



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Sánchez López, Carlos; Saucedo Zárate, Carlos Humberto
Caracterización del efecto suelo, su uso en dispositivos para manejo de materiales
Conciencia Tecnológica, núm. 24, 2004
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402408>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CARACTERIZACION DEL EFECTO SUELO, SU USO EN DISPOSITIVOS PARA MANEJO DE MATERIALES

Investigación Científica Tecnológica

Sánchez López Carlos, Saucedo Zárate Carlos Humberto

Departamento de Metal Mecánica; Instituto Tecnológico de Aguascalientes; Av. López Mateos, esq. Av. Tecnológico; CP 20255; Tel. (449) 9105002 ext. 104; carlossl@seit.ita.mx

Resumen

La transportación de materiales es una necesidad diaria en cualquier tipo de empresa o negocio. En la actualidad encontramos en el mercado una gran variedad de sistemas o dispositivos usados para dicha actividad, cuyo sistema requiere además de la potencia para el levante de la carga, potencia para el desplazamiento de un lugar a otro. Algunos de estos son elevadores de cangilones, bandas transportadoras, carros móviles, patines, montacargas.

Este trabajo esta dirigido al mejoramiento del transporte y la manipulación rápida de objetos mediante un dispositivo para manejo de materiales usando el principio de efecto suelo, es decir formar un colchón de aire (air cushion) debajo de las plataformas que llevan materiales de un lugar a otro.

El fin de este desarrollo, es identificar las variables de diseño y su efecto en la generación y sustentación del efecto suelo, para su aplicación en dispositivos de manejo de materiales de cargas ligeras, en el cual se use el mínimo esfuerzo y tiempo mediante la disminución de la fricción existente entre los elementos de tracción y el piso de las plataformas convencionales además de reducir mantenimientos caros y por supuesto espacio de trabajo.

Palabras Clave: Colchón de aire, Dispositivo, Manejo de Material, Diseño, Air cushion.

Introducción

Según estudios realizados hasta nuestros días, se estima que del 100% del tiempo del ciclo de producción de cualquier producto, aproximadamente sólo el 5% es usado para transformar materia prima en un producto útil, esto quiere decir que el 95 % del tiempo del ciclo de producción es usado en el manejo de los materiales o en su almacenamiento. Estos datos dan la pauta para ir en la búsqueda de reducción de estos tiempos. Así mismo, prácticamente en todos lados se presenta la necesidad de transportar algún material.

En la actualidad el mercado de la transportación de materiales, concretamente la terrestre operados por medios mecánicos, es cada vez mas extenso y competido. Es posible encontrar una gran variedad de marcas, estilos, calidades, formas, principios de funcionamiento y precios, tanto nacionales como de procedencia extranjera. Lo anterior hace que los fabricantes de estos estén obligados a ofrecer a los usuarios finales productos que tengan características óptimas de funcionalidad al costo mas bajo posible.

Por otra parte, de la extensa variedad de productos que se transportan existen algunos que se ven afectados por las vibraciones que se inducen al ser transportados con dispositivos que emplean sistemas de tracción por deslizamiento o por rodadura. En otros casos se dificulta el traslado por las irregularidades del piso por el cual se tiene que transitar, requiriendo que el usuario realice mayor esfuerzo del que debe ser necesario para efectuar dicha actividad.

Los actuales sistemas de transporte terrestre para manejo de materiales, necesitan de al menos un persona para manejarlos, tales son los casos de cualquier aditamento que se use para mover materiales de una estación a otra, los cuales usan principios mecánicos en su gran mayoría. Algunos ejemplos de estos son las bandas transportadoras, rieles y ruedas, plataforma con patines, carretillas. Estos dispositivos para manejo de materiales presentan problemas de uso restringido, por ejemplo las bandas transportadoras y los rieles solamente permite movimiento sobre el eje axial (longitudinal) del dispositivo, los montacargas difícilmente se pueden desplazar sobre terrenos muy irregulares o librar obstáculos como un escalón, en un pasillo de una empresa que maneja sus materiales por medio de plataformas con patines, es necesario dejar un espacio para maniobrar y dar la vuelta o cambiar de dirección durante su desplazamiento con el dispositivo cargado, sin embargo con un dispositivo de efecto suelo solo se dejaría el espacio suficiente para que este pase, ya que simplemente puede cambiarse la dirección y/o sentido de la fuerza de empuje pudiéndose lograr cambios de dirección de 90° con radios de curvatura aproximadamente nulos.

Lo anterior presenta la necesidad de encontrar alguna alternativa que permita obtener un dispositivo para manejo de materiales cuyo funcionamiento no involucre el uso de sistemas de tracción convencionales, reducir los efectos de las irregularidades del terreno, evitando al máximo la transmisión de vibraciones hacia el producto, reducir el esfuerzo humano en caso de dispositivos manuales. Por lo tanto, se tiene como objetivo el desarrollo de un dispositivo flotante para un sistema de transporte que mejore las características de funcionamiento antes citadas. Además de poder reducir la potencia total requerida en el manejo de los materiales (trabajo de levante + trabajo para el desplazamiento).

Metodología

Se buscó identificar cuales son los medios más utilizados para manejo de materiales de cargas entre 50kg a 100kg, obteniéndose los siguiente porcentajes.

Tabla 1 Porcentajes de sistemas para manejo de materiales mas usados en nuestro país.

Sistemas más usados en las empresas mexicanas				
Patines	Carretillas hidráulicas	Bandas transportadoras	Rieles con ruedas	ACV*
25 %	30 %	30 %	12 %	3 %

* Vehículo con Colchón de Aire

El uso tan bajo de los Vehículos con Colchón de Aire (ACV), dio la iniciativa en proyectar un dispositivo para manejo de materiales cuyo principio de funcionamiento se base en el principio utilizado en los ACV, logrando emplear los máximos rendimientos y considerables mejorías en su aplicación, aprovechando su potencial aplicación en actividades de transporte de materiales. Por lo tanto, uno de los propósitos de este trabajo es proporcionar una alternativa para el manejo de materiales basada en el diseño y construcción de un vehículo de colchón de aire, cuya potencia de desplazamiento se reduce en gran proporción con respecto a dispositivos cuya tracción presenta un contacto directo con el piso.

Posteriormente la investigación se enfocó a la búsqueda de los antecedentes del uso del efecto suelo [1], [2], [3], [4], [5]. En la historia de estos aparatos se dice que Emmanuel Swedenborg fue el primer hombre que uso un colchón de aire para mover una plataforma sobre otra, esto ocurrió en el año 1716. Posteriormente Sir Jhon Thornycroft de la Gran Bretaña en 1870 concibió el concepto de “cámara plenum”, la cual en su principio mas sencillo es una

caja abierta por el fondo donde se bombea aire directamente a la cavidad debajo de esta con el objetivo de levantarla sobre la superficie donde se encuentre reduciendo así la fricción considerablemente entre la superficie y la estructura. Sin embargo, en 1925, una patente fue registrada por V. F. Casey para el uso de la recirculación de energía en el diseño de máquinas voladoras, este principio fue retomado en los años sesenta en los Estados Unidos y Canadá, pero fue rápidamente desacreditado por el desarrollo de faldones.

Estos y otros antecedentes, formaron las bases de varios métodos de soporte usando los colchones de aire. Pero no fue hasta los años cincuentas cuando Sir Christopher Cockerell de la Gran Bretaña, encontró un método para contener un colchón de aire. Cockerell diseño una nave con estructura de forma de una circunferencia que en su fondo dejaba salir aire que había sido inyectado previamente. Estos experimentos ayudaron para diseñar y construir un aparato con el nombre SR-N1 de la compañía Saunders-Roe en 1959 (ahora Westland Aerospace). Este primer modelo se construyó para tres pasajeros y se manejaba a velocidades relativamente bajas, además que solamente fue probado en aguas tranquilas y tierra firme. Cockerell siguió investigando y se percató que la fuerza de un chorro periférico necesitaba algo que mantuviera el aire presurizado, lo cual lo llevó a usar un faldón en el borde del aparato, para ayudarlo a mantenerlo estático. El faldón es uno de los cinco componentes principales de los ACV, los otros cuatro son la estructura, la ingeniería usada, el sistema de levante y el sistema de propulsión. El uso de un colchón de aire es para proveer de un soporte y reducir al máximo la fricción de vehículos contra el piso los cuales han tomado muchas formas, P.J. Mantle da una descripción definitiva de muchos tipos de naves que son usadas con este principio. A continuación se presenta una clasificación representativa de los tipos de AGV.

Vehículos de colchón de aire.

Hidroestáticos.

(Cascos de desplazamiento)

Hidriquilla

Baja velocidad.

Hidrodinámicos.

(Cascos de plano)

Vehículos de efecto superficie, SES-100A, SES-100B

Baja velocidad.

Aerostáticos

Air lubd.

Hidriquilla

Baja velocidad.
Plenum, Bertin, Carabao, VT1
Vehículos de efecto
superficie, SES-100A, SES-
100B

Baja velocidad.
Chorro periférico, SR.N1
Canal de flujo, VRC-1
Alta velocidad

Recirculación
Canal de flujo, VRC-1
Alta velocidad

Aerodinámicos.
WTG
Canal de flujo, VRC-1
Alta velocidad

Aleta de ataque, Kaario, Lippisch, X-
113
Canal de flujo, VRC-1
Alta velocidad

Continuando con el desarrollo del proyecto se identificaron las principales características que tiene un vehículo con colchón de aire. La máquina de colchón de aire, también llamada Hovercraft o Ground Effect Machine, es un vehículo que puede desplazarse en diversas superficies y cuya principal característica es que la carga que transporta es soportada por aire a presión creado entre el dispositivo y la superficie donde se encuentra. En términos generales, existen dos clases de máquinas de colchón de aire, aquellas que generan su propia presión diferencial respecto de la velocidad hacia delante, llamada nave aerostática y denotada por el acrónimo ACV; y aquellas que requieren de velocidad hacia adelante antes que la presión diferencial pueda ser alcanzada, llamadas aerodinámicas o GEM. Los "Hovercrafts" o vehículos de efecto suelo, presentan una potencia de levante aproximadamente de la tercera parte de la potencia total usada para levantar y mover el vehículo, reduciendo de ésta forma las fuerzas de arrastre que se oponen al movimiento del vehículo, esto los convierte en anfibios con la capacidad de desplazarse sobre cualquier tipo de superficie (tierra, agua, hielo, fango). Dentro de las alternativas de transporte se encuentran los "Hovercrafts", cuyo principio de colchón de aire ha sido empleado en otras aplicaciones tales como transbordadores, vehículos de asalto, busca minas, vehículos de rescate, rompehielos, plataformas, remolques de gran capacidad de carga, vehículos recreativos, así como sistemas de lubricación y plataformas para el desplazamiento de maquinaria pesada.

Los ACV presentan una serie de características que impactan directamente en las formas de trabajar de estos dispositivos, destacando las siguientes:

Tabla 2 Características técnicas de los Vehículos con Colchón de Aire [1].

Característica	Impacto de las características
Baja resistencia.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Alta velocidad con bajo poder ◆ Lo hace anfibio ◆ Alta maniobrabilidad
Baja presión de pisada	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Seguridad ecológica
Faldones flexibles.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lo hace pasar sobre objetos. ◆ Baja resistencia a los obstáculos. ◆ Parte de un sistema de suspensión. ◆ Ayuda al control y maniobrabilidad. ◆ Contribuye a la estabilidad del vehículo.
Colchón de aire autogenerado	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mecanismo de levante autónomo. ◆ Control direccional. ◆ Ahorro de energía. ◆ Flexibilidad en el diseño.
Mecanismo de propulsión	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aceleración y desaceleración. ◆ Control direccional. ◆ Flexibilidad en el diseño.

Baja resistencia. Una característica importante, que desde el inicio Sir Cristopher Cockerell buscaba, es la baja resistencia a la traslación del dispositivo ya que su sustento era un colchón de aire. Esta relativa libertad de la superficie sobre la cual opera, le da no sólo baja resistencia al deslizamiento en todas las formas de terreno, sino también lo hace un vehículo anfibio que puede moverse sobre diferentes superficies en una forma continua de operación. Esta característica no puede ser igualada por otros vehículos de transporte a excepción de globos aéreos, barcos que usan flotadores de aire y por supuesto las naves aéreas. La baja resistencia del colchón de aire hace que los hovercrafts trabajen eficientemente, por ejemplo, con poca potencia sobre un amplio rango de velocidades, dependiendo del tamaño y configuración del mismo [1], [2].

Baja presión de pisada. El efecto de esta baja presión de pisada (1400 N/m² a 8400 N/m²) tiene como ventaja reducir la resistencia sobre agua. La baja presión de pisada es también significativa cuando opera sobre un terreno sensible y no preparado, como por ejemplo los requerimientos de operación sobre la tundra en el Ártico, la máxima presión de contacto para evitar el daño ecológico no debe ser mayor que 2400 N/m² para operar en la tundra y no más de 5200 N/m² para operar sobre pantanos lo cual nos muestra que es compatible con la presión de pisada de los hovercrafts. En contraste la presión de una llanta de automóvil necesita de 24000 N/m², es decir 10 veces más que los necesarios en los hovercrafts [1], [2].

Faldones flexibles. El faldón del hovercraft es una característica que eleva a la máquina de un claro pequeño, a un vehículo de transporte funcional con un circuito de lubricación por aire. Las funciones de los faldones son:

- Contener el colchón de aire y proteger la estructura de obstáculos.
- Para servir como una extensión de baja rigidez que ayuda al dispositivo a moverse sobre obstáculos y olas.
- Por diferentes arreglos geométricos, para contribuir a la rigidez y al amortiguamiento del colchón de aire contenido abajo del dispositivo.
- Por diferentes variantes de diseño, para contribuir al control y maniobrabilidad del hovercraft.
- Por diferentes arreglos geométricos y comparaciones, para ser el mayor contribuidor a la estabilidad del hovercraft, especialmente en los modos de cabeceo, levante y vuelco.

La figura 1 da una descripción detallada de las formas básicas geométricas de faldones empleados por los hovercrafts, estos faldones en la actualidad son los más usados en el mundo para la construcción de estos dispositivos, pero no cabe duda de que diariamente se sigue investigando nuevas formas de mantener un colchón de aire presurizado [1], [2].

Colchón de aire. En el corazón de los hovercrafts se tiene la característica principal que hace que un ACV tenga un flujo de aire presurizado autogenerado. La fuerza motora es el sistema que genera el aire presurizado a una presión de aire P_c y un flujo del

colchón Q . Las funciones básicas de este generador de aire presurizado, situado abordo del ACV, son:

- Para proveer un mecanismo de levante para el hovercraft a una presión suficiente para levantar el vehículo, por ejemplo:

$$\text{Peso del ACV} = \text{Presión del colchón} \times \text{Área de la base del vehículo.}$$

El flujo Q varía dependiendo del tamaño del vehículo, consideraciones dinámicas, requerimientos de control y otras necesidades. Flujos de aire de 140 a 700 m³/s son comunes. Típicamente la potencia de levante es de $P_c Q$ y aproximadamente es una tercera parte del total de la potencia producida en el hovercraft. Generalmente la potencia de levante varía desde 3 kW/t para vehículos de baja velocidad hasta aproximadamente 22 kW/t para vehículos de alta velocidad [1], [2].

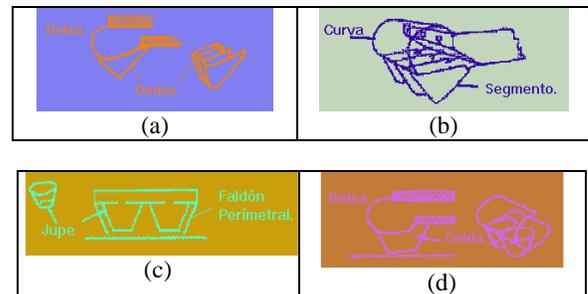


Figura 1 Faldones para hovercrafts: (a) Bolsa-dedos; (b) curva -segmento; (c) Jupe; (d) Bolsa-celdas periféricas [1].

- Para proveer mecanismos básicos de control de manejo. Cuando el hovercraft se mueve sobre las olas, la existencia de un soporte presurizado de aire provoca un mecanismo de alivio para las fuerzas o movimientos no deseados, tales como cabeceo, balanceo sobre olas o vibraciones, el colchón de aire puede desahogarse, o de otra manera, aumentarlo para crear el alivio de presión necesario [6].
- Para proveer un mecanismo de control direccional a través del desahogo del aire por medio de circuitos como empujadores de proa para generar un impulso en cualquier dirección [6].

Como hasta ahora se ha venido manejando que la parte principal de un ACV es la generación de aire presurizado como un mecanismo de levante. A la fecha, este aire presurizado se ha generado por medio de ventiladores rotativos, los cuales presentan la ventaja de que, dentro de los límites razonables, los sistemas de levante se pueden colocar en cualquier lugar, dependiendo de las necesidades del diseñador, y la desventaja es que se relaciona con el gran espacio y peso que ocupan estos equipos, lo que limita la carga disponible y varía entre un 40 y 50 % del peso total del vehículo [7], [8]. En la figura 2 se observan los principales medios para generar los colchones de aire.



Figura 2 Representación esquemática de alternativas para generar el colchón de aire mediante el uso de ventiladores [1].

Flexibilidad de los mecanismos de propulsión. Los medios de propulsión que pueden utilizarse son: propulsores de aire, propulsores marinos, ruedas, vías, chorros de agua, entre otros. Sin embargo la selección de alguno de los métodos disponibles lleva consigo la necesidad de caracterizarlo correctamente, con base a las características claves de un hovercraft, por ejemplo, el uso de ruedas puede comprometer la característica anfibia del vehículo. Las funciones básicas de los mecanismos de propulsión son las siguientes: Generación del empuje necesario para alcanzar las velocidades deseadas; Generación de un margen suficiente de empuje, para proveer la aceleración y desaceleración necesarias, y asegurar que el vehículo es maniobrable y fácil de manejar; Su integración con los sistemas de levantamiento, para proveer la energía suficiente en el vehículo; Combinar

propulsión, levante y control para dar la flexibilidad del diseño del vehículo.

Resultados y discusiones

Durante esta primera etapa se identificaron los principales subsistemas que se han de utilizar para diseñar el dispositivo de manejo de materiales propuesto. Así mismo, se obtuvo información referente a elementos comerciales, sus especificaciones y capacidades adecuados para el diseño del sistema de generación del flujo de aire para crear el efecto suelo; Tales como ventiladores, ductos, motores. También se logró tener información de los tipos de faldones y materiales factibles de usar en su construcción; elemento necesario para lograr la sustentación del efecto suelo. Respecto al sistema de carga se ha de establecer conforme al concepto de una plataforma que puede constar de una estructura cubierta de algún material ligero. Con base en lo anterior se establece que el dispositivo a diseñar tendrá los siguientes subsistemas:

- Estructura.
- Faldón.
- Subsistema de elevación.
- Subsistema de empuje.
- Subsistema de control.
- Subsistema de seguridad.

Estructura. Su función es servir de base para los otros subsistemas así como proporcionar el espacio suficiente y adecuado para depositar el material a transportar. Durante su diseño conceptual se concluye construir un primer prototipo a base de madera donde se tengan las siguientes secciones: soporte para el sistema de elevación y empuje, integrado por: motor, ventilador y ductos; Soporte del faldón; Soporte del sistema de control; Soporte del sistema de seguridad; Base o plataforma para la ubicación del material a transportar.

La distribución de las secciones identificadas permitió establecer algunas alternativas para lo cual se aplicaron los siguientes criterios: El centro de gravedad resultante de todas las secciones deberá localizarse en o lo más próximo al centro de gravedad de la estructura, incluyendo el centro de gravedad del material a transportar. Únicamente se experimentará con geometrías prismáticas y circulares (ver figura 3). El peso de la estructura (W_e) se considera como variable de diseño y se establece en función de la cantidad y del material de los elementos que la integran [9], [10].

Faldón. Subsistema que permitirá sustentar el colchón de aire que garantice el levante del dispositivo así como su desplazamiento sobre superficies irregulares. Para su diseño se establecen los siguientes criterios: El material (M_f) para su construcción debe ser ligero, flexible, no poroso, con alta resistencia a la tensión y a la abrasión. El espesor del faldón (e_f) se evaluará en el rango de 0.01mm a 0.05mm, y se considera como variable de diseño cuyo efecto se refleja en la optimización de su peso. Para el desplazamiento del dispositivo, se evaluará el claro (h) que debe obtenerse entre el faldón y la superficie, tomando como referencia el 7% de la dimensión mayor del faldón. La altura máxima del faldón (h_s) se establece con un valor menor o igual a 30cm. Para sustentar el colchón de aire incluyendo el peso del material a manejar se estudiará la razón entre la presión en el faldón y la presión en el colchón de aire (P_f/P_c). De las diferentes configuraciones de faldón que existen, únicamente se estudiarán las de tipo bolsa y la de tipo cámara, en el faldón tipo cámara es necesario que tenga orificios de salida del aire, mismos que se consideran variables de diseño en función de su tamaño (d_o), cantidad (N_o), y localización (L_o) [1], [9], [10].

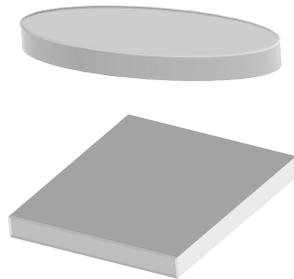


Figura 3 Geometrías a experimentar en el diseño de la estructura del sistema de manejo de materiales.

Subsistema de elevación. A través del cual se genera el colchón de aire. Las opciones que existen pueden clasificarse dentro del uso de aire comprimido, generación mediante ventiladores, o híbridos. Inicialmente la investigación se desarrollará mediante el uso del aire comprimido, posteriormente se hará uso de ventiladores del tipo axial (ver figura 4). Para el uso de aire comprimido se identifican como elementos principales el compresor, elementos de fijación y ductos. Para el uso de ventiladores se identifican el tipo de ventilador, motor a gasolina (ver figura 5), elementos de fijación y sujeción, así como ductos. Su especificación aún se encuentra en la etapa de análisis y evaluación [7], [8].

Subsistema de empuje. El empuje del dispositivo inicialmente se llevará a cabo de manera manual.



Figura 4 Ejemplos de ventiladores comerciales.



Figura 5 Ejemplos de motores a gasolina comerciales.

Subsistema de control. Incluye los aditamentos necesarios para el encendido y apagado de los motores, y el mecanismo de dirección.

Subsistema de seguridad. En el se considera lo necesario para posibles paros de emergencia, elementos para la seguridad del operador así como para la carga de trabajo, aditamentos de seguridad durante el desplazamiento del dispositivo.

Para el diseño del sistema de manejo de materiales mediante efecto suelo se establecieron las siguientes especificaciones: Capacidad de carga entre 490N a 980N, para dicha capacidad de carga la presión del colchón de aire puede ser no mayor a 500Pa. Con la carga de trabajo y la presión del colchón de aire se determina que el área de presión en la superficie será de 2m². El área de presión se emplea como referencia para especificar que la estructura del dispositivo será de 2.35m². Por otra parte, el claro para librar

obstáculos se determina con base al 7% de su longitud, por lo tanto, para 159cm de largo se establece el poder librar obstáculos de 10cm [1], [2], [10], [11].

Conclusiones

A la fecha se tienen identificadas las características básicas del dispositivo, los elementos mínimos necesarios para su diseño, y se ha construido un primer prototipo con el cual se iniciará la etapa experimental con respecto a la evaluación de los parámetros de diseño, mismo que se irá ajustando y/o complementando con base a los resultados experimentales que se obtengan, comparándolos o contrastándolos con el objetivo del proyecto.

Reconocimientos

Este proyecto se encuentra financiado por el Instituto Tecnológico de Aguascalientes y el Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica "COSNET", y se desarrolla en el Departamento de Metal Mecánica. También se cuenta con la participación de los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica Gildardo Ocaña Atilano, Alejandro Pérez Macias, Luis Felipe De Luna Rodríguez, Victor Hugo Montoya Chavez.

Referencias

- [1] Amito J. R., *Hovercraft Technology, Economics and Applications*, Elsevier, United States.
- [2] G. H. Elsley and A. J. Devereux, *Hovercraft Design and Construction*, Cornell Maritime Press, Inc.
- [3] USA Gounavert, *Patents Hovercraft, Aircushion*, United States of America, Washington D. C.
- [4] R. L. Trillo, *Jane's High Speed Marine Craft and Air Cushion Vehicles*, Janes Publishing Co.
- [5] G. R. Bert, *Travel on Thawed Tundra*, Universidad of Alaska.
- [6] Barrientos A., Sanz R., Matía F., Gambao E, *Control de Sistemas Continuos*, McGraw Hill.
- [7] B. Eck, *Ventilatoren*, Springer-Verlag.
- [8] W. C. Osborne, *Fans*, Pergamon Press.
- [9] Kalpakjian S, Smith S.R, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Pearson Education; México; ISBN: 970-26-0137-1.

[10] S. Pugh, *Total Design*, Addison Wesley.

[11] Chua C.K., L.K. Fua, *Rapid Prototyping. Principles and Applications in Manufacturing*, Wiley.

[12] Wood L, *Rapid Automated Prototyping: An Introduction*, Industrial Press.