, o para ventiladores de construcción similar de diversos tamaños. Estas relaciones son útiles para predecir el funcionamiento cuando las condiciones cambian, como lo es el caudal o las RPM's.

Leyes de los ventiladores:

$$N_2 = \frac{Q_2}{Q_1} N_1 \quad (1.a)$$

$$P_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 P_1 \quad (1.b)$$

$$P_{pot_2} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 P_{pot_1} \quad (1.c)$$

Donde:

N = Velocidad angular. (RPM)

Q = Caudal. $\left(\frac{\text{pies}^3}{\text{minuto}} \right)$

P = Presión. $\left(\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right)$

P_{pot} = Potencia al freno (Caballos de potencia).

A continuación se muestra un ejemplo en el cual se ilustra de qué manera aumenta la demanda de potencia de un ventilador cuando se desea un incremento en el caudal.

Un ventilador entrega 28,836 pies cúbicos de aire por minuto cuando trabaja a una velocidad de 1400 revoluciones por minuto; en estas condiciones requiere 7.5 caballos de potencia. Se desea aumentar el suministro de aire a 33,985 pies cúbicos por minuto.

Utilizando la ecuación 1.a y sustituyendo los valores:

$$N_2 = \left(\frac{33985 \frac{\text{pies}^3}{\text{min}}}{28836 \frac{\text{pies}^3}{\text{min}}} \right) (1400 \text{ RPM}) = 1650 \text{ RPM}$$

Ahora que se conoce la nueva velocidad angular, se sustituye en la ecuación 1.c para saber el nuevo valor de potencia que se requiere.

$$P_{\text{pot}_2} = \left(\frac{1650 \text{ RPM}}{1400 \text{ RPM}} \right)^3 (7.5 \text{ caballos de potencia}) = 12.27 \text{ Caballos de potencia}$$

Lo que se puede apreciar en el ejemplo anterior es que un aumento de un 15 % en el caudal, resultaría en un 81.8% de aumento en la potencia del motor. Tomando esto en consideración, el motor debe ser escogido con una potencia mayor a lo requerido, en caso de que surja un aumento en las revoluciones del ventilador en un futuro.

[ref.³].

7.2 Requerimientos de construcción.

Se determinan las características de los materiales que se utilizan para la construcción del vehículo de colchón de aire.

Fibra de vidrio.

A partir del vidrio es posible sacar fibras que pueden tejerse como fibras textiles, estirando el vidrio fundido hasta alcanzar fibras de diámetros inferiores a una centésima de milímetro. La fibra de vidrio mezclada con plástico logra unir las propiedades de los dos elementos (la solidez y estabilidad química del vidrio con la capacidad de absorber golpes del plástico); adicionalmente es un muy buen aislante eléctrico, se usa en tapicería (por ser resistente al fuego y al agua) por sus propiedades químicas. También se usa como recubrimiento de grandes espacios en los cuales se necesita la luz además de tener la capacidad de soportar la fuerzas climáticas, también se usa cuando se reciben fuertes impactos, como lo es en canchas de fútbol, canchas de squash u otro deporte en el que se impacten elementos contra una superficie que se quiere conservar lisa y resistente. También se emplea fibra de vidrio en la transmisión de señales mediante la fibra óptica.

Las ventajas más notables de la fibra de vidrio son: la ligereza, resistencia al impacto y durabilidad.

A lo largo de nuestra investigación se ha elegido la fibra de vidrio como un refuerzo estructural, ya que es adherente con resina (epóxica o poliéster), además de que se puede moldear, no almacena humedad, tiene baja conductividad térmica, es ligera y es resistente a la corrosión. [ref.⁴]

Tableros tipo panal de abeja (honeycomb).

Son tableros contruidos con celdas en forma de panal de abeja, es decir, de forma hexagonal; distribuye el peso o cargas aplicadas de forma uniforme. Además, sirven como refuerzo estructural debido a su gran resistencia comparada con su peso, siendo la alternativa ideal como relleno en nuestras superficies planas como son el piso de la carcasa y la parte superior.

El tablero tipo panal de abeja utilizado en el presente proyecto es de papel kraft, a él cual se le recubrió previamente a su colocación en el vehiculo, con resina epóxica, con el objeto de volverlo impermeable y más resistente.

El honeycomb tiene la ventaja de que puede ser cortado y manipulado para formar cualquier cavidad que permita mantener, fijar y rellenar cualquier área de trabajo, además de ser resistente y ligero. [ref.⁵]

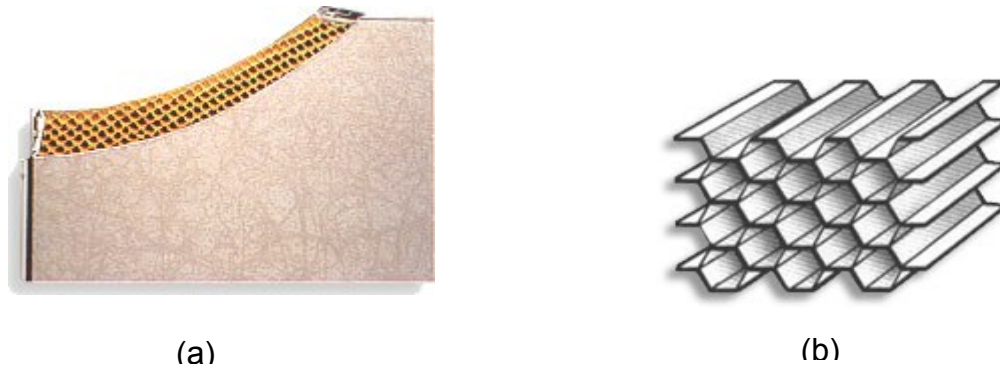


Imagen 7.3. Muestra del honeycomb (a) y estructura interna hexagonal (b). Tomada con fines didácticos. [ref.²]

Espuma de poliuretano.

La espuma de poliuretano es un material plástico poroso formado por una agregación de burbujas. Se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, que en el mercado se conocen como componente A y componente B. Dicha reacción es exotérmica y libera gas (dióxido de carbono) el cual va formando las burbujas.

La espuma de poliuretano tiene múltiples usos en la actualidad, algunos de ellos son:

- en colchones; como relleno o como acolchados para almohadas
- en muebles; en asientos de sofás y sillas
- en la construcción; como aislante térmico o como relleno
- en la industria automotriz; como relleno de salpicaderas, asientos, toldos
- en muchos artículos más como juguetes, prendas de vestir, esponjas, calzados, cojines, envases y en general todo tipo de acolchados o rellenos.

Se ha utilizado espuma de poliuretano por su bajo costo, buen manejo del material, ligereza y durabilidad.

Se suele utilizar mucho la *densidad* para comparar las distintas espumas, pero solo sirve como elemento comparativo cuando se habla de espumas con la misma composición, ya que dan características diferentes. En unas espumas se busca la

mayor duración posible, en otras el precio más económico, la capilaridad, la capacidad aislante, la facilidad de perfilar o dar forma, o la ligereza. [ref.⁶]

La densidad de la espuma de poliuretano es de 20 kg/m³ a 24 kg/m³. [ref.⁷]

Espuma de poliestireno.

Existen espumas flexibles, semirígidas y rígidas en densidades que van desde 1.6 hasta 960 kg/m³. Los principales usos para las espumas flexibles, con densidades menores de 100 kg/m³ (como es el caso de la espuma de poliuretano), son colchones, muebles y aplicaciones automotrices. Las espumas rígidas se utilizan generalmente como aislantes. Para el caso de la espuma de poliestireno se tienen las siguientes características:

Nombre comercial: Casetón

Densidad: 8 kg/m³ [ref.⁸]

Características: Espuma ligera con resistencia mecánica limitada

Aplicación: aligerante de loza para la construcción

Resina epóxica.

Se utilizó resina epóxica TM-36 que es fabricada especialmente para acabados superficiales y estructurales, los cuales tienen las siguientes características:

- Buen acabado.
- Amplio rango de temperatura de operación.
- Resistencia adecuada para facilidad de manejo.

La resina epóxica TM-36 posee alto índice tixotrópico (es decir, que su consistencia es buena en superficies verticales y no se derrama tan fácilmente) y mejora su aplicación, además está caracterizada por su baja viscosidad, y de mejorar el refuerzo estructural con fibra de vidrio. Al colocar muchas capas de fibra de vidrio se pueden penetrar sin acumulamiento excesivo de resina. El buen acabado, así como su característica especial de no sedimentarse hacen éste sistema ideal en la producción de piezas uniformes, ya sea por técnicas manuales o esreado (aplicación con pistola).

El endurecedor HD-3520 es utilizado con la resina epóxica TM-36. Su reactividad es la adecuada para obtener el tiempo de manejo adecuado, ya sea por aplicación superficial o estructural.

A continuación, se muestran las características de la resina epóxica TM-36, el endurecedor HD-3520 así como la proporción de mezcla con el endurecedor.

	TM-36	HD-3520
Apariencia	Líquido libre de grumos	Líquido libre de partículas en suspensión
Color, visual.	Cremoso, ligeramente amarillo	--
Viscosidad @ 25° C, cPas.	2000-3500	4500-5500
Peso específico (gr/cm ³), Vida en almacén, en meses	1.18 - 1.23 6	1.07 – 1.09 6

Tabla 7.2. Características de la resina epóxica TM-36. Tomada con fines didácticos. [ref.⁹].

	TM-36 <i>100/20</i>
Proporción de mezclado con HD-3520	
Tiempo de gelado*, en min	<i>18 - 23</i>
Tiempo de manejo, en min	<i>10 - 12</i>

Tabla 7.3. Proporción de mezcla del endurecedor HD-3520 con la resina epóxica TM-36. Tomada con fines didácticos. [ref.⁹]

*Se le llama tiempo de gelado al tiempo en el cual reacciona químicamente la resina con el catalizador. Además es el tiempo de transición en el cual la superficie de la resina es gelatinosa y al tocarla no se desprende. Se le llama punto de gel cuando la sustancia es líquida y punto de gelado cuando es sólida.

Resina poliéster.

Las resinas poliéster por su aplicación se denominan así:

Tipo de resina	Aplicación:
Ortoftálica	en espacios de interiores
Isoftálica	en espacios exteriores
Tereftálica	en espacios exteriores
Vinil ester	en espacios exteriores con resistencia química y mecánica.

Para trabajar cualquier tipo de resina, se debe tener en cuenta la temperatura ambiente, ya que al haber una elevada temperatura se considera menos porcentaje de catalizador, porque la resina reacciona rápidamente y puede gelar en el mismo recipiente. En el caso de resina poliéster se considera el catalizador K-2000 (que en sustancia es peróxido de metil-etil-cetona), el cual se maneja en razón del 1% con respecto a la resina, que para fines prácticos se consideran 40 gotas de catalizador por cada 100 gr de resina. Hay que mencionar que por cada pieza que se trabaje se deben dejar pasar mínimo 24 horas para tener un curado total de la pieza elaborada.

En este proyecto se utiliza resina poliéster M70x60 del orden ortoftálica, preacelerada, es decir, que en su presentación comercial viene la resina poliéster, diluyente y acelerador, y solo resta agregar el catalizador.

También se trabajó con la resina poliéster H834 MAQ del orden ortoftálica, ya que ésta viene con un agente tixotrópico, es decir, que puede aplicarse en superficies verticales y se puede aplicar por esparado, siendo las dos resinas adecuadas para materiales con fibra de vidrio en aplicaciones como la industria automotriz, la construcción y aplicaciones marítimas por dar características de productos resistentes al impacto y a la corrosión.

Las resinas poliéster duran en almacenamiento 2 meses. [ref.¹⁰]

Gel Coat.

Se utiliza para dar un acabado liso en el interior de las piezas hechas en fibra de vidrio. Se encuentra en el mercado de color blanco y/o transparente, el cual puede

pigmentarse en razón del 5 a 10%, con respecto a la cantidad de GelCoat aplicada. Se cataliza en la misma proporción que la resina poliéster y se debe esperar el tiempo de gelado adecuado para aplicar resina y fibra de vidrio respectivamente. [ref.¹¹]

7.3 Método de construcción.

Se describe el método para la construcción mediante el siguiente diagrama.

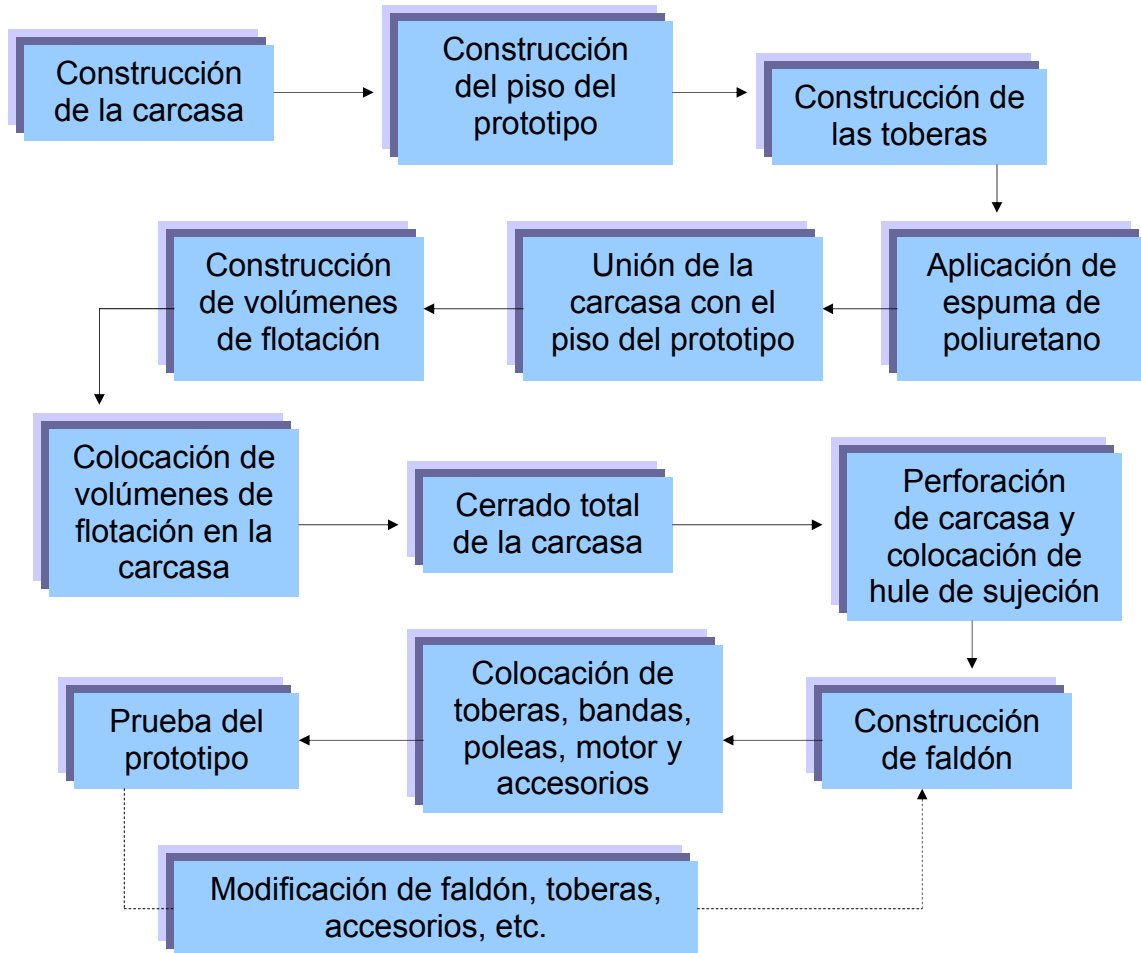


Diagrama 7.3. Método de construcción.

7.4 Narrativa de la construcción.

Fabricación del molde lateral de la carcasa.

Se inicia al fabricar el molde del que surgirán las partes laterales de la carcasa, es decir, que primero se trazan los perfiles sobre madera y entre ellas se coloca una lámina galvanizada, la cual al no tener grandes rugosidades facilita el desprendimiento de la pieza del molde.



Imagen 7.4. Molde lateral.

En cuanto a la construcción de la carcasa, se le da una forma currentilínea en el borde superior de ésta ya que se pretende reducir la resistencia al avance parásita cuando el vehículo se desplace [referencia 12]. El borde inferior del corte transversal de la carcasa está inclinado 30° con respecto a la horizontal del terreno, diseñado de tal manera que al presentarse una inclinación (banqueo) el vehículo no colisione violentamente con el terreno y/o agua provocando una volcadura, además de que debe existir un claro en el borde inferior de la carcasa y el plano horizontal que forma la superficie del agua, aproximadamente 10° entre ellos [ref.¹³]

Se comienzan a realizar las piezas de fibra de vidrio. Primero se aplica una cera desmoldante sobre la lámina del molde seguida de la aplicación de una película separadora, después se realiza el esparado de GelCoat hasta lograr una capa uniforme, la cual será la cara interna de nuestra pieza y dará un acabado liso con el fin de evitar puntos de estancamiento en el flujo y por lo tanto pérdidas de presión por fricción.

Enseguida se aplica resina poliéster la cual se cataliza en proporción de 1 gramo por cada 100 gramos de resina poliéster para que al momento de colocar la fibra de vidrio se adhiera al molde, después se pica con brocha suavemente con la finalidad de que la resina ingrese a las fibras internas hasta reventar todas las

burbujas de aire existentes, colocando hasta dos capas de fibra de vidrio por cada pieza.

Se dejan reposar las piezas por 24 horas y se retiran del molde.

Fabricación del molde para las esquinas laterales de la carcasa.

Posteriormente se realizan los moldes laterales para las esquinas, los cuales son recubiertos con pasta resanadora automotriz con la finalidad de soportar el deterioro al aplicar GelCoat y resina poliéster.



Imagen 7.5. Molde de las esquinas. La pieza que está a la derecha aún no tiene capa protectora

Se realizan 2 piezas de éstas en fibra de vidrio con el procedimiento descrito anteriormente.

En las esquinas se debe hacer un redondeado para que al colocar el faldón no se tengan fugas de aire, como lo muestra la imagen 7.6

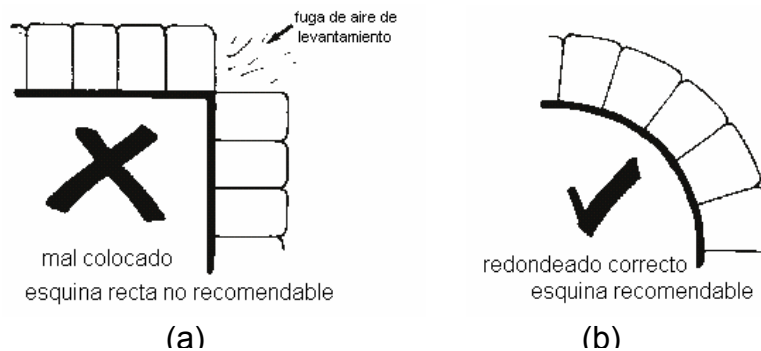


Imagen 7.6. Forma de las esquinas.
No recomendable (a) y forma recomendable (b)
Tomada con fines didácticos. [ref.¹³]

Construcción del piso del prototipo.

Una vez hechas las piezas en fibra de vidrio, se construye el marco en solera de lo que será el piso del aparato, que a su vez será el soporte del motor y la base de las toberas de los ventiladores.

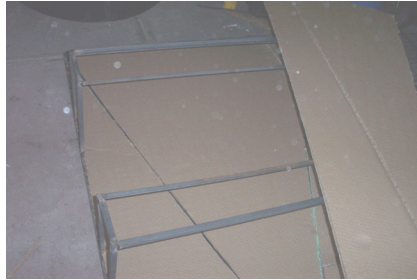
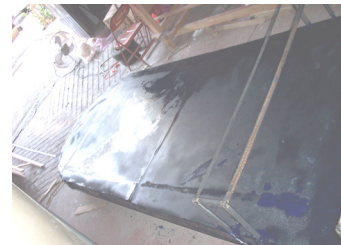


Imagen 7.7. Muestra la base en solera rellena de honeycomb

Se coloca posteriormente una superficie de espuma de poliestireno o unicel para dar flotabilidad al prototipo y se cubre con tela poliéster impregnada con resina epóxica.



(a)



(b)

Imagen 7.8. Base del prototipo (a) cubierta con tela poliéster, (b) impregnada con resina epóxica

Posteriormente se realiza el molde de la pieza delantera, el cuál se hizo en distintas etapas.

Se comienza por dibujar en el piso un medio círculo y se coloca cartón en el contorno de las paredes para poder vertir espuma de poliuretano hasta la altura deseada. Se talla el perfil de la carcasa marcado en los extremos del molde. Solo se trabajó la mitad del medio círculo, es decir $\frac{1}{4}$ de círculo, ya que con un molde es suficiente para realizar las piezas deseadas.



Imagen 7.9. Unión de la curva frontal de dos piezas hechas en fibra de vidrio

Construcción de toberas de los ventiladores.

Enseguida se comienza con la construcción en solera de $\frac{3}{4}$ de pulgada (0.01905 m) de lo que será la estructura de las toberas izquierda y derecha. Siendo la tobera un dispositivo de aceleración, se le han dado 7 grados de divergencia para acelerar el flujo de aire uniformemente. [ref.¹⁴]

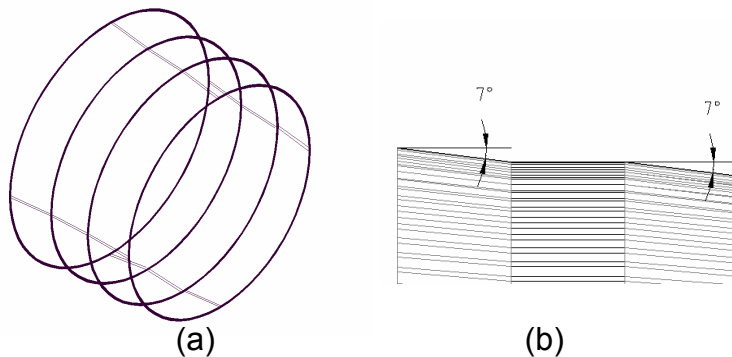


Imagen 7.10. Armadura de las toberas (a) y divergencia en la tobera (b).

Se colocan las crucetas hechas en solera de 2 pulgadas (0.0508 m) de espesor, siendo la cruceta delantera de las dos toberas desmontable.

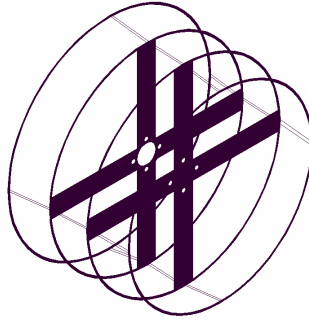


Imagen 7.11. Crucetas instaladas.

Posteriormente se cubre la estructura de ambas toberas con placas planas de fibra de vidrio y se unen con remaches pop, para finalmente darles una cubierta en tela poliéster para tapar los posibles orificios en las caras laterales de las toberas.

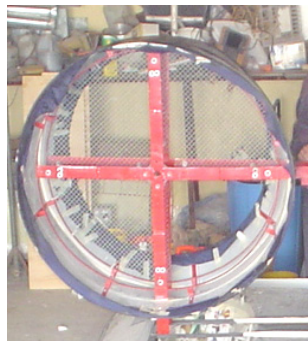


Imagen 7.12. Tobera cubierta con fibra de vidrio y recubiertas con tela poliéster.

Se colocarán protecciones a los ventiladores para evitar accidentes, ya sea por ingesta de objetos extraños o por el desprendimiento de alguna pala de los ventiladores.



Imagen 7.13. Colocación de rejilla de protección

Fabricación de los moldes para los volúmenes de flotación.

Ahora se realizan los moldes de lo que serán los volúmenes de flotación que irán instalados dentro de la carcasa, creando un sistema de ductos.

Primero, se realizan los perfiles en madera de la parte exterior de la punta elíptica, para después unirlos con una lámina galvanizada, la cual será la base del molde.

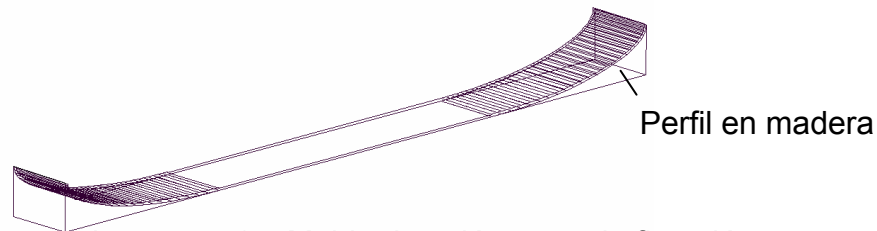


Imagen 7.14. Molde de volúmenes de flotación.

En la imagen 7.15 (b) se muestra el núcleo de los volúmenes de flotación construido con honeycomb, que proporciona refuerzo estructural donde se planeó hacer una estructura tipo sándwich; más adelante se unirán al piso del prototipo.

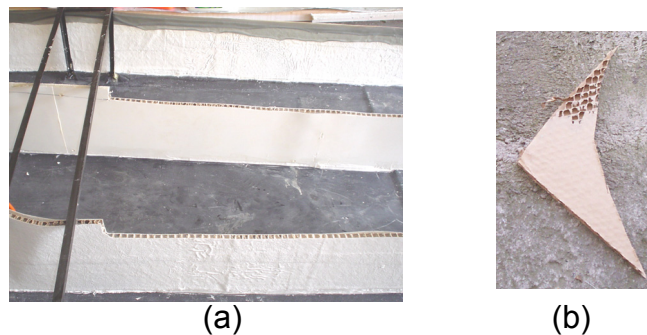


Imagen 7.15. Muestra de volúmenes de flotación (a), y estructura interna de honeycomb (b).

Para la construcción de las piezas de los volúmenes de flotación se aplica la cera desmoldante, después la película separadora, luego una capa de GelCoat, resina poliéster para remojar la fibra de vidrio, se coloca el honeycomb, se impregna nuevamente de resina poliéster y se coloca fibra de vidrio que en éste caso también fueron dos capas y finalmente otra capa de GelCoat para cubrir la pieza. Se hicieron 4 piezas que se unirán más adelante.

Unión de la carcasa.

El siguiente paso es la unión de la carcasa con el piso, pero primero se unen las piezas laterales como se muestra en la imagen 7.16.



Imagen 7.16. Unión de piezas laterales.

Después se unen las piezas laterales con la parte delantera del prototipo, como lo muestra la imagen 7.17.

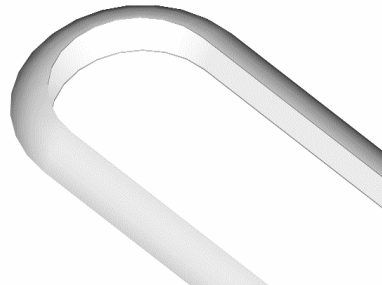


Imagen 7.17. Unión de piezas laterales con parte delantera.

Y posteriormente se unen las partes laterales con la parte trasera junto con las esquinas, como se muestra en la imagen 7.18.



Imagen 7.18. Unión de la parte trasera.

Teniendo la carcasa cerrada, se une con el piso del prototipo por medio de capas de fibra de vidrio y resina poliéster.



Imagen 7.19. Unión de la carcasa con el piso.

Una vez unidas la carcasa y el piso, se vierte espuma de poliuretano en el espacio restante entre la pared vertical del piso y la pared inclinada de la carcasa, como lo muestra la imagen 7.20. Esto es con el fin de dar mayor flotabilidad al vehículo.



Imagen 7.20. Aplicación de espuma de poliuretano.

Se debe mencionar que se mezclan los componentes (A y B) de la espuma de poliuretano en la misma proporción, hasta un punto donde su textura es homogénea y su temperatura se eleva; en ese instante se debe verter en el lugar deseado.



Imagen 7.21. Aplicación de espuma de poliuretano.

Una vez aplicada la espuma de poliuretano, se debe desbastar para eliminar rugosidades no deseadas, luego se aplica una capa de resina epóxica y finalmente se cubre la cara superior con tela poliéster para evitar el desprendimiento de la espuma de poliuretano.

Colocación de los volúmenes de flotación.

A continuación, se instalan los volúmenes de flotación dentro de la carcasa, los cuales sirven como paredes para crear ductos que conectan la descarga de las toberas traseras con la punta del vehículo de colchón de aire.



Imagen 7.22. Colocación de volúmenes de flotación.

Al tener el sellado completo de la carcasa, se coloca la tapa superior del canal central, siendo esta una estructura tipo sándwich, es decir, que en ambos costados del honeycomb se reforzaron con dos capas de fibra de vidrio y en la cara que muestra la parte superior se cubre con una capa de tela poliéster y además se aplica GelCoat Transparente por medio de esreado, para dar un mejor acabado.



Imagen 7.23. Cerrado superior de la carcasa.

Con la colocación de la tapa superior se obtiene la función de ductos, por el canal central (imagen 7.24a) que conecta la descarga de la tobera trasera con la parte frontal y por los canales laterales (imagen 7.24b) que conducen el flujo del aire al faldón a través de orificios que más adelante de indican.



(a)



(b)

Imagen 7.24. Muestra del canal central (a), y canal lateral izquierdo (b).

Una vez unida la carcasa, se perfora por la parte inferior con un corta-círculos como se muestra en la imagen 7.25.

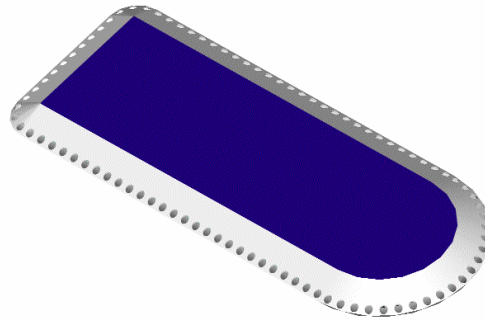


Imagen 7.25. Perforación de la carcasa por la parte inferior.

Se muestra la imagen de los canales lateral izquierdo y derecho una vez perforada la carcasa por la parte inferior.



(a)

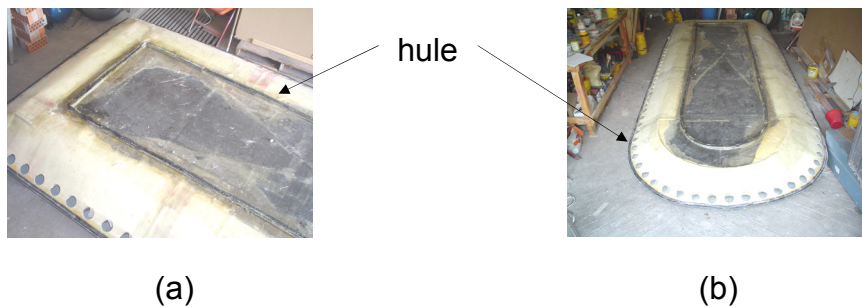


(b)

Imagen 7.26. Muestra del canal lateral izquierdo (a) y canal lateral derecho (b).

Colocación de hule para sujeción del faldón.

La siguiente actividad, es colocar el hule en el codo de la sección transversal de la carcasa y en la parte inferior de la misma para ser utilizado como sujetador del faldón, como se describe a continuación.



(a)

(b)

Imagen 7.27. Colocación de hule, en la parte trasera (a) y en la parte delantera (b).

Se coloca un perfil de hule de sección transversal en “C” con una superficie plana en el codo de la carcasa, para que cuando se fabrique el faldón se haga un dobléz y se introduzca un chicote de acero para meter el faldón en el perfil de hule, como lo muestra la imagen 7.28 (b).

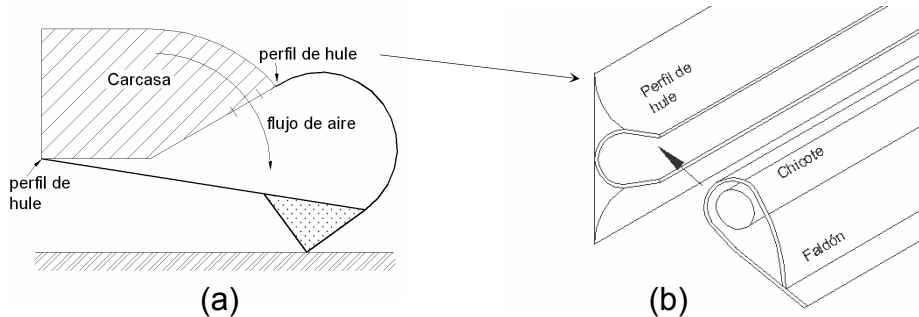


Imagen 7.28. Colocación de hule (a), diagrama a detalle del perfil para sujeción (b)

En la parte inferior se coloca un perfil de hule (de sección transversal en c), con la finalidad de que al introducir el faldón (con su dobléz y chicote dentro) se mantenga en el perfil y al sujetarlo con el otro extremo, se adhiera en una de las paredes internas del hule.

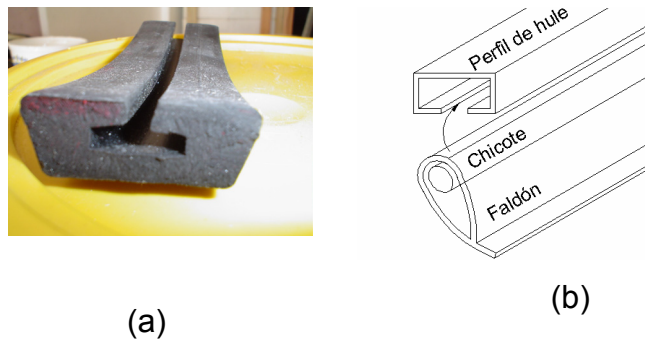


Imagen 7.29. Sección transversal en c del perfil de hule (a), esquema del perfil para la sujeción en la parte inferior (b).

Proceso de construcción del faldón.

Primeramente, determinamos el perímetro del vehículo de colchón de aire, para después ir seccionando lo que será el faldón. Comenzando por trazar las dimensiones de las partes laterales que serán rectángulos con las medidas correspondientes. El material utilizado para el faldón es nylon recubierto con PVC.

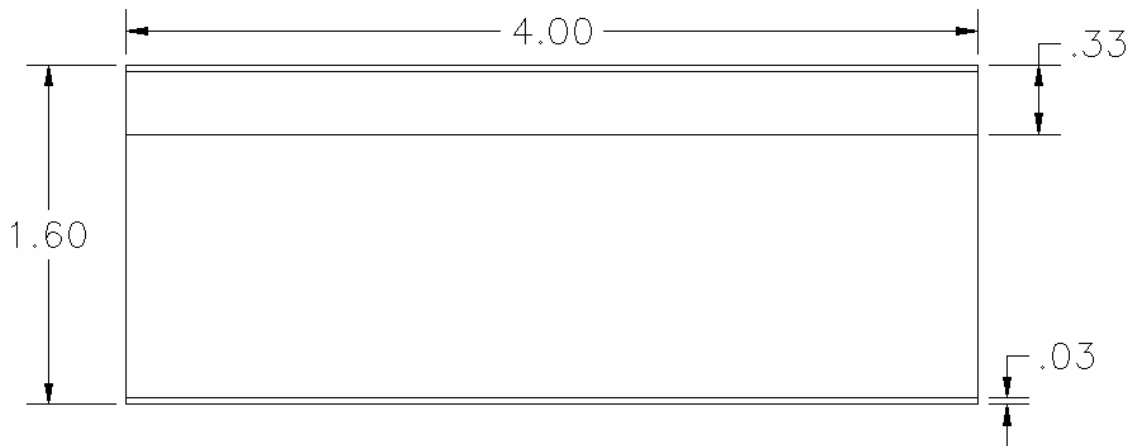


Imagen 7.30. Trazo del corte de las partes laterales del faldón. Acot: m

Se trazaron 2 de estas piezas.

Posteriormente, se traza de igual manera la pieza que va en la parte delantera del prototipo.

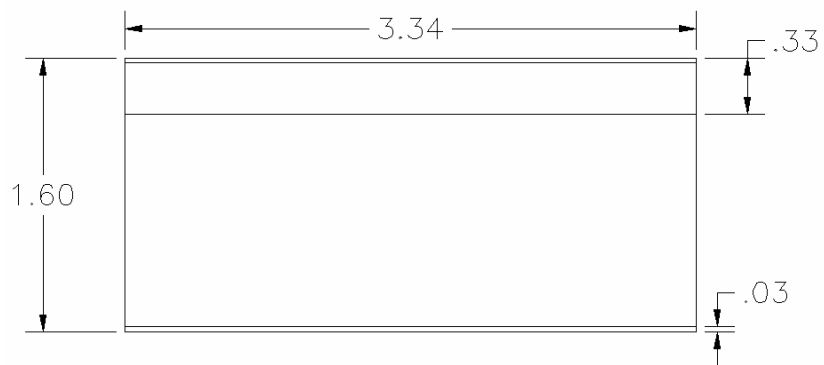


Imagen 7.31. Trazo del corte de la parte delantera. Acot: m

Así mismo, se traza la parte trasera como lo muestra la imagen 7.32.

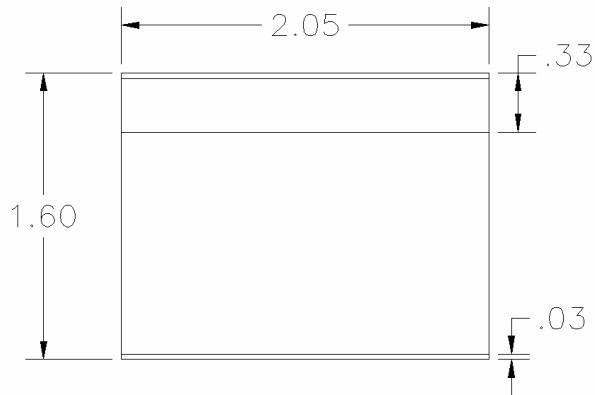


Imagen 7.32. Trazo del corte de la parte trasera. Acot: m

Se unen las piezas descritas, y se forma lo que será el faldón, que va por el contorno del vehículo de colchón de aire, además de que se une el diafragma de la parte superior hasta la marca hecha anteriormente, la cual hace la función de amortiguador de vibraciones, creando un tubo alrededor del vehículo. En los costados del faldón se hace un dobléz y se introduce el chicote (o cable de acero), que sirve como junta para mantener al faldón dentro de los perfiles de hule mencionados anteriormente, uniendo los extremos con pernos de sujeción.

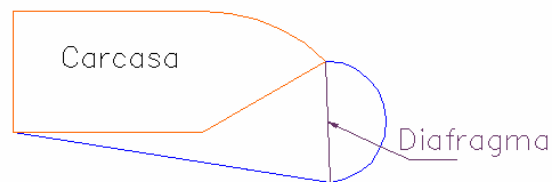


Imagen 7.33. Muestra la colocación del diafragma dentro del perfil del faldón.

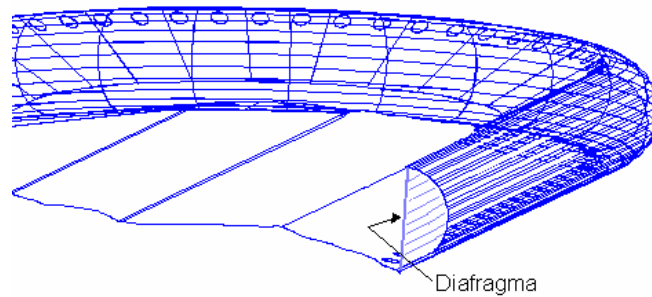


Imagen 7.34. Muestra la colocación del diafragma dentro del perfil del faldón en 3d.

Fabricación de dedos.

Una vez hecha la costura del faldón, se traza el contorno de los dedos del faldón sobre tela tipo vinil, la cantidad de veces necesaria hasta completar la circunferencia del vehículo de colchón de aire. Se contempló que por cada dedo abarque dos agujeros de la carcasa.

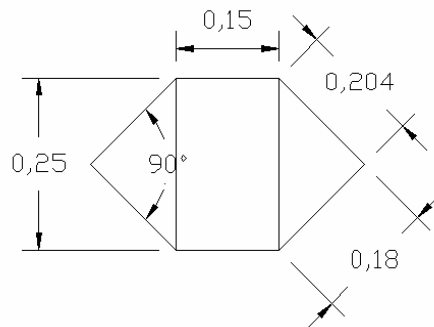


Imagen 7.35. trazo del dedo sobre vinil. Acot: m.

Los dedos son unidos a través de una máquina de coser tipo industrial con hilo nylon del número 30 y aguja para máquina industrial del número 18.

Teniendo unidos los dedos al faldón, se hacen las marcaciones de los círculos en el faldón que serán la descarga de aire dentro de los dedos, los cuales deberán ser ligeramente más pequeños que los que se tienen en la carcasa; con la finalidad de acelerar el flujo de aire, se recortan dichas marcaciones. Así mismo se marcan 6 orificios que van en el diafragma distribuidos 3 de cada lado, donde la distancia es equidistante para cada lado.

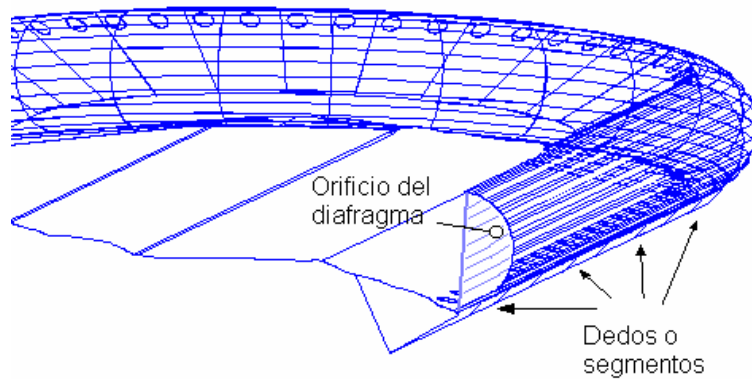


Imagen 7.36. Muestra la colocación de los dedos así como la perforación del diafragma.

Se marca por la parte trasera de la carcasa, el área de lo que será la descarga de la tobera trasera donde ingresará el aire proveniente de los ventiladores; así se recorta dicha área, como lo muestra la imagen 7.37.



Imagen 7.37. Corte de la parte trasera de la carcasa donde va instalada la tobera trasera.

Colocación de toberas.

Posteriormente se colocan las toberas en su base, soldando las extremidades inferiores al marco correspondiente.

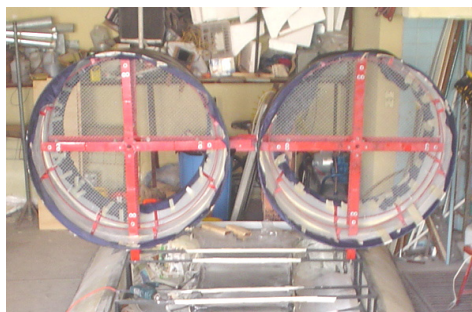


Imagen 7.38. Colocación de toberas.

Enseguida se recortan las partes traseras de las toberas donde se unirán con lo que será la admisión de las toberas traseras que van hacia la carcasa, como lo muestra la imagen 7.39.

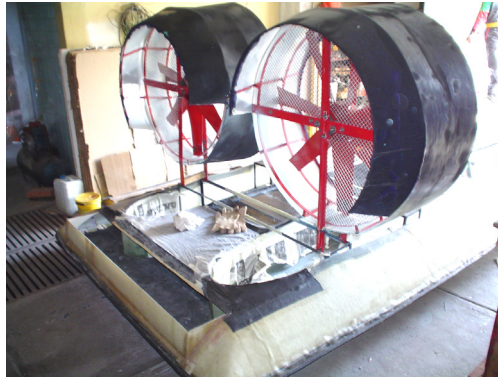


Imagen. 7.39. Recorte a la parte trasera de las toberas

También se colocan 3 paredes verticales que sirven de apoyo para el área de descarga de las toberas traseras.



Imagen 7.40. Colocación de paredes verticales en la descarga de la tobera trasera.

Se realizan las toberas traseras en fibra de vidrio y se colocan en la parte trasera del prototipo como lo muestra la imagen 7.41.



(a)



(b)

Imagen 7.41. Colocación de la tobera trasera vista superior (a), y vista lateral (b).

Se aplica una capa de GelCoat de color gris para darle un acabado final. (decidimos cortar por la mitad las toberas traseras y solo unir la parte que va con las toberas de los ventiladores, ya que existía una disparidad con la base de la carcasa. Posteriormente se unió la segunda parte de las toberas traseras uniéndolas con el área abierta de la parte trasera de la carcasa.)



Imagen 7.42. Toberas traseras con una aplicación de GelCoat gris.

Colocación de toberas, ventiladores, motor y arreglo para transmisión de potencia.

Una vez que las crucetas de los ventiladores están perforadas, y se colocan las chumaceras de 1 pulgada (0.0254 m) de diámetro en su posición correspondiente, se procede a colocar los ejes de los ventiladores mismos, de 1 pulgada (0.0254 m) de diámetro y longitud de 4.72 pulgadas (0.12 m); las poleas de 7 pulgadas (0.1778 m) de diámetro, las dos bandas de 80 pulgadas (2.032 m) de longitud así como el motor seleccionado en su base correspondiente de 8.26 x 5.31 pulgadas (0.21 x 0.135 m), que previamente se ha seleccionado una placa de aluminio que cuenta con 4 barrenos para sujetar el motor a la misma. Se coloca el tanque de combustible del lado derecho del prototipo así como un acumulador o batería de 12 volts para conectar el sistema eléctrico del motor. La imagen 7.43a muestra el arreglo mencionado anteriormente.



Imagen 7.43a. Muestra la colocación de los ejes de los ventiladores, poleas, bandas así como el motor en su base correspondiente.

Se realiza la primera prueba, donde se observa que la carga del prototipo está concentrada en la parte trasera. Ya que se marcaron dos orificios por cada dedo, solo se recorto uno de ellos, por lo que se recortaron los dos orificios marcados solo en la parte trasera del prototipo.

7.5 Modificaciones realizadas al prototipo.

Modificación de las toberas traseras.

Posteriormente, se decide aumentar $\frac{1}{4}$ parte más a la sección de admisión en la tobera trasera para obtener un mayor levantamiento del faldón en la parte trasera.

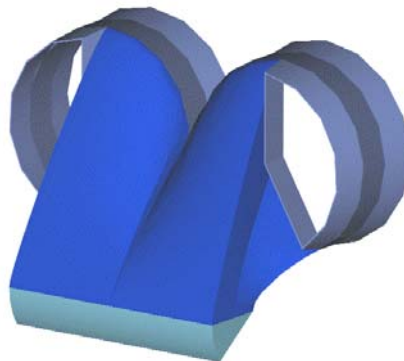


Imagen 7.43b. Aumento en la sección trasera de la admisión de la tobera trasera.

Modificación de faldón.

En cuanto a la construcción del faldón, no fue muy convincente el desempeño del primer faldón, por lo que en nuestra investigación por una alternativa de materiales y los que pueden obtenerse en nuestro país, nos encontramos con un material de lona plastificada por ambos lados, el cual puede adherirse térmicamente (vulcanizar); se describe a continuación:

Para vulcanizar lona plastificada se necesita de una pistola de calor y un rodillo. Se debe colocar la lona plastificada sobre una superficie plana, después se coloca la pistola de calor en forma paralela al plano donde se va a unir la lona y en la parte superior se coloca la otra parte de lona que finalmente se va a unir.

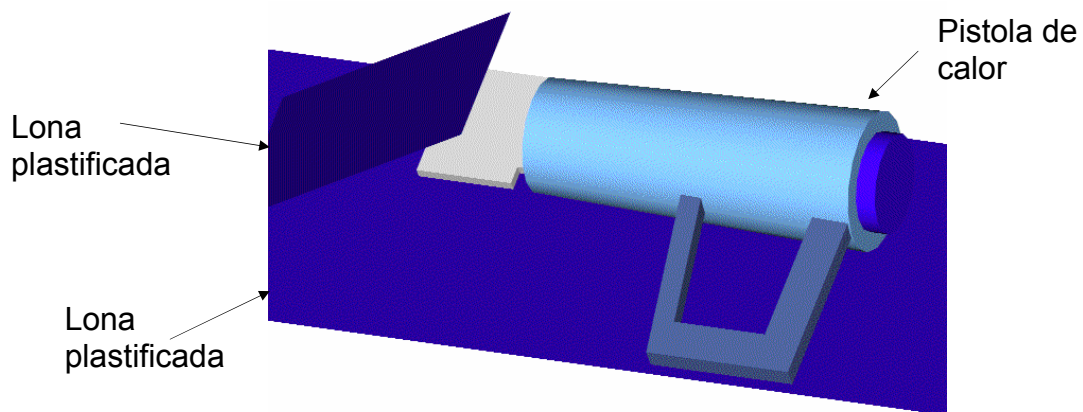


Imagen 7.44. Muestra el arreglo de la pistola de calor con las lonas que se van a vulcanizar.

Al aplicar calor se deben unir ambos lados de lona con un rodillo especial para vulcanizar, ejerciendo presión con el rodillo sobre la lona que se unirá.

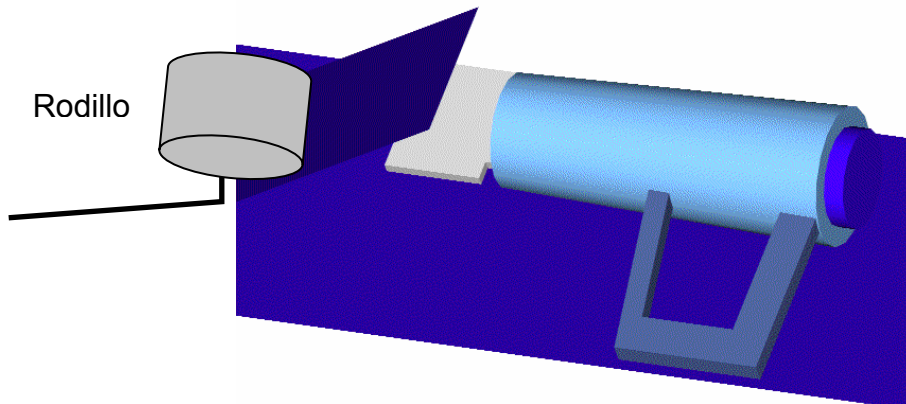


Imagen 7.45. Aplicación de calor con la pistola de calor y unión por medio de un rodillo para vulcanizado.

Por lo que se realizo un segundo faldón en éste tipo de material teniendo una reducción de 30 cm a lo ancho del faldón con las siguientes dimensiones:

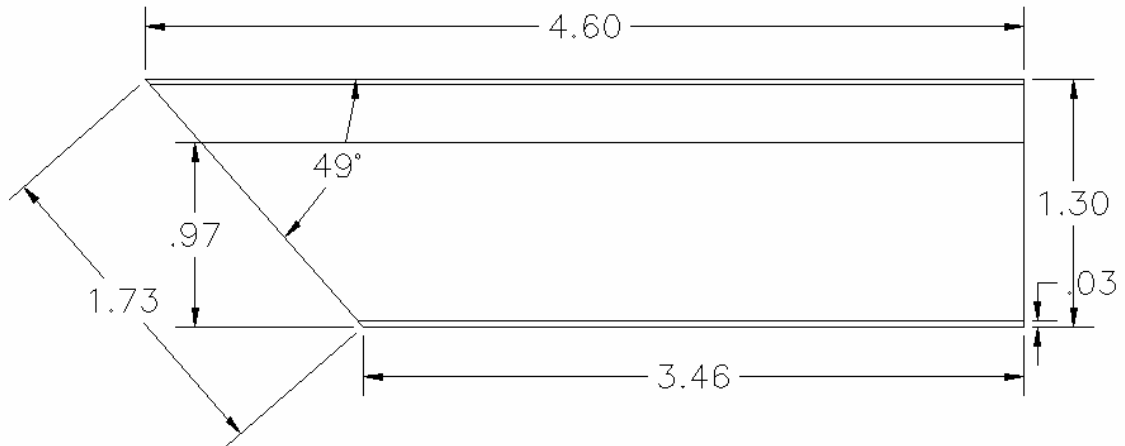


Imagen 7.46. Trazo del corte de las partes laterales del faldón. Acot: m

Se realizan 2 de éstas piezas.

Para la parte trasera se tiene que la geometría, es en forma trapezoidal con las dimensiones que se muestran en la imagen 7.47.

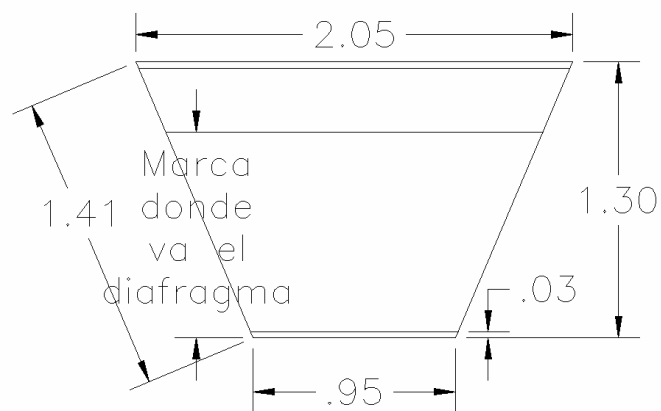


Imagen 7.47. Trazo del corte de la parte trasera del faldón. Acot: m

Para la parte delantera del prototipo se busca la geometría más adecuada y justa , para no presentar deformaciones en el colchón de aire y evitar fugas de aire no deseadas, por lo que se decide trazar dos segmentos de medio círculo; uno que va en la parte superior con las siguientes dimensiones.

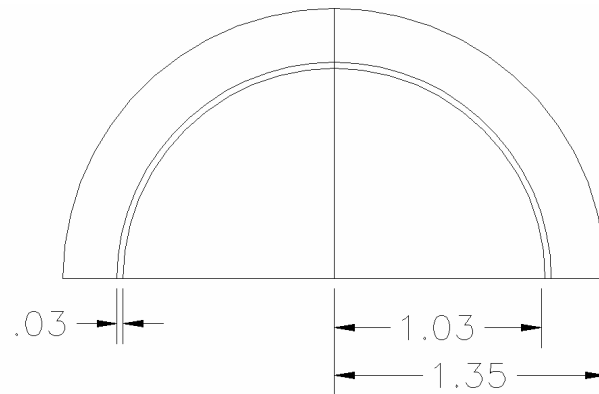


Imagen 7.48. Trazo del corte de la parte superior delantera del faldón. Acot: m

Para la parte inferior delantera del prototipo se tiene las dimensiones que muestra la imagen 7.49.

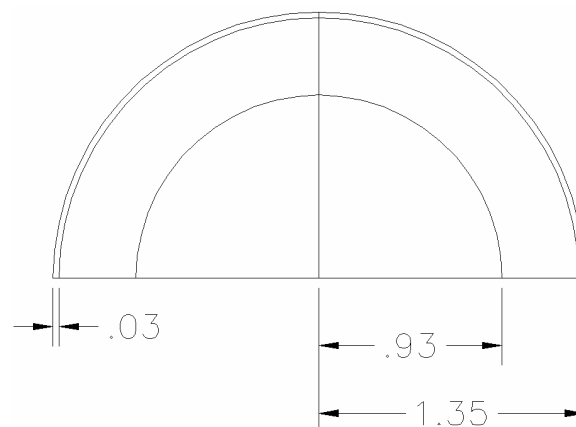


Imagen 7.49. Trazo del corte de la parte inferior delantera del faldón. Acot: m

Modificación de los dedos o segmentos.

Por lo que las dimensiones de los dedos o segmentos también cambiaron, siendo un dedo por cada agujero; se muestran a continuación:

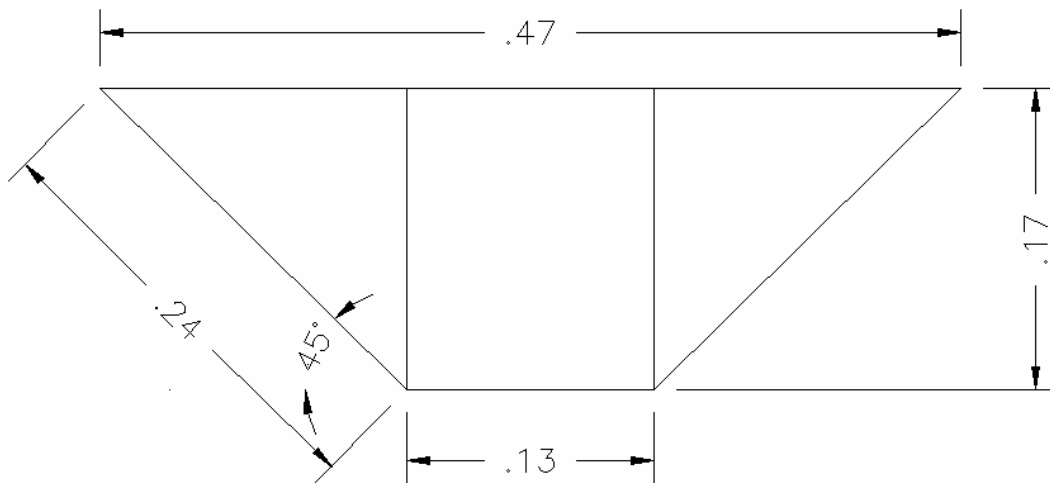


Imagen 7.50. Trazo del dedo o segmento del faldón. Acot: m

Unión del faldón por la parte inferior de la carcasa.

Y finalmente se une por la parte inferior del prototipo con un cierre, el cual tiene la finalidad de ayudar a desmontar el faldón por la parte baja.

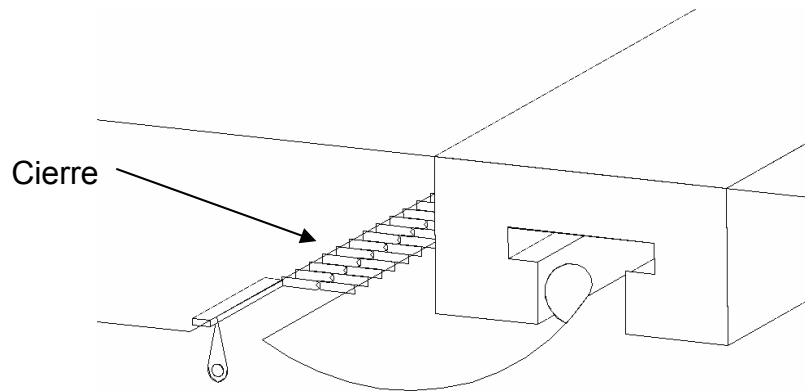


Imagen 7.51. Muestra el arreglo del faldón por la parte baja del prototipo.

Referencias capítulo 7.

Referencias bibliográficas.

1. **Catálogo general 2005 Soler y Palau.** Programa de selección de producto Easyvent 1.8 (CD).
2. <http://www.kohlerengines.com/onlinecatalog/productdetail.jsp?engnID=2460>
3. **EDWARD G. PITA.** Acondicionamiento de aire. CECSA 1998 pp. 548.
4. **ING. DUILIO D'ARSIÉ,** Plásticos reforzados con fibra de vidrio, Editorial Américalee, Buenos Aires, Argentina, 1967, 248 pp.
5. <http://www.honeycomb.com.mx>
6. http://es.wikipedia.org/wiki/Espuma_de_poliuretano
7. <http://www.plastifom.com/especificaciones.htm>
8. <http://www.aimsa.com/tecnicos.htm>
9. Información proporcionada por Bullton-Hysol de México, fichas técnicas.
10. <http://www.poliformasplasticas.com.mx/productos/resinas.htm>
11. <http://www.poliformasplasticas.com.mx/productos/gelcoat.htm>
12. **MERLE C. POTTER, DAVID C. WIGGERT,** Mecánica de Fluidos, Ed. Prentice Hall México, 1998, 711 pp.
13. **JEREMY KEMP.** The Hovercraft Constructor's Guide. Reino Unido.(Cd)
14. **FRANK P. BLEIER,** Fan Handbook Selection, Application, and Design, Ed. McGrawHill. Estados Unidos de Norteamérica, 1997.

Referencias de imágenes.

1. <http://www.kohlerengines.com/onlinecatalog/productdetail.jsp?engnID=2460>
2. <http://www.honeycomb.com.mx>

DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTOS REALES.

8.1 Registro de velocidades en las descargas de la carcasa.

En este capítulo se verifica una gran parte de los resultados teóricos con los obtenidos experimentalmente a través del prototipo terminado.

Se realizó la medición de velocidades en las descargas de la carcasa por medio de un anemómetro de bolsillo de hélice colocado a 30°, con respecto a la pared horizontal formada el borde inferior de la carcasa (recomendación del fabricante colocar con ese ángulo) obteniéndose así los siguientes valores.

Numero de orificio	Medición original* (m/s)	Primera modificación ¹ (m/s)	Segunda modificación ² (m/s)
1	5.5	19.6	21.9
2	14.2	17.3	19.4
3	19.6	17.4	19.3
4	20	20.8	21.5
5	17.3	22.8	23.1
6	16	24.6	24.3
7	14	22.3	23.1
8	17	20.8	21.6
9	18.3	20.4	20.8
10	15	21.5	20.9
11		16.3	13.1
12		20.9	21.7
13		19.7	19.6
14		15.8	16.2
15		15.2	15.5
16		14.2	15.7
17		12.9	11.9

Numero de orificio	Medición original* (m/s)	Primera modificación ¹ (m/s)	Segunda modificación ² (m/s)
18		10.2	9.4
19		8.5	6.4
20		7.6	8.1
21	8	7.9	7.5
22		9.9	8.4
23		13.3	7.6
24		8.5	8.9
25		9.3	9.1
26		9.5	9.5
27		9.7	9.8
28		9.5	9.9
29		9.8	10.3
30		9.8	10.5
31		10.1	10.4
32	7.5	10.9	10.8
33		10.6	10.7
34		10.8	10.5
35		10.8	10.6
36		10.7	10.8
37		10.4	9.9
38		9.2	10.3
39		7.7	8.5
40	6	8.6	8.5
41		7.4	7.4
42		5.5	6.7
43		8.8	7.9
44		8.6	11.7
45		15.3	16.6
46		16.6	17.7
47		18.4	18.9
48	7	7.5	18.1
49		16.9	17.5
50		16.7	17.4
51	9	15.7	16.7
52		17.6	18.3
53		17.7	18.3
54		16.5	17.5
55	14	17.5	17.8
56		18.4	18.7
57		17.3	17.8

Numero de orificio	Medición original* (m/s)	Primera modificación ¹ (m/s)	Segunda modificación ² (m/s)
58		16.8	17.4
59		17.1	17.5
60		16.6	16.8
61		16.4	16.5
62		14.9	14.4
63		12.4	12.7
64	10	11	10.2
65		12.5	12.5
66		11.9	12.2
67		10.9	10.7
68		11.9	12.4
69		10.7	11.4
70	6	9.6	9.6
71		8.8	8.4
72		8.5	8.5
73		7.2	7.9
74		6.6	6.8
75		6.5	7.6
76		6.9	6.4
77		6.2	6.6
78		4.4	4.6
79		4.3	4.5
80		1.6	2.3
81		2.2	3.3
82		1.5	2.3
83		3.5	4.3
84	4	4.8	4.9
85		1.3	1.3
86		0.5	0.5
87		4.7	4.5
88		7.3	6.8
89		10.9	10.2
90		4.4	9.4
91	13	13.7	13.4
Velocidad Promedio (m/s)	12.07	11.83	12.2

Tabla 8.1. Medición de velocidades en las descargas de la carcasa.

La columna con la leyenda Medición original* se refiere a que primero se decidió tomar datos de la parte trasera de la carcasa, ya que es donde se concentra el peso del prototipo, en algunos orificios de descarga en los costados y en tres puntos equidistantes en la punta del prototipo (puntos de color rojo en la imagen 8.1); teniendo 12.07 m/s de velocidad promedio, es decir que fue la primera aproximación para saber el valor promedio de velocidad de descarga en la carcasa.

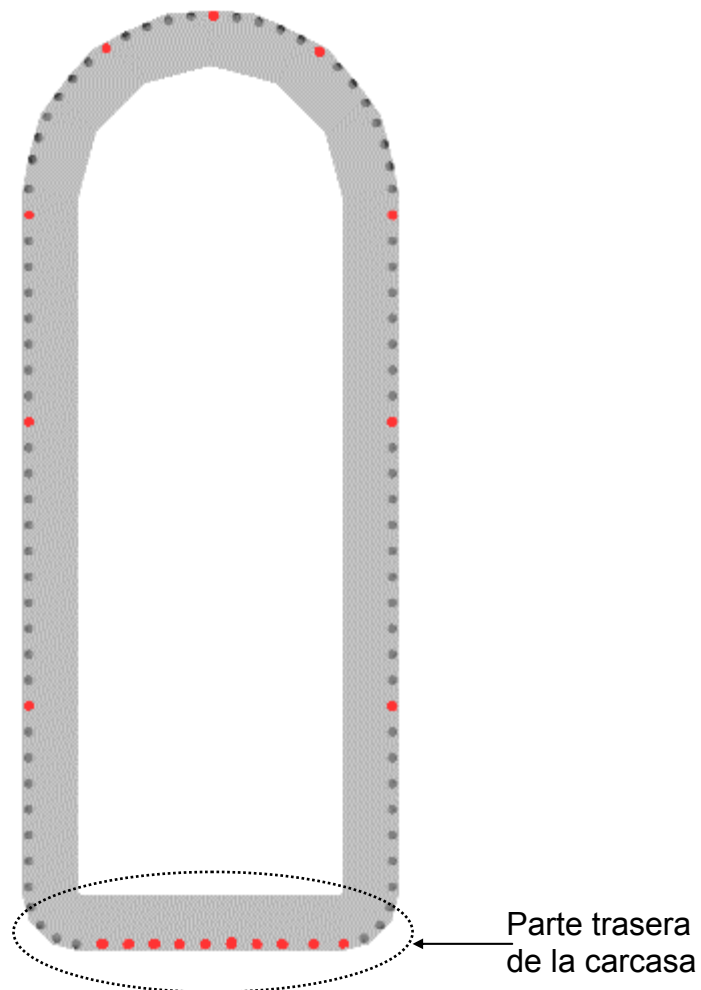


Imagen 8.1. Registros de velocidades en las descargas de los orificios de la carcasa.

Con el fin de mostrar las toberas traseras y las toberas de los ventiladores se muestran en la imagen 8.2.

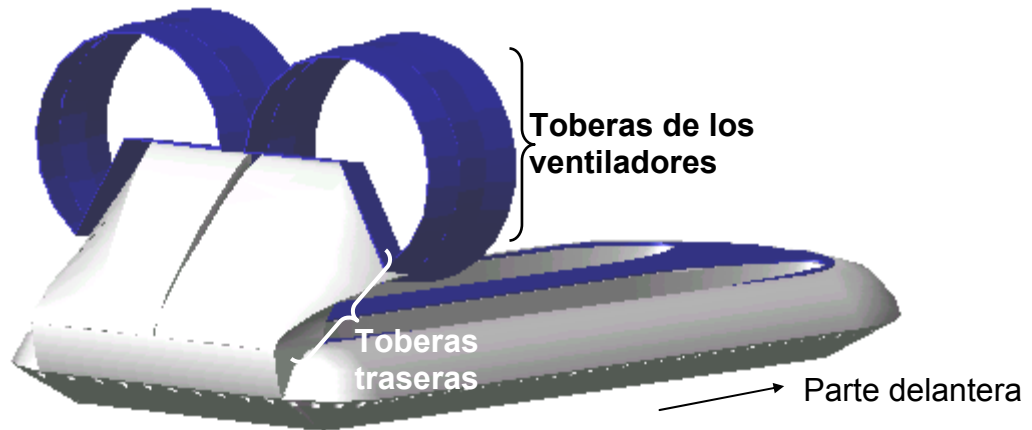


Imagen 8.2. Muestra a las toberas traseras y a las toberas de los ventiladores.

La columna que dice Primera modificación¹ se refiere a que la tobera trasera (geometría que conecta la descarga de la tobera del ventilador con la entrada de la carcasa, como lo muestra la imagen 8.2) fue modificada en su geometría de admisión en un cuarto de círculo más con respecto a la geometría original (imagen 8.3), entregando un valor de velocidad promedio de 11.83 m/s.

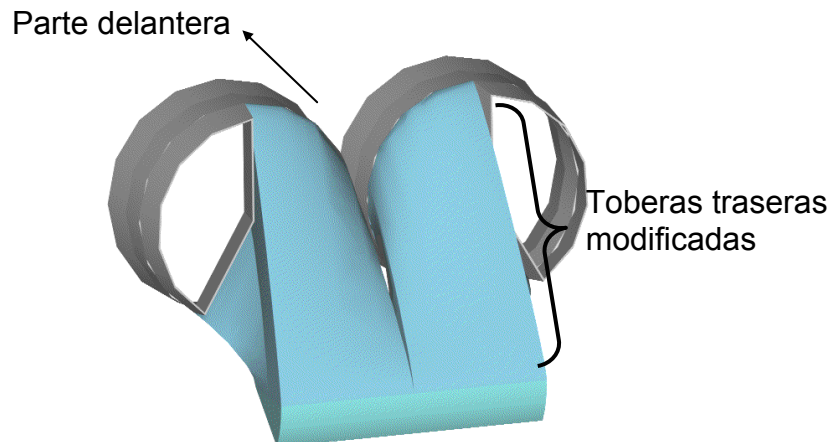


Imagen 8.3. Modificación de las toberas traseras.

La columna que se refiere a Segunda modificación² indica que las bandas fueron reducidas en su longitud de 84 a 82 pulgadas, y el diámetro de las poleas disminuyó de 9 a 7 pulgadas, obteniendo así una velocidad promedio de 12.2 m/s.

Posteriormente se realizó la medición de velocidades en cada descarga de la carcasa, obteniendo los valores mostrados en la columna de Segunda modificación², donde se muestra en la imagen 8.4 en barras para cada orificio de descarga de la carcasa.

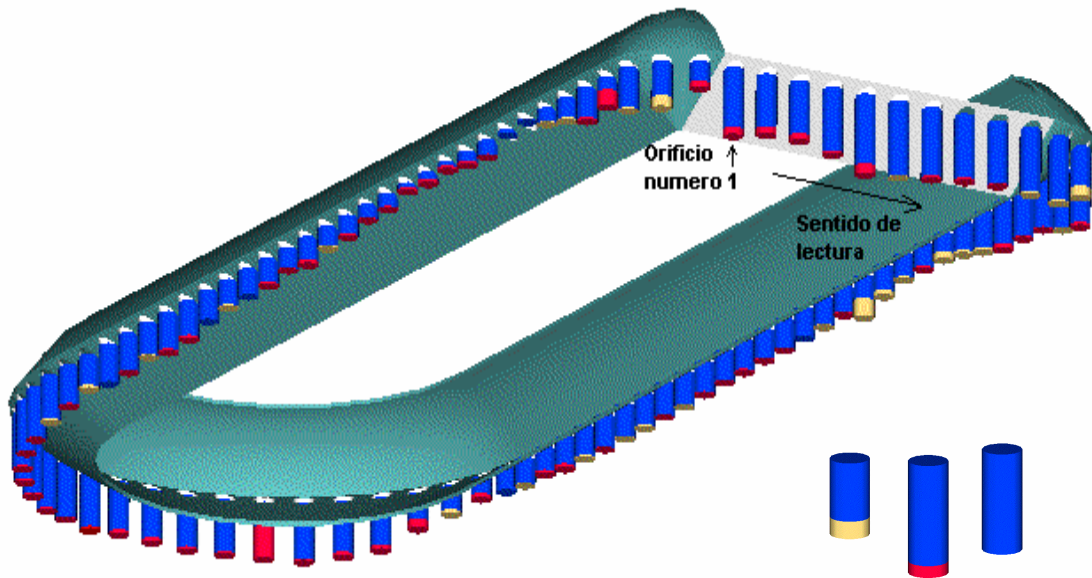


Imagen 8.4. Magnitudes de velocidad indicadas en la carcasa.

La barra en color *azul* indica que se mantiene la lectura igual.
 La barra en color *ámbar* indica que se tienen pérdidas.
 La barra en color *rojo* indica que se tiene un aumento en las cantidades de velocidades leídas.

Cabe mencionar que los resultados de la imagen 8.4 fueron obtenidos a través de un anemómetro de bolsillo de hélice proporcionado por el laboratorio de aerodinámica.

El anemómetro de hélice se muestra en la imagen 8.5, se seleccionan las unidades en que se desplegará la información en la pantalla del anemómetro (m/s). y la lectura se muestra en la carátula.



Imagen 8.5. Anemómetro de bolsillo de hélices. Tomada con fines didácticos. [ref.¹]

8.2 Velocidades en las descargas de las toberas de los ventiladores.

Los registros de los valores de velocidad en las descargas de las toberas de los ventiladores son los que se muestran a continuación:

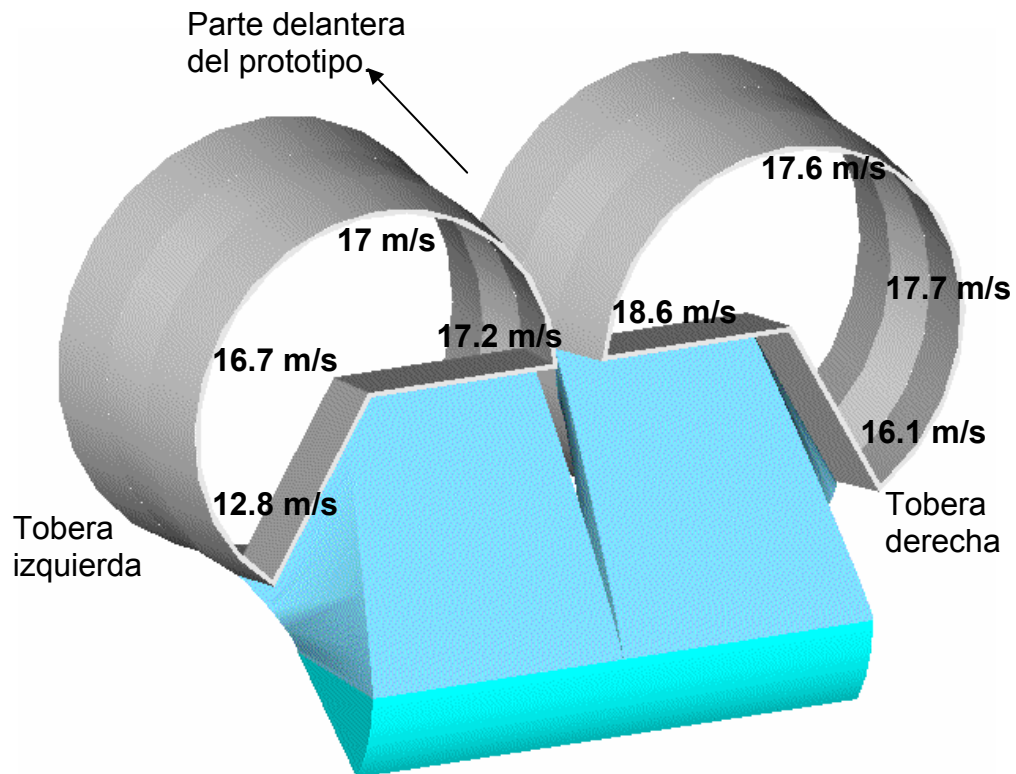


Imagen 8.6. Velocidades obtenidas en las toberas de los ventiladores.

Se tomaron los valores en las regiones mostradas en la imagen 8.6, ya que es donde se considera el mayor flujo de aire entregado por el ventilador, aproximadamente al 75%, dando un valor promedio de 15.93 m/s de velocidad para la tobera izquierda y 17.5 m/s de valor promedio para la tobera derecha.

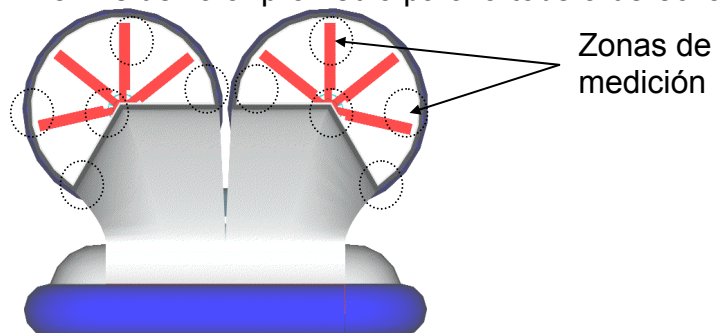


Imagen 8.7. Regiones de medición en las descargas de las toberas de los ventiladores.

Los registros de los valores de velocidad en las descargas de las toberas modificadas de los ventiladores son los que se muestran en la imagen 8.8.

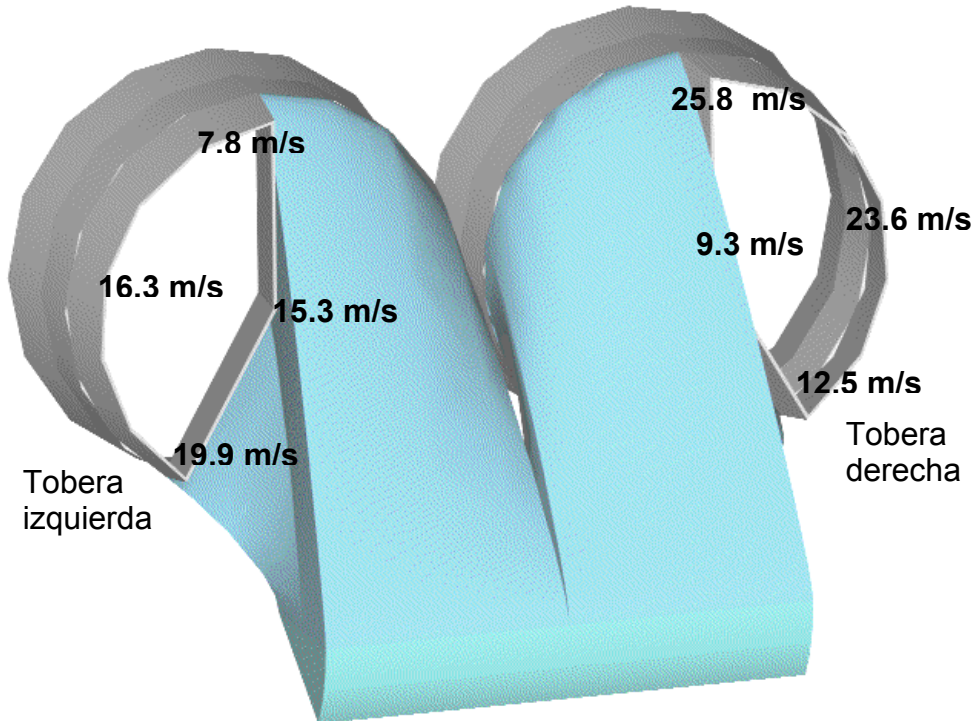


Imagen 8.8. Registros de velocidades en las descargas de las toberas de los ventiladores modificadas.

Dando como resultado un valor de 14.83 m/s como valor promedio de velocidad de descarga en la tobera izquierda, y un valor promedio de velocidad de descarga en la tobera derecha de 17.8 m/s, por lo que podemos observar, el cambio de geometría en la tobera trasera no beneficia en mucho el desempeño del aerodeslizador, es decir, que la velocidad de descarga en las toberas de los ventiladores se mantiene casi igual.

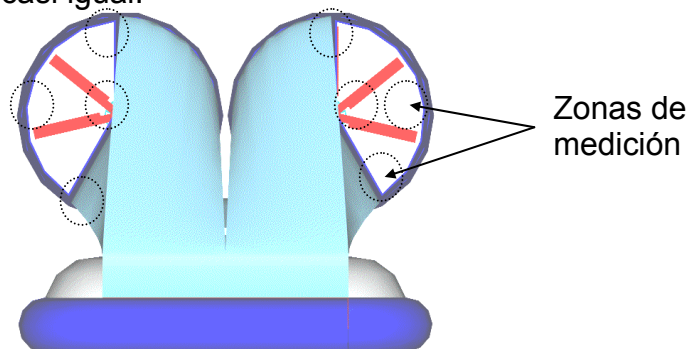


Imagen 8.9. Regiones de medición en las descargas de las toberas modificadas.

8.3 Medición de presión total en el prototipo.

A continuación se muestran los valores de presión total medidas en el prototipo.

	Presión total (mmH ₂ O)	Presión total (N/m ²)
Parte delantera.	30	294
Parte lateral izquierda.	10	98
Parte superior de la tobera trasera izq.	36	352.8
Parte inferior de la tobera trasera izq.	35	343

En la imagen 8.10 se muestran las zonas de medición de presión en el prototipo.

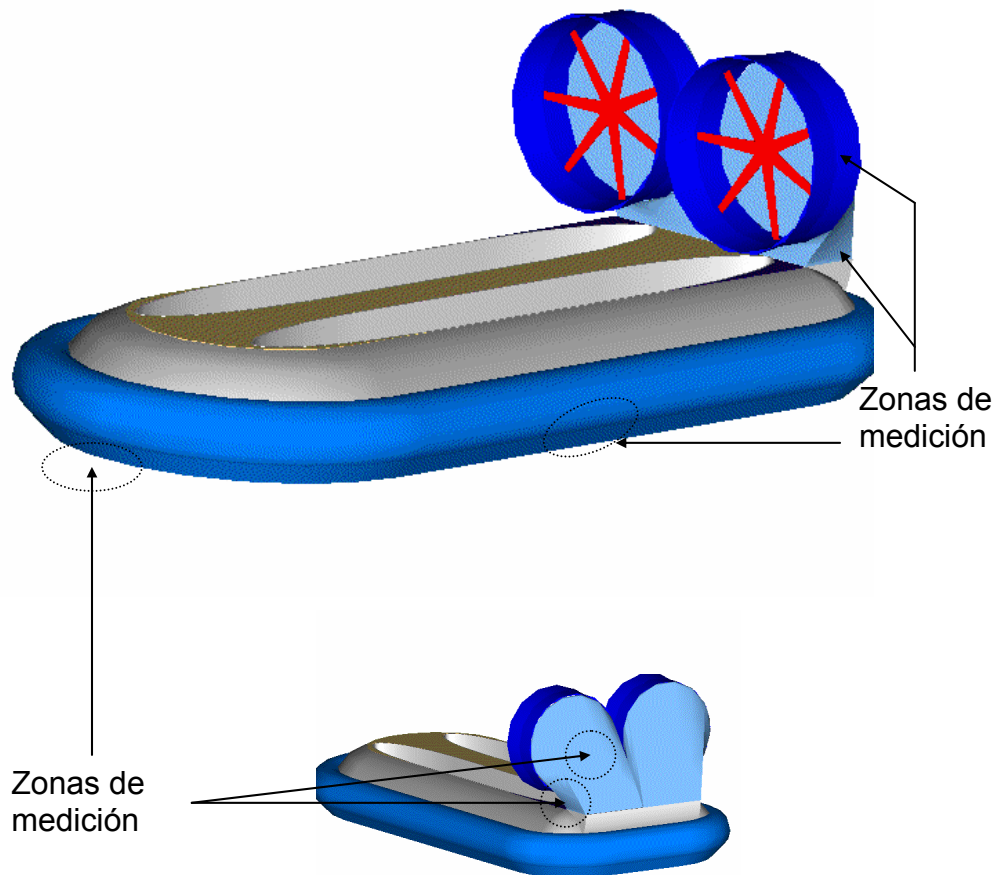


Imagen 8.10. Zonas de medición de presión total en el prototipo.

Posteriormente, se decide colocar a los ventiladores uno seguido del otro, es decir en tandem, alojados en la tobera izquierda, por lo que los resultados se muestran a continuación.

	Presión total (mmH ₂ O)	Presión total (N/m ²)
Parte delantera.	26	254.8
Parte lateral izquierda.	30	294
Parte superior de la tobera trasera izq.	46	450.8
Parte inferior de la tobera trasera izq.	45	441

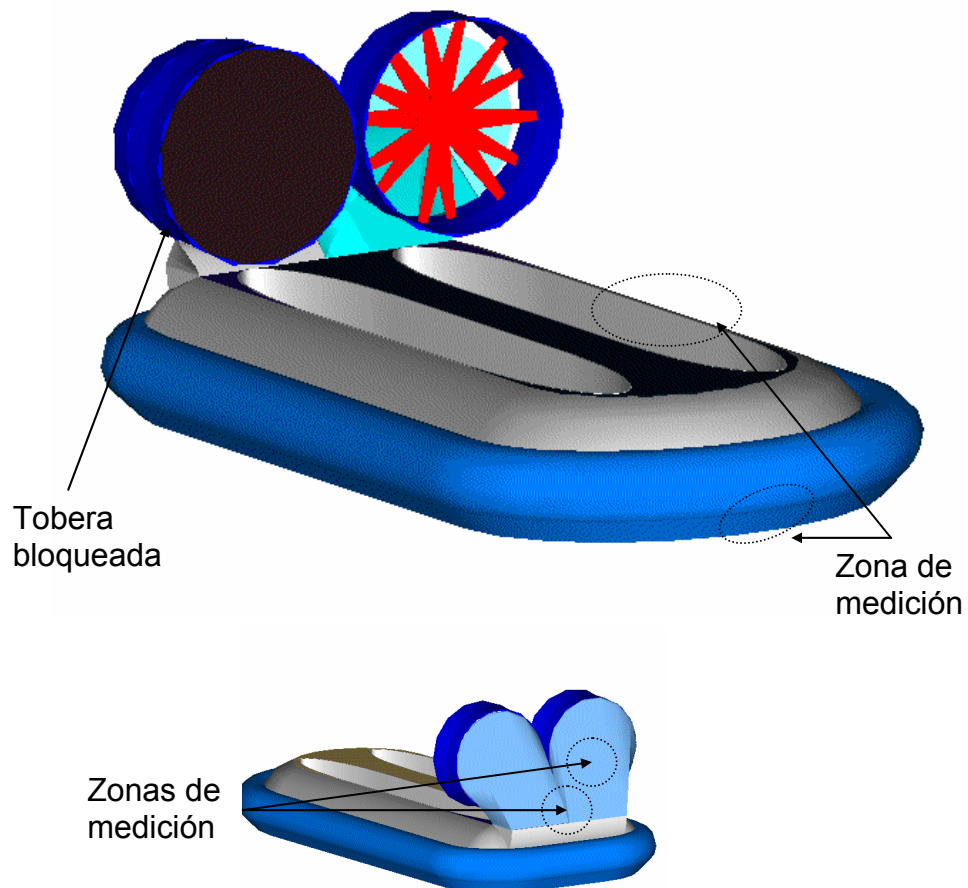


Imagen 8.11. Muestra las zonas de medición en el prototipo con los ventiladores en tandem.

Se observa que la presión total del aire en la parte delantera disminuyó en un 13.33 %, en la parte lateral izquierda se triplicó el valor de su magnitud, en la parte superior de la tobera trasera izquierda aumentó en un 44.44 %, y en la parte inferior de la tobera trasera izquierda disminuyó un 6% el valor de presión total del aire, por lo que podemos decir que la modificación no es del todo satisfactoria, al no tener cambios significativos en la presión requerida del colchón de aire. Por lo que se investigó de que manera poder aumentar la presión en el colchón de aire y es donde observamos que requerimos hélices que entreguen los valores necesarios de presión y caudal.

Los datos mostrados anteriormente, se obtuvieron como se describe a continuación.

Para determinar el valor de presión total, se colocó un pedazo de manguera sobre una tabla de madera en forma de “U”, para que al agregar agua en la manguera se tenga el mismo nivel de agua donde éste será nuestro valor inicial considerado como cero colocando una regla graduada en ése extremo, para que al colocar el otro lado de la manguera de forma perpendicular al viento, tengamos una diferencia de alturas, por lo que se considera un valor de presión total, sabiendo que

$$P = (\gamma_{H_2O})(h)$$

Donde:

P = Presión total.

γ_{H_2O} = Peso específico del agua.

h = altura de columna de agua(x2).

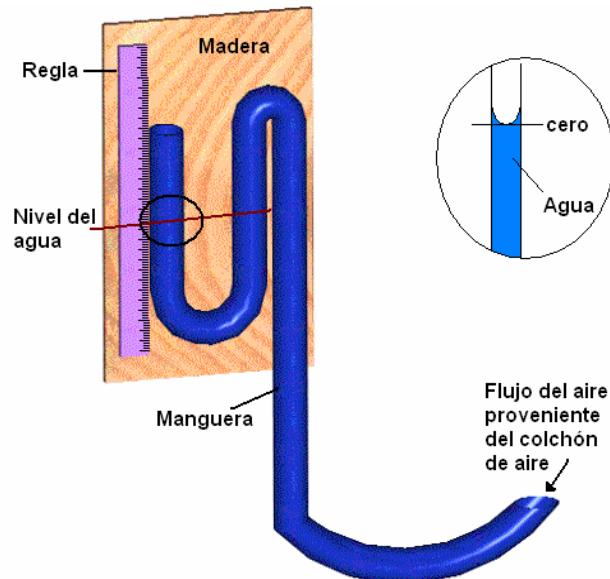


Imagen 8.12. Manómetro para determinar las presiones totales del colchón de aire.

8.4 Registro de velocidad angular en las flechas de los ventiladores.

Los registros de velocidades angulares en las flechas de los ventiladores se muestran en la imagen 8.13.

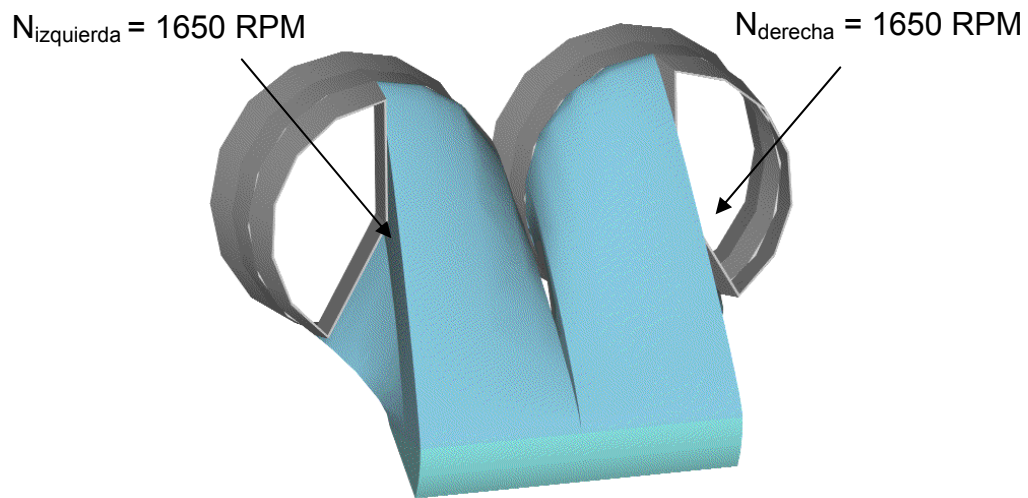


Imagen 8.13. Velocidades angulares de las flechas de los ventiladores.

Los valores de RPM's fueron obtenidos a través de un tacómetro óptico donde primero se debe colocar un pedazo de cinta reflejante para después colocar el tacómetro óptico perpendicular al eje del motor o flecha donde se quieren determinar las RPM's y obtenemos el resultado de 1650 RPM para la flecha del ventilador izquierdo y 1650 RPM para la flecha del ventilador derecho.

En la imagen 8.14 se muestra como es el arreglo antes mencionado.

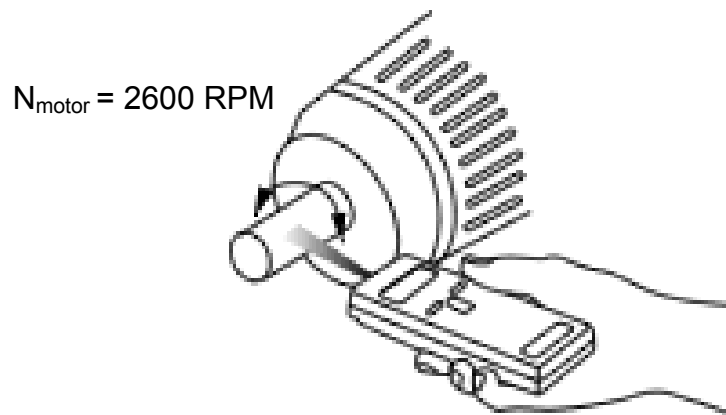


Imagen 8.14. Muestra el arreglo para medir las RPM's. Tomada con fines didácticos. [ref.²]

El tacómetro utilizado fue proporcionado por el laboratorio de aerodinámica.



Imagen 8.15. Tacómetro óptico utilizado en el prototipo. Tomada con fines didácticos. [ref. ³.]

Finalmente conoció el peso total del prototipo mediante una báscula electrónica de plataforma, la cual indico un valor de 382.4 Kg_f.

Capítulo 8

Referencias de Imágenes.

1. <http://www.r-p-r.com/anemometro.htm>
2. <http://www.pce-iberica.es>
3. http://www.pce-iberica.es/tienda-online/index.html?target=dept_39.html

El vehículo con la modificación de la tobera del ventilador izquierdo con su descarga totalmente dirigida hacia el colchón de aire, ventiladores en tandem (alojados ambos en la tobera izquierda) y tobera derecha bloqueada por una tapa en su acceso, presenta la siguiente actitud.

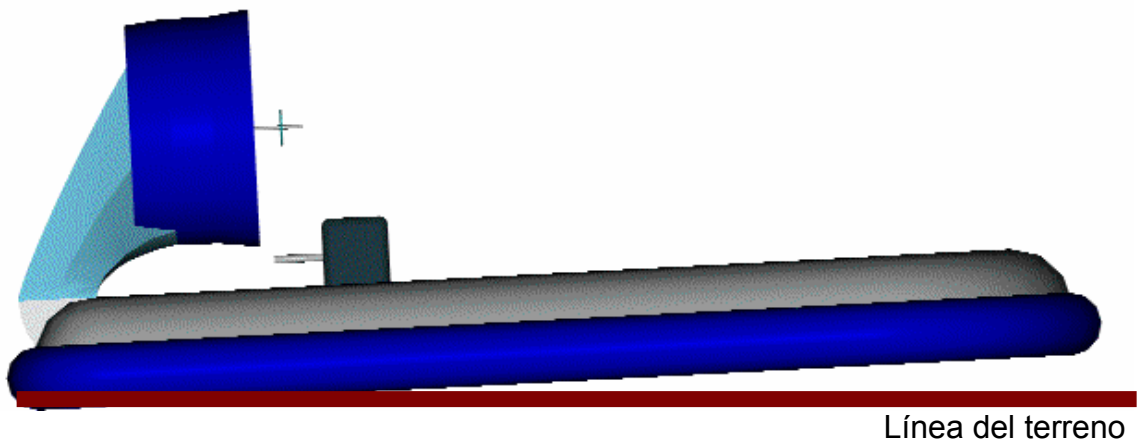
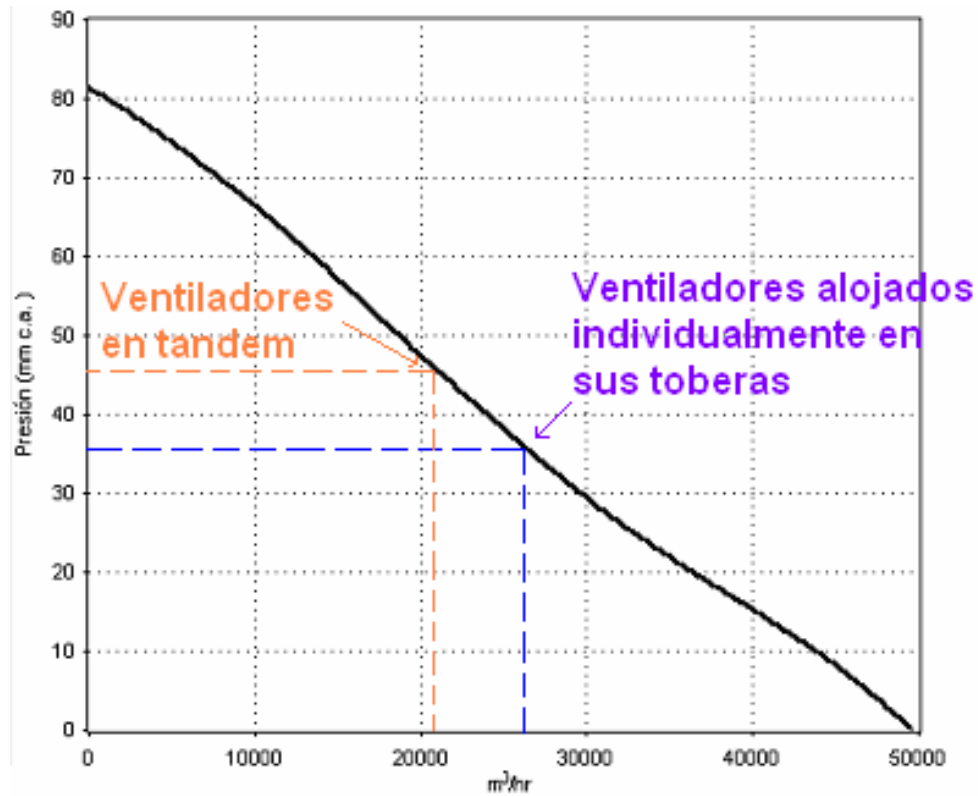


Imagen C.1 Actuación del aerodeslizador

Esto se debe a que el centro de gravedad del vehículo (sin considerar tripulantes) se encuentra en la cercanía de la parte posterior del vehículo, esto con la finalidad de que al ingresar los tripulantes el centro de gravedad del prototipo se desplace hacia delante, generando una actitud horizontal respecto al terreno. Pero como los ventiladores inicialmente propuestos (TAT-1000H); éstos no brindan los valores mínimos requeridos de presión, esto debido a que en el extremo izquierdo de la gráfica de rendimientos del ventilador se considera el conducto totalmente estrangulado y en el extremo derecho de dicha curva se considera descarga libre, en este caso no existe un modo certero de considerar a la tobera de descarga hacia el colchón de aire, es decir se desconoce que tan estrangulada o abierta se encuentra este conducto, solo mediante la medición de presión mencionada en el

capitulo 8 (rendimientos) es posible determinar en que parte de la curva esta operando el ventilador.

Presión vs Caudal



Como muestra la figura anterior, en ninguna de las configuraciones anteriores se alcanzan los valores de presión y caudal requeridos, por lo que al ingresar los tripulantes, el vehículo tiende a bajar la parte delantera y a permanecer en contacto con el terreno.

El prototipo existente puede servir como banco de pruebas para desarrollar sistemas de control para vehículos de éste tipo.

DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA POLEA DEL VENTILADOR Y LONGITUD DE LA BANDA.

A partir del arreglo de un embrague o clutch de tipo centrífugo colocado en la flecha del motor, con la finalidad de evitar el movimiento repentino de los ventiladores, se cuenta con un diámetro de la polea acoplada a la flecha del motor de 4.56 pulgadas (11.5887 cm) que en adelante se denominará diámetro del motor, el cuál gira a 2600 RPM y las poleas acopladas a las flechas que mueven a los ventiladores giran a 1650 RPM, de donde se puede establecer la siguiente relación

$$\frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{ventilador}}} = \frac{2600\text{RPM}}{1650\text{RPM}} = 1.57$$

Donde

N_{motor} = velocidad angular del motor.

$N_{\text{ventilador}}$ = velocidad angular del ventilador.

Así relacionamos también los diámetros de las poleas del motor y del ventilador con base en la relación anterior, y se tiene:

$$\begin{aligned}\frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{ventilador}}} &= 1.57 = \frac{\varphi_{\text{ventilador}}}{\varphi_{\text{motor}}} \therefore \\ \varphi_{\text{ventilador}} &= \varphi_{\text{motor}} (1.57) \\ \varphi_{\text{ventilador}} &= (11.5887\text{cm})(1.57) \\ \varphi_{\text{ventilador}} &= 18.1942\text{cm}\end{aligned}$$

Donde

ϕ_{motor} = Diámetro de la polea del motor.

$\phi_{\text{ventilador}}$ = Diámetro de la polea del ventilador.

El valor del diámetro de la polea del ventilador es de 18.1942 cm, o sea 7.16 pulgadas, en el mercado solo se pueden encontrar valores con medidas específicas (no fraccionarias de esta forma) para poleas de aluminio, por lo que se colocaron poleas de 7 pulgadas de diámetro para propulsar los ventiladores aproximadamente a la velocidad determinada.

Determinación de la longitud de la banda.

Se colocó una banda en V tipo A como elemento transmisor de potencia ya que es un medio silencioso y relativamente muy efectivo. Transmite la potencia mecánica del motor a los ventiladores con una menor cantidad de pérdidas.

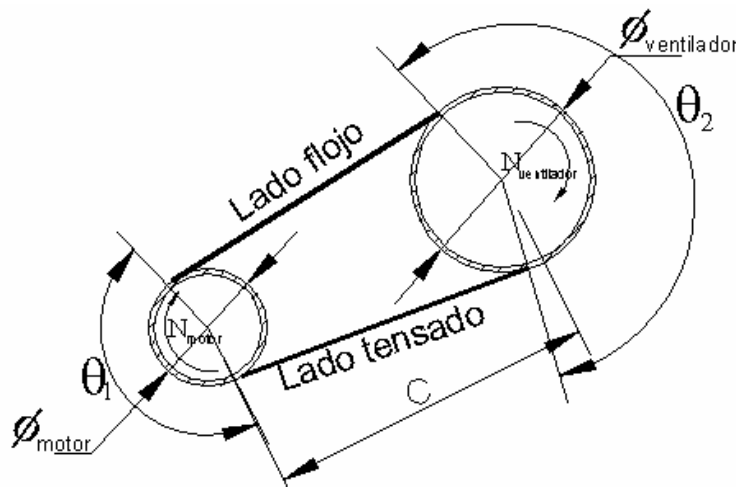


Figura 1. Banda transmisora.

Al transmitir la potencia, la fuerza de fricción que se genera por la tensión inicial de la banda y el tipo de material de ésta, provoca que la misma se adhiera a la polea impulsora (motor), y así, se incrementa la tensión en un lado al que se denomina "lado tensado", el lado opuesto de la banda aún está en tensión pero en menor magnitud, por lo que se le llama "lado flojo".

Los ángulos de contacto θ_1 y θ_2 son aquellos subtendidos por la sección de la banda que se enrolla en cada una de las poleas respectivamente, y se determinan aproximadamente de la siguiente manera.

$$\theta_1 = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left[\frac{\varphi_{\text{ventilador}} - \varphi_{\text{motor}}}{2c}\right]$$

$$\theta_1 = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left[\frac{18.1942\text{cm} - 11.5887\text{cm}}{2(93\text{cm})}\right]$$

$$\theta_1 = 3.07\text{rad} = 175.9^\circ$$

$$\theta_2 = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left[\frac{\varphi_{\text{ventilador}} - \varphi_{\text{motor}}}{2c}\right]$$

$$\theta_2 = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left[\frac{18.1942\text{cm} - 11.5887\text{cm}}{2(93\text{cm})}\right]$$

$$\theta_2 = 3.21\text{rad} = 184^\circ$$

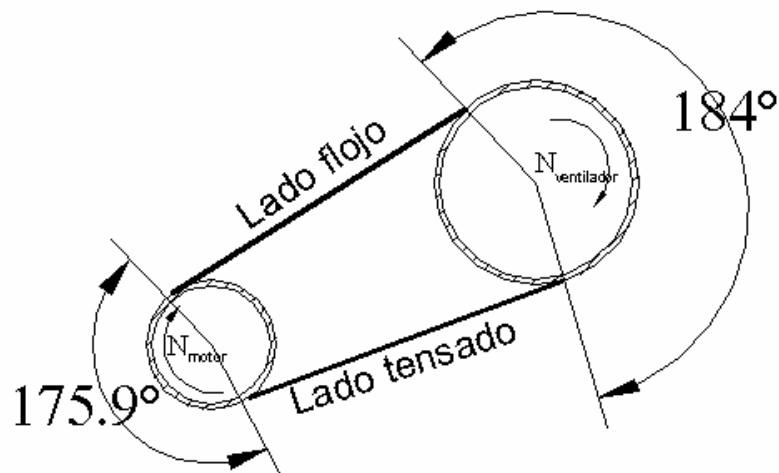


Figura 2. Ángulos de contacto θ_1 y θ_2 .

Donde

C = Distancia horizontal entre centros de ejes (motor-ventilador).

Se determina la longitud de la banda.

$$L = \sqrt{4c^2 - (\varphi_{\text{ventilador}} - \varphi_{\text{motor}})^2} + \frac{1}{2}[(\varphi_{\text{ventilador}})(\theta_1) - (\varphi_{\text{motor}})(\theta_2)] \quad (1.a)$$

Sustituyendo valores de la ecuación 1.a.

$$L = \sqrt{4(78.1506\text{cm})^2 - (18.1942\text{cm} - 11.5887)^2} + \frac{1}{2}[(18.1942\text{cm})(3.21) - (11.5887)(3.07)]$$

$$L = 208.7\text{cm} = 82.16\text{pulgadas}$$

Ya que en el mercado de manera similar a las poleas, solo se cuenta con valores de longitudes enteros (no fraccionarios), por lo que se ha elegido una banda de un valor de:

$$L = 82\text{pulgadas.}$$



Figura 3. Banda en V de 82 pulgadas.
Tomada con fines didácticos. [Ref. ¹]

Determinación de las fuerzas de tensión del lado “Tenso” y el lado “Flojo”.

Características geométricas y másicas de la banda.

El área de la sección transversal de la banda en V tipo A es:

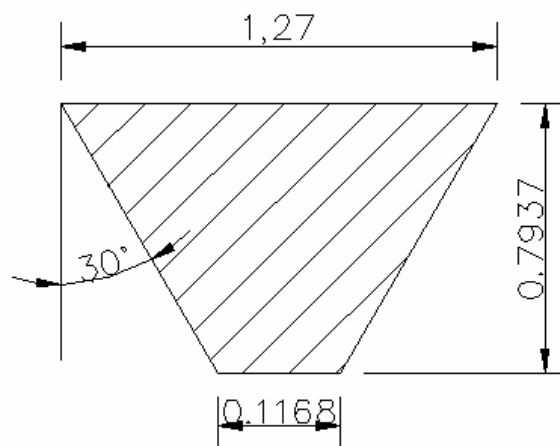


Figura 4. Sección transversal de la banda. Acot.: cm.

Se calcula el área de la sección transversal de la banda que en este caso es un trapecio.

$$A = \frac{(B+b)h}{2}$$

$$A = \frac{(0.0127\text{m} + 1.168 \times 10^{-3}\text{m})(7.937 \times 10^{-3}\text{m})}{2} = 5.503 \times 10^{-5}\text{m}^2$$

Enseguida se calcula el volumen de la banda multiplicando el área de la sección transversal de la banda por su longitud.

$$V = (A)(L)$$

$$V_{\text{banda}} = (5.503 \times 10^{-5}\text{ m}^2)(2.087\text{m}) = 1.148 \times 10^{-4}\text{ m}^3$$

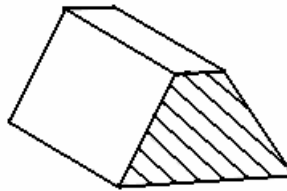


Figura 5. Muestra la sección de banda (isométrico).

Cuando se transmite potencia mecánica, la fuerza de fricción generada por las fuerzas de tensión de la banda, provocan que la banda se adhiera a la polea impulsora y a su vez, se incrementa la tensión en un lado a que se le denomina lado tenso.

La fuerza de tracción que se genera en la banda transmite una fuerza tangencial sobre la polea acanalada que a su vez es impulsada, por consecuencia, se genera un par de fuerzas o se aplica un torque a la flecha acoplada a la polea, misma que se ve impulsada a girar.

El lado opuesto de la banda aún esta en tensión, pero de menor valor, por lo que se le denomina lado flojo.

Podemos calcular la tensión generada en los lados tenso y flojo de la banda utilizando la siguiente fórmula.

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{f\theta} \quad (1.b)$$

Donde:

F_c = Fuerza centrífuga en la polea del motor.

F_1 = Tensión en el lado tenso de la banda.

F_2 = Tensión en el lado flojo de la banda.

ef^θ = coeficiente de fricción

La fuerza centrífuga se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$F_c = \left(\frac{V \rho_{\text{banda}}}{L} \right) V_{\text{tan}}^2 \quad (1.c)$$

Donde:

ρ_{banda} = Densidad del material de la banda.

V = Volumen de la banda.

V_{tan} = Velocidad tangencial en la polea del motor.

Primeramente se calcula la velocidad tangencial.

$$V_{\text{tan}} = \omega R \quad (1.d)$$

Donde:

ω = velocidad angular; $(2\pi N_{\text{motor}}) \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$

R = radio de la polea del motor.

Se sustituyen valores en la ecuación 1.d.

$$V_{\text{tan}} = \left(272.27 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) (0.05794\text{m}) = 15.7753 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tomando en cuenta que el peso de la banda es de 2.1582 Newtons, podemos determinar la densidad del material como se muestra a continuación:

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{material}}}$$

Primeramente determinamos la masa de la banda.

$$\begin{aligned} W &= mg \text{ .:} \\ m &= \frac{W}{g} \\ m &= \frac{2.1582\text{N}}{9.81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.220\text{kg}_m \end{aligned}$$

Ahora podemos saber la densidad del material.

$$\rho_{\text{banda}} = \frac{0.220\text{kg}_m}{1.148 \times 10^{-4} \text{m}^3} = 1916.37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ahora bien, se sustituyen los valores antes obtenidos para determinar la fuerza que genera la banda sobre ella misma por efectos “centrífugos” y que se ve reflejada en las tensiones generadas del lado flojo y tenso.

Aquí se observa que a altos valores de velocidad, la banda por efecto centrífugo, tiende a “irse” hacia fuera o a despegarse de las poleas, y por consecuencia su capacidad de adherencia disminuye, reduciendo así la capacidad de transmisión de potencia mecánica.

El valor de la fuerza centrífuga debida a las capacidades geométricas, másicas y de comportamiento dinámico, es la siguiente:

$$F_c = \left(\frac{\left(1.148 \times 10^{-4} \text{m}^3 \right) \left(1915.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{2.087\text{m}} \right) \left(15.7753 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 26.2334\text{N}$$

La “fuerza centrífuga” es generada debido a la inercia de la banda de continuar en una dirección, debido a que se considera un sistema de referencia no inercial.

Se determinan los valores de coeficientes de rozamiento, tomando un valor de $f = 0.35$ considerado para bandas de caucho o hule. [ref. 1.]

$$ef^{\theta_2} = e^{(0.35)(3.21)} = 3.0756$$

$$ef^{\theta_1} = e^{(0.35)(3.07)} = 2.9285$$

Se considera el valor menor correspondiente a la polea menor, y es quien rige el diseño del sistema de la banda y poleas, y se considera como tal por tener la menor capacidad de transmitir la potencia del motor.

Se toma un valor de esfuerzo máximo del material $\tau_{banda} = 15'000,000 \text{ N/m}^2$ [ref. 1] de donde se puede determinar el valor máximo de la tensión que puede soportar la banda, es decir, el correspondiente al lado tenso de la banda.

$$F_1 = (\tau)(A)$$

Sustituyendo valores.

$$F_1 = (15000000 \text{ N/m}^2)(5.503 \times 10^{-5} \text{ m}^2)$$

$$F_1 = 825.45 \text{ N}$$

De la Ecuación 1.b, se determina el valor de la fuerza de tensión del lado flojo de la banda.

$$\frac{(825.45 \text{ N}) - (26.2334 \text{ N})}{F_2 - (26.2334 \text{ N})} = 2.9285$$

$$F_2 = 299.1432 \text{ N}$$

Cálculo de los momentos generados en la flecha del ventilador.

Se determina el momento de torsión como sigue:

$$\text{Momento}_{\text{torsión}} = (F_1 - F_2)(\text{Radio}_{\text{polea impulsora}})$$

$$\text{Momento}_{\text{torsión}} = (825.45 \text{ N} - 299.1432 \text{ N})(0.05794 \text{ m})$$

$$\text{Momento}_{\text{torsión}} = 30.4942 \text{ Nm}$$

Teniendo el valor del momento de torsión, es posible determinar si la flecha sufrirá alguna deformación, sabiendo que el material de la flecha es acero, su diámetro es de 0.0254 metros y su valor de límite elástico es $\tau_{acero} = 529'740,000 \text{ N/m}^2$ [ref. 2], podemos calcular el valor del esfuerzo cortante por torsión como se muestra a continuación.

$$T_{\text{torsión}} = \frac{(M_{\text{torsión}})(r)}{J}$$

Donde

$\tau_{\text{torsión}}$ = Esfuerzo cortante por torsión.

$M_{\text{torsión}}$ = Momento de torsión.

r = radio de la flecha.

J = Momento polar de inercia.

$$J = \frac{(\pi)(r^4)}{2}$$

Así, calculamos el momento polar de inercia.

$$J = \frac{(\pi)(0.0127^4)}{2}$$

$$J = 4.0863 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Se determina el valor del esfuerzo cortante por torsión.

$$\tau_{\text{torsión}} = \frac{(30.4942 \text{ Nm})(0.0127 \text{ m})}{4.0863 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\tau_{\text{torsión}} = 9'477,432.885 \text{ N/m}^2$$

Por lo que, el valor antes calculado es menor al valor del límite elástico del acero, y la flecha no sufrirá deformación por torsión.

Se considera un momento flector como se muestra a continuación:

$$\text{Momento}_{\text{flector}} = (F_1 + F_2)(\text{Distancia}_{\text{polea-ventilador}})$$

$$\text{Momento}_{\text{flector}} = (825.45 \text{ N} + 299.1432 \text{ N})(0.66 \text{ m})$$

$$\text{Momento}_{\text{flector}} = 742.2315 \text{ Nm}$$

Para el cálculo del esfuerzo cortante por flexión, se realiza como se muestra a continuación.

$$\tau_{\text{flexión}} = \frac{M_{\text{flector}} c}{I}$$

Donde

$\tau_{\text{flexión}}$ = Esfuerzo cortante por flexión.

$M_{\text{flexión}}$ = Momento de flexión.

c = radio de la flecha.

I = Momento de inercia.

$$I = \frac{(\pi)(r)^4}{4}$$

Donde el momento de inercia es.

$$I = \frac{(\pi)(0.0127\text{m})^4}{4} = 2.04317 \times 10^{-8} \text{m}^4$$

Se determina el valor del esfuerzo cortante por flexión.

$$\tau_{\text{flexión}} = \frac{(742.2315\text{Nm})(0.0127\text{m})}{2.04317 \times 10^{-8} \text{m}^4}$$

$$\tau_{\text{flexión}} = 461'358,577.6 \text{N/m}^2$$

Considerando que el valor del límite elástico del acero 1045 es $\tau_{\text{acero}} = 529'740,000 \text{N/m}^2$, no se sobrepasa el límite elástico del material.

Cálculo del valor de la potencia mecánica transmitida por el sistema del motor a los ventiladores.

La potencia mecánica efectiva transmitida de la polea impulsora a la polea impulsada se determina por medio de la siguiente relación:

$$H = (F_1 - F_2)V_{\text{tan}} \quad (1.e)$$

Donde:

H = Potencia necesaria en la polea impulsora. (Watt)

F₁ = Tensión en el lado tenso de la banda. (N)

F₂ = Tensión en el lado flojo de la banda. (N)

V_{tan} = Velocidad tangencial en la polea del motor. (m/s)

Sustituyendo los valores en la ecuación 1.e obtenemos el valor de la potencia mecánica transmitida por el sistema del motor a los ventiladores.

$$H = (825.45N - 299.1432N) \left(15.7753 \frac{m}{s} \right)$$
$$H = 8302.64Watt \approx 11.13Hp$$

Considerando que son dos las unidades generadoras o dos ventiladores el resultado es multiplicado por 2.

$$H = (11.13HP)(2)$$
$$H = 22.26HP$$

Poleas y bandas

Referencias bibliográficas.

1. **A. Chevalier**, Dibujo Industrial, Ed. Limusa.
2. http://sidelpa.com/acero_1045.htm.

Referencias de imágenes.

1. www.nuevogatesdemexico.com

COJINETES MONTADOS.

En muchos tipos de maquinaria pesada y máquinas especiales que se fabrican en cantidades pequeñas, se seleccionan cojinetes montados en lugar de los que no están montados, incorporan métodos para unir la unidad de cojinetes directamente al armazón de la maquina mediante tornillos, en lugar de insertarlos en una ranura que se maquina en la carcasa como sucede con los cojinetes no montados.

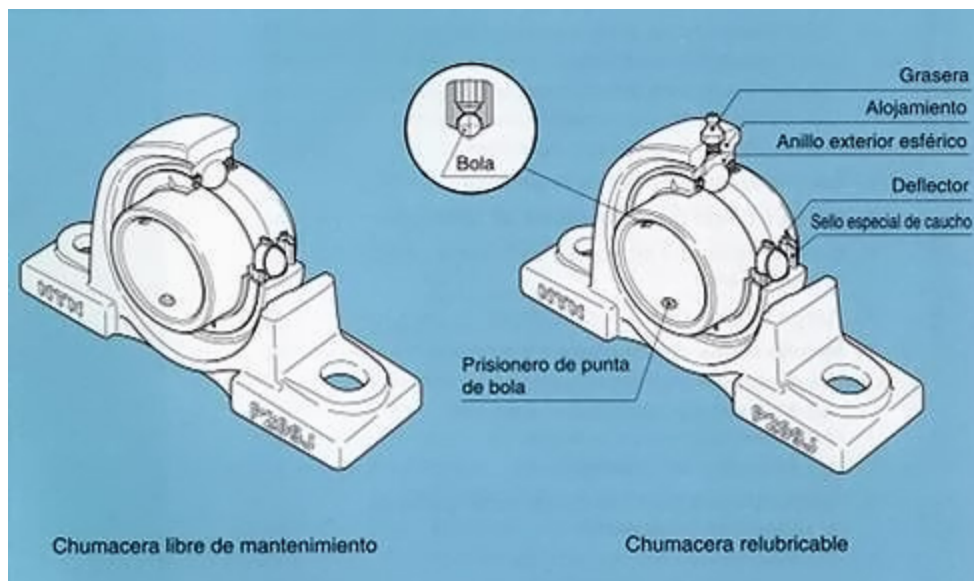


Figura 1. Configuración para un cojinete montado en la caja de chumacera. Imagen tomada con fines didácticos [ref. ¹]

En la figura anterior se muestra la configuración más común para un cojinete montado o chumacera. La carcasa se fabrica con acero formado, hierro fundido con orificios o ranuras que se hacen para conexión durante el ensamble de la

maquina, momento en el cual se ajusta la alineación de la unidad de cojinetes. Los propios cojinetes pueden ser de cualquier tipo, de bola, de rodamientos ahusados o de rodamientos esféricos que son los más favorecidos. La capacidad de desalineación es una consideración importante en la aplicación debido a las condiciones en que se van a utilizar esos cojinetes. Esta capacidad se integra ya sea en la fabricación del propio cojinete o en la carcasa.

Otro tipo de cojinete montados son las unidades provistas de pestaña o reborde, que se diseñan para montarse en los armazones verticales laterales de maquinas, para que sostengan flechas o ejes.



Figura 2. Cojinete montado en la caja de chumacera vertical. Imagen tomada con fines didácticos [ref. ²]

Existen varios tipos de cojinetes en el mercado los cuales trabajan de acuerdo para lo que fueron creados. Solo se profundiza un poco en el tipo de cojinetes montados que se consiguen fácilmente en el mercado que son de cojinete de bola de hilera única, ranura profunda.

Cojinete de bola de hilera única, ranura profunda.

Los cojinetes de bola de hilera única, ranura profunda, que en ocasiones se denominan de Conrad son los más comunes dentro de los cojinetes de bola. Por lo general, la pista de rodamientos interna se presiona contra la flecha en el asiento del cojinete con un ajuste de interferencia pequeño para asegurar que gire junto con la flecha o el eje. Las piezas esféricas giratorias, o bolas, giran dentro de una ranura profunda tanto en los anillos externos como en los internos. El espaciado de las bolas se mantiene mediante dispositivos de retención o

jaulas. La ranura permite que se soporte una carga considerable de empuje porque se diseña con capacidad para soportar la carga radial. La carga de empuje se aplicará en un lado de la pista de rodamientos interna mediante un hombro en la flecha o eje. La carga pasará a lo largo del lado de la ranura, a través de la bola, hacia el lado opuesto del anillo de bolas externo, y después hacia la carcasa.



Figura 3. Cojinete de bola de hilera única.
Imagen tomada con fines didácticos. Apuntes DEM II

El radio de la bola es un poco más pequeño que el radio de la ranura para permitir el rodamiento libre de bolas. Para incrementar la capacidad de un cojinete de hilera única, se debe utilizar un cojinete que tenga un mayor número de bolas o bolas más grandes que funcionen en pistas de rodamientos más grandes.

Flecha o eje.

Una flecha o eje es el componente de los dispositivos mecánicos que transmite energía rotacional y potencia. Es parte integral de dispositivos o artefactos como reductores de velocidad tipo engrane, impulsores de banda o cadena, transportadores, bombas, ventiladores y muchos tipos de equipo para automatización. En el proceso de transmitir potencia a una velocidad de giro o velocidad rotacional específica, el eje se sujeta de manera inherente, a un momento de torsión o torque. Por consiguiente, en el eje se genera tensión por esfuerzo de corte debido a la torsión. Por lo regular, un eje soporta componentes transmisores de potencia como engranes, poleas acanaladas para bandas o

ruedas dentadas de cadena, que ejercen fuerzas sobre el eje en sentido transversal, es decir perpendicular a su eje, esta fuerza transversal provoca que se generen momentos de flexión en el eje.

Cuñas de unión.

Una cuña de unión es un componente de maquinaria que se coloca en la interfase entre el eje y la maza de una pieza que transmite potencia con el fin de transmitir torque. La cuña es desmontable para facilitar el ensamble y desarmado del sistema de eje. Se instala dentro de una ranura axial que se maquina en el eje, la cual se denomina cuñero. A una ranura similar en la maza de la pieza que transmite potencia se le da el nombre de asiento de la cuña, si bien, propiamente, es también un cuñero por lo regular la cuña se instala primero en el cuñero de la flecha, luego el cuñero de la maza se alinea con la cuña y la maza se desliza hasta quedar en su sitio.

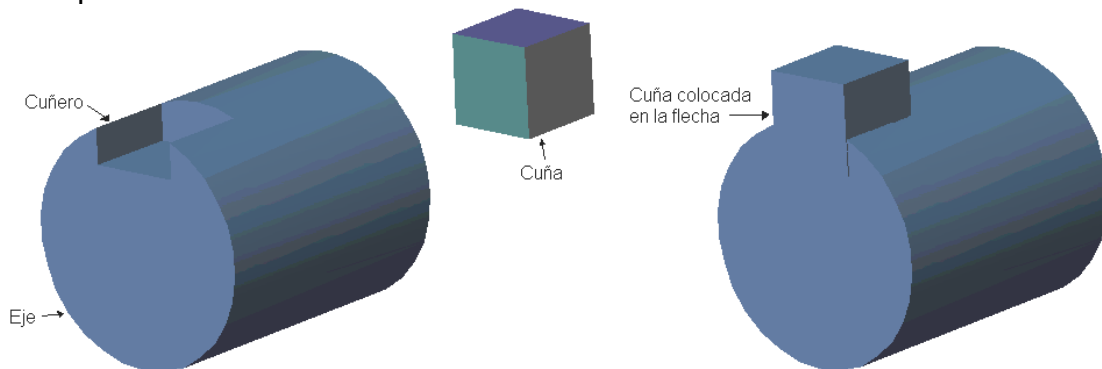


Figura 4. Cuña de unión.

Cuñero.

Un cuñero consiste en una ranura longitudinal que se corta en un eje o una flecha para montar una cuña, como se muestra en la figura 3, esto permite transferir torque a partir del eje hacia un elemento que transmite potencia o viceversa.

Embrague.

Un embrague es un dispositivo que se emplea para conectar o desconectar un componente que es impulsado de la planta motriz principal del sistema. Su objetivo principal es transmitir potencia mecánica y función es la de unir los ejes axialmente de manera no permanente.

Embrague Centrífugo.

En ocasiones se utiliza un embrague centrífugo a fin de permitir que el sistema que es impulsado acelere sin que exista una carga conectada. Así, a una velocidad que se selecciona por anticipado, la fuerza centrífuga mueve las piezas del embrague para que entren en contacto y conecten la carga. Conforme el sistema aminore su velocidad, la carga se desconectará de manera automática.

El funcionamiento de este se basa en la fuerza centrífuga que hace que un elemento de fricción se desplace hacia fuera y haga presión contra un tambor situado en el elemento conducido, siendo mayor la fuerza de rozamiento cuando la velocidad es más alta.

Las características más importantes de este tipo de embragues:

- a) El árbol impulsor alcanza casi siempre su velocidad de funcionamiento antes de que el motor este sometido a un par importante.
- b) Por consiguiente, el tamaño de la maquina motriz puede ser menor de lo que seria necesario si se necesitase un alto par de arranque a baja velocidad.
- c) El embrague puede ser proyectado para que deslice antes de que ocurra una sobrecarga peligrosa.

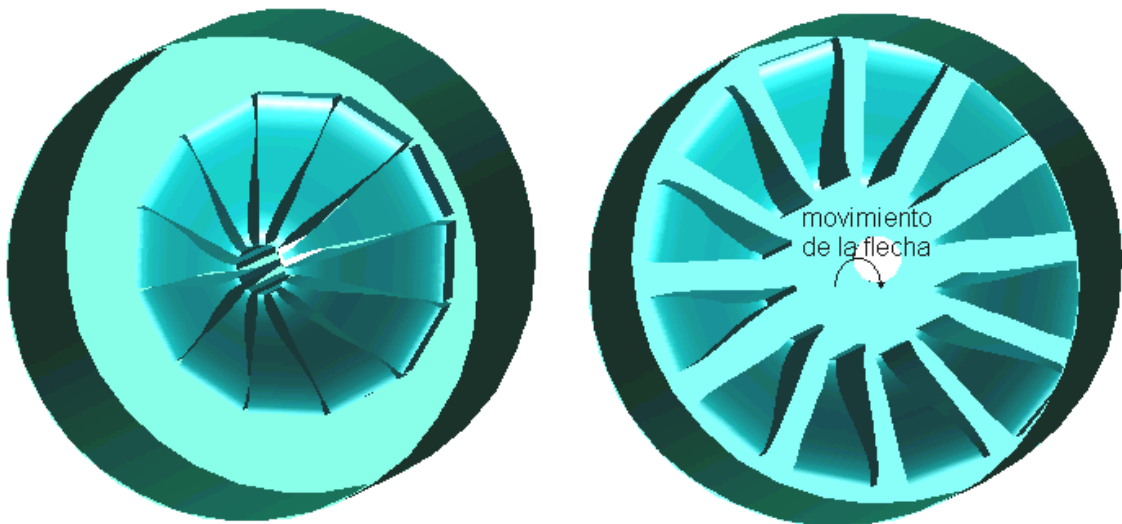


Figura 5. Embrague centrífugo.

Elementos mecánicos

Referencias Bibliográficas.

1. **VIRGIL MORING FAIRES**, Diseño de elementos de máquinas, Ed. UTEHA, México, 1990, 802 pp.
2. **ROBERT L. MOTT**, Diseño de elementos de máquinas, Ed. Prentice hall, México, 1995, 787 pp.

Referencias de imágenes.

1. <http://www.ntnmexico.com.mx/images/componentes.jpg>
2. <http://www.indsvs.com/photogallery/salvageQM93d503.jpg>

Introducción.

Referencias Bibliográficas

11. . http://www.prefectura naval.org.ar/organismos/dpsn/glosario_nautico.htm

Antecedentes

Referencias Bibliográficas.

A1. <http://www.histarmar.com.ar/InfGral/Hovercraftbase.htm>

Referencias de imágenes.

A1. <http://www.hovercraft-museum.org/images/scc11.jpg>

A2. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn123.jpg>

A3. <http://www.hovercraft-museum.org/images/va31.jpg>

A4. <http://www.hovercraft-museum.org/images/pow20.jpg>

A5. <http://burnham-on-sea.com/barb/hovercraft-photos.html>

A6. http://www.hoverdril.com/ice_breaker_ship.htm

Justificación.

Referencias Bibliográficas.

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

2. **WILLIAM T. GUNSTON**, Hydrofoils and Hovercraft, Ed. Doubleday and Company Inc. Estados Unidos de Norteamérica, 1970, 192 pp.

Capítulo 1

Referencias Bibliográficas

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

Referencias de imágenes

1. <http://www.universalhovercraft.com/>

2. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn123.jpg>

3. <http://www.hovercraft-museum.org/images/cc1-1.jpg>

4. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn210.jpg>

5. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/britnorm/lcc2.jpg>

6. <http://www.hovercraft-museum.org/images/va31.jpg>

7. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/cc5/lcc51.jpg>
8. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/hdl/lhd1.jpg>
9. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn317.jpg>
10. <http://www.quicktechhobby.com/Hovercrafts/Hovercrafts/srn4-lrg.jpg>
11. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn51.jpg>
12. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn6-ccg-3.jpg>
13. <http://members.lycos.co.uk/bartieshover/hdl/lhd23.jpg>
14. <http://www.hovercraft-museum.org/images/bh7mk4-01.jpg>
15. http://www.hovercraft.com/info/images/asve2_1.jpg
16. http://www.hovercraft.com/info/images/13pt_3.jpg
17. http://www.hovercraft.com/info/images/13p_2.jpg
18. http://www.hovercraft.com/info/images/12t4_1.jpg
19. <http://www.hovercraft.ru/foto/sobol16.jpg>
20. http://www.hovercraft.com/info/images/10t2_2.jpg
21. http://www.hovercraft.com/info/images/10f2_1.jpg
22. http://www.hovercraft.com/info/images/10ft_3.jpg
23. http://www.hovercraft.com/info/images/6ft_1.jpg
24. http://www.hovercraft.com/info/images/12r_2.jpg
25. http://www.hovercraft.com/info/images/13t_3.jpg
26. http://www.hovercraft.com/info/images/14pt_3.jpg
27. http://www.hovercraft.com/info/images/15p_1.jpg
28. http://www.hovercraft.com/info/images/15ta_3.jpg
29. http://www.hovercraft.com/info/images/16s_1.jpg
30. http://www.hovercraft.com/info/images/17t_1.jpg
31. http://www.hovercraft.com/info/images/19p_3.jpg
32. <http://www.hoverhire.co.uk/skima4.html>

Capítulo 2

Referencias Bibliográficas

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.
2. **G.H. ELSLEY & A.J. DEVEREUX**. Hovercraft Design and construction. Ed. David & Charles Newton Abbot, Great Britain, 1968, 262pp.

Capítulo 3

Referencias bibliográficas.

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.
2. **MONROY ACEVES CARLOS**, Diseño y Manufactura de Hélices con Flechado Mediante Procesos de CAD y CAM Para su Experimentación en Túnel de Viento, Tesis Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN, México 2003
3. **P. FITZPATRICK**. Calculación of a ducted fan assembly for hovercraft. Hovercraft Club of Great Britain. (Apuntes).

4. Catalogo general 2005 Soler y Palau. Programa de selección de producto Easyvent 1.8 (CD).

5. **JEREMY KEMP**. The Hovercraft Constructor's Guide. Reino Unido.(Cd)

Referencias de imágenes.

1. Catalogo general 2005 Soler y Palau. Programa de selección de producto Easyvent 1.8 (CD).

Capitulo 4

Referencias bibliográficas.

1. **G.H. ELSLEY & A.J. DEVEREUX**. Hovercraft Design and construction. Ed. David & Charles Newton Abbot, Great Britain, 1968, 262pp.

2. **RODRÍGUEZ IBARRA FAUSTO H.** Método para la obtención de la gráfica polar de un avión. Publicación L.A.

3. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

Referencias de imágenes

1. <http://www.mikekemble.com/mside/images/va3w.jpg>

2. **WILLIAM T. GUNSTON**, Hydrofoils and Hovercraft, Ed. Doubleday and Company Inc. Estados Unidos de Norteamérica, 1970, 192 pp.

3. <http://www.asieuropeltd.com/images/photo4.jpg>

4. <http://www.hovercraft-museum.org/images/srn6-5mus5.jpg>

5. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

6. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/images/lcac-rampwrk4.jpg>

7. <http://www.hoverwork.com/content/srn4.JPG>

8. <http://www.hoverwork.com/content/ice1.jpg>

Capitulo 5

Referencias Bibliográficas.

1. **LIAN YUNG & ALAN BLIAULT**, Theory and Design of Air Cushion Vehicle, Ed. Arnold Hodder Headline, Great Britain, 2000, 611 pp.

Referencias de imágenes.

1. http://www.australianhovercraft.com/design_skirts.htm

2. <http://aernav.free.fr/Naviplane/N300/EvolutionJupes/EvolutionJupes.html>

3. <http://www.hovercraft-museum.org/images/bh7tech13.jpg>

Capitulo 6

Referencias Bibliográficas

1. **MERLE C. POTTER & DAVID C. WIGGERT**, Mecánica de Fluidos, Ed. Prentice Hall México, 1998, 711 pp.

Capítulo 7.

Referencias bibliográficas.

1. **Catalogo general 2005 Soler y Palau**. Programa de selección de producto Easyvent 1.8 (CD).
2. <http://www.kohlerengines.com/onlinecatalog/productdetail.jsp?engnID=2460>
3. **EDWARD G. PITA**. Acondicionamiento de aire. CECSA 1998 pp. 548.
4. **ING. DUILIO D'ARSIÉ**, Plásticos reforzados con fibra de vidrio, Editorial Américalee, Buenos Aires, Argentina, 1967, 248 pp.
5. <http://www.honeycomb.com.mx>
6. http://es.wikipedia.org/wiki/Espuma_de_poliuretano
7. <http://www.plastifom.com/especificaciones.htm>
8. <http://www.aimsa.com/tecnicos.htm>
9. Información proporcionada por Bullton-Hysol de México, fichas técnicas.
10. <http://www.poliformasplasticas.com.mx/productos/resinas.htm>
11. <http://www.poliformasplasticas.com.mx/productos/gelcoat.htm>
12. **MERLE C. POTTER, DAVID C. WIGGERT**, Mecánica de Fluidos, Ed. Prentice Hall México, 1998, 711 pp.
13. **JEREMY KEMP**. The Hovercraft Constructor's Guide. Reino Unido.(Cd)
14. **FRANK P. BLEIER**, Fan Handbook Selection, Application, and Design, Ed. McGrawHill. Estados Unidos de Norteamérica, 1997.

Referencias de imágenes.

1. <http://www.kohlerengines.com/onlinecatalog/productdetail.jsp?engnID=2460>
2. <http://www.honeycomb.com.mx>

Capítulo 8

Referencias de Imágenes.

1. <http://www.r-p-r.com/anemometro.htm>
2. <http://www.pce-iberica.es>
3. http://www.pce-iberica.es/tienda-online/index.html?target=dept_39.html

Anexos

Poleas y bandas

Referencias bibliográficas.

1. **A. Chevalier**, Dibujo Industrial, Ed. Limusa.
2. http://sidelpa.com/acero_1045.htm.

Referencias de imágenes.

1. www.nuevogatesdemexico.com

Elementos mecánicos.

Referencias Bibliográficas.

1. **VIRGIL MORING FAIRES**, Diseño de elementos de máquinas, Ed. UTEHA, México, 1990, 802 pp.
2. **ROBERT L. MOTT**, Diseño de elementos de máquinas, Ed. Prentice hall, México, 1995, 787 pp.

Referencias de imágenes.

1. <http://www.ntnmexico.com.mx/images/componentes.jpg>
2. <http://www.indsvs.com/photogallery/salvageQM93d503.jpg>