

Diseño y construcción de un vehículo de propulsión humana: “Catatumbo”

Design and Construction of a human-powered vehicle: “Catatumbo”

Alfredo Álvarez González y María Gutiérrez Castillo

Núcleo Costa Oriental del Lago, Universidad del Zulia.
Maracaibo Venezuela.
86.gutierrez@gmail.com

RESUMEN

El vehículo de propulsión humana (HPV) Catatumbo, se trata de un prototipo que exhibe varios conceptos innovadores. Es un vehículo de dos ruedas, de 26 pulgadas la rueda trasera y rueda delantera reducida a 20 pulgadas que puede alcanzar velocidades superiores a 50km/h. Las dos ruedas contienen frenos que permiten que el HPV pueda parar cuando sea necesario; la cadena de transmisión se encuentra a lo largo de la estructura; frente a la manivela se encuentra una palanca de cambios con dientes 52, 48, 36. El chasis está diseñado con una estructura capaz de soportar las cargas aplicadas, formado por cuatro tubos de acero 1025 con cuñas a lo largo de la estructura para sostener las fuerzas producidas por el peso del ciclista. El rollover está diseñado para garantizar la seguridad del piloto, conectado al asiento por cuatro tubos del mismo material del chasis para soportar 600 libras en la parte superior y 300 libras a los lados, mientras que el carenado tiene un diseño aerodinámico para lograr mayor avance en el vehículo derrotando las fuerzas del viento. En general, el HPV Catatumbo diseñado y construido, es un medio de transporte innovador que cumple con medidas de seguridad y protección necesarias para su uso.

Palabras Claves: vehículo, propulsión, chasis, carenado

ABSTRACT

Catatumbo Human Powered Vehicle (HPV) is designed to reach speeds over 50km/h. It is a working prototype which exhibits the function of several innovative concepts. It's a two-wheel vehicle with a 26-inch back wheel and a front wheel downsized to 20 inches. Both wheels contain a pair of brakes permitting the HPV to stop when necessary. The transmission chain is located along the structure, in the front, the crank turns to 52, 48, 36 tooth chain ring. The frame is designed with a structure that can withstand the loads applied, consisting in four 1025 steel tubes with shims along the structure to sustain the forces produced by the riders weight. A rollover is design to insure the safety of the rider, connected to the seat by four tubes of the same frame material allowing the rollover to support 600 pounds on the top and 300 pounds on the sides. The fairing has an aerodynamic design to achieve further advancement of the vehicle defeating the wind forces. In general, Catatumbo HPV is an innovative transportation means that fulfills the safety measures and protection required for its use.

Keywords: vehicle, propulsion, frame, fairing

INTRODUCCIÓN

Cada año la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés), incentiva a grupos estudiantiles alrededor del mundo a participar en competencias como el Human Powered Vehicle Challenge, HPVC (Reto de Vehículos de Propulsión Humana, en español), en las cuales se evalúa el diseño y construcción de vehículos de tracción humana concebidos en su totalidad por estudiantes universitarios de las carreras de Ingeniería. En este sentido, estudiantes del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia, toman la iniciativa de participar en

estos eventos, de lo que surge un Vehículo de Propulsión Humana bautizado con el nombre de "Catatumbo" (HPV Catatumbo). Para el desarrollo de este proyecto se invirtieron cerca de 400 horas.

Los vehículos de éste tipo son llamados "bicicletas reclinadas", pues el conductor reclina su espalda en la conducción y han sido desarrollados para hacer más cómodo y veloz el ciclismo de competición, así como el ciclismo cotidiano tomando como prioridad la aerodinámica y la seguridad del ciclista (George, 2003).

El proyecto Catatumbo consistió en diseñar, desarrollar y construir un vehículo propulsado por potencia humana, dándole prioridad a la aerodinámica, sistema de transmisión, soporte de vida y seguridad. Este vehículo debe cumplir con los requisitos establecidos para la competencia y por las normas internacionales aplicables a bicicletas (Shigley y Mischked, 2002 y Carter, 2008).

Este proyecto permite aplicar los conocimientos adquiridos y desenvolverse en un ambiente exigente como lo es el medio laboral, a fin de formar ingenieros integrales en todas las áreas. El objetivo general de este artículo es presentar el proceso de diseño y construcción de un Vehículo de Propulsión Humana innovador, seguro y rápido.

En general, Catatumbo es un innovador vehículo alimentado por humanos que cumple con éxito los requisitos de las normas, así como la seguridad y las consideraciones de protección necesarios para su utilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bajo la comprensión holística de la metodología de Hurtado (2008), la presente investigación puede definirse como proyectiva, pues intenta proponer soluciones a una determinada situación a partir de un proceso previo de indagación e investigación basado en simulación computacional. Adicionalmente, se ubica bajo la modalidad de investigación Aplicada, ya que el estudio "implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, y ejecutar la propuesta". En la Figura 1 se detallan las fases del proyecto.

De igual forma, se sistematizan los procedimientos para la elaboración de este diseño y posterior construcción, siguiendo los lineamientos teóricos de Gershenson (2003), Petterson (1998), Mott (1995) y Cengel (2004).

Criterios de Diseño

Definición de Premisas

- Materiales del Chasis: tubos de acero al carbono 1.025 con un diámetro exterior de 0,75

pulgadas y un espesor de pared de 0,075 pulgadas (COVENIN 11, ANSI C80.3 y ANSI / UL 797 Estándares) y la hoja de acero ASTM A36 con un espesor de 1/8in.

- Diámetro de la rueda delantera: 20 pulgadas
- Diámetro de la rueda trasera: 26 pulgadas
- Rango peso Pilotos: 50 a 100 kg (110 a 220 libras)
- Rango estatura Pilotos: 1,55 a 1,90 m (5'1 "a 6'2")
- Peso máximo de vehículo: 25 kg (55 lb)
- Velocidad mínima: 50km / h (31 mph)
- Factor de seguridad mínimo: 2



Figura 1. Recorrido para el diseño y construcción del vehículo

Geometría

Al comienzo del proceso de diseño, se busca un chasis mucho más ligero que los comúnmente usados basados en un tubo central común de 2 pulgadas de diámetro. Por lo tanto, se decidió utilizar la forma

geométrica más fuerte y resistente de todas: los triángulos.

El HPV Catatumbo fue desarrollado en base a formas triangulares. El Triángulo es el único polígono que no se deforma cuando una carga se aplica en ella y por tanto, al comprimir cualquiera de los vértices de un triángulo, los lados a partir de ese vértice automáticamente se comprimen, mientras que el tercero comienza a tensar. Por tanto, el chasis del HPV Catatumbo, ha sido debidamente triangulado con el fin de que la estructura soporte la carga.

El chasis se ha reforzado con la estructura de armazón rígido de Howe, esto significa que el diseño utiliza vigas verticales y vigas horizontales para responder a la compresión. La Figura 2 muestra la configuración de Howe utilizada en el chasis.



Figura 2. Configuración del entramado de Howe del chasis.

Fuente: Elaborado por el autor

Barra antivuelco (Rollover, nombre original en inglés)

La barra antivuelco se fabricó con el mismo material de la estructura debido a su accesibilidad económica y sus buenas propiedades mecánicas, debe ser elegido el diámetro exterior y el grosor de la pared de forma tal que su desempeño fuese equivalente a lo establecido en las reglas de la competencia (Tubo de acero aleado CrMo 4130 de 1,5" de diámetro). El Cuadro 1 muestra los valores geométricos, propiedades físicas y máxima carga axial permisible y momento de flexión calculados para 1", 1 ¼" y 1 ½" de diámetro exterior de tubos de acero 1025.

Los cálculos muestran que el material equivalente más ligero es el de 1,25" de diámetro exterior y 1,5 mm de espesor de pared de la tubería, sin embargo, no estaba disponible en el mercado local, por lo que se seleccionó un 1" de diámetro exterior y 2 mm de espesor de pared de los tubos. Una vez que el material

de la barra antivuelco fue seleccionado, se determinó la estructura del asiento.

Configuración del asiento

Para concluir la configuración y estructuración del asiento, se decidió soldar la barra antivuelco al asiento en lugar de a la estructura, esta decisión se tomó con el fin de garantizar que la barra antivuelco sobre la cabeza del conductor en cualquier momento, sin importar la estatura del piloto o la posición del asiento. De igual manera, esta configuración aumenta la seguridad del ciclista si llegara a ocurrir un accidente por colisión. En ese caso, el piloto seguirá asegurado al rodar sobre la barra y el asiento por el cinturón de seguridad, incluso si se separara la estructura del vehículo.

Cálculos iniciales

El primer paso lógico en el proceso de diseño, es calcular los valores óptimos y condiciones de los parámetros más importantes del vehículo de dos ruedas, tales como: distancia entre ejes y posición del centro de gravedad. Las ecuaciones utilizadas fueron tomadas de Patterson (1998). Los símbolos y los valores iniciales se listan en el Cuadro 2.

Efecto resorte en el control de giro (Control spring, nombre original en inglés)

Una bicicleta sufre la extraña condición de tener un giro positivo a baja velocidad [5]. Esto significa que en lugar de oponerse a las manos del conductor a baja velocidad, el manillar tiende a continuar en la dirección del giro, la constante de resorte eficaz de la bicicleta es $k_1 - (k_2 \times V^2)$ donde $k_1 = N_F \times T \times \cos\beta \times \sin\beta$

Con el fin de reducir el k_1 (y por ende minimizar este efecto), la fuerza normal en la rueda delantera, N_F , debe ser lo más pequeña posible. Sabiendo que

$$N_F = M \times gravity \times \frac{B}{A}$$

se hace evidente que la relación B/A debe ser mínima, es decir, "el centro de gravedad del piloto debe estar lo más cerca posible del punto de contacto de la rueda trasera". En este punto, T y β se desconocen y dependen de un análisis complementario, que proporcionará los valores óptimos para la sensibilidad de control ideal. Sin embargo, como se muestra en la figura 3, la relación del $\sin(\beta) \times \cos(\beta)$ tiende a cero cuando la horquilla está totalmente horizontal o vertical. Se deduce entonces que: "la horquilla debe estar lo más vertical posible"

Cuadro 1. Valores geométricos, propiedades físicas, máxima carga axial permisible y momento de flexión en tubos de acero 1025

Materiales	Propiedades								
	Sy (ksi)	OD (in)	ID (in)	Espesor (in)	Espesor (mm)	Inercia (in ⁴)	P _{max} (lb)	M _{max} (lb in)	Peso (kg/m)
Cr Mo 4130	52,200	1,500	1,402	0,049	1,24	0,942	11659,606	9286,925	-
C 1025	53,660	1	0,906	0,047	1,19	0,256	7550,771	14734,990	0,970
	53,660	1	0,882	0,059	1,50	0,310	9359,274	15090,634	1,200
	53,660	1	0,870	0,065	1,65	0,335	10245,320	15271,216	1,310
	53,660	1	0,856	0,072	1,83	0,364	11263,698	15484,182	1,440
	53,660	1	0,842	0,079	2,01	0,391	12265,557	15699,570	1,570
	53,660	1,25	1,156	0,047	1,19	0,515	9531,561	11569,299	1,240
	53,660	1,25	1,132	0,059	1,50	0,628	11845,798	11792,685	1,530
	53,660	1,25	1,120	0,065	1,65	0,682	12984,710	11905,818	1,680
	53,660	1,25	1,106	0,072	1,83	0,742	14298,100	12039,009	1,840
	53,660	1,25	1,092	0,079	2,01	0,801	15594,969	12173,480	2,010
	53,660	1,5	1,406	0,047	1,19	0,907	11512,351	9521,306	1,420
	53,660	1,5	1,382	0,059	1,50	1,111	14332,321	9674,456	1,760
	53,660	1,5	1,370	0,065	1,65	1,209	15724,100	9751,872	1,930
	53,660	1,5	1,356	0,072	1,83	1,321	17332,501	9842,895	2,120
	53,660	1,5	1,342	0,079	2,01	1,429	18924,382	9934,672	2,310

Cuadro 2. Símbolos y parámetros para cálculos iniciales

SÍMBOLO	PARAMETRO	VALOR
A	Wheelbase	1.50m
B	Horizontal position of the gravity center	0.80m (average)
h	Vertical position of the gravity center	0.65m (average)
θ	Seat angle	40° (See "biomechanical analysis")
kx	Radius of gyration	0.275 (at 40°)
M	Mass of bike and rider	110kg (average)
S	Rake or fork offset	45mm (standard offset in forks)
R	Front wheel radius	25.4cm (10")
NF	Normal force at the front wheel	$N_F = M \times \text{gravity} \times \frac{B}{A} = 575.52N$
β	Complement of the head tube angle	-

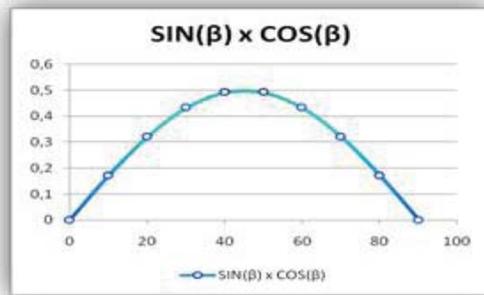


Figura 3. Relación sin (β) x cos (β)
Fuente: Elaborado por el autor

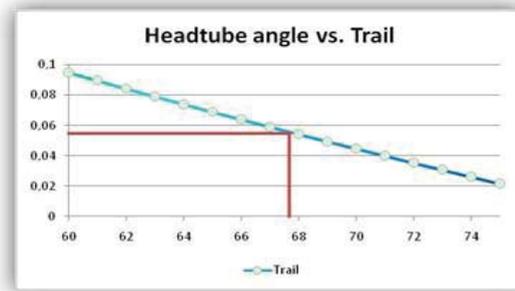


Figura 4. Ángulo de la horquilla vs. trail
Fuente: Elaborado por el autor

Trayecto mínimo y máximo (Trail, nombre original en inglés)

Un "trail" adecuado proporciona el contratorque que mitiga la condición de "supercontrol" que se encuentra en muchas bicicletas [5] El trayecto mínimo se determina de la siguiente manera:

$$T_{min} = K5 \times \left(\frac{B}{M}\right) \times \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{k_x^2}\right) =$$

$$(1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) \times \left(\frac{0.80\text{m}}{110\text{kg}}\right) \times \left(\frac{1}{(0.65\text{m})^2} + \frac{1}{(0.275)^2}\right)$$

$$T_{min} = 5.67 \text{ cm}$$

Como se muestra en la figura 4, el trail disminuye a medida que aumenta el ángulo de inclinación de la horquilla, según la ecuación:

$$T = \frac{R \sin \beta - S}{\cos \beta}$$

El ángulo máximo de la horquilla para asegurar la tracción mínima es $\gamma \approx 67.5^\circ$ $\gamma \approx 67.5^\circ$

Para evitar la torsión brusca de la horquilla (fork flop, nombre original en inglés), se recomienda ajustar la fuerza de torsión entre 75 a 300N/rad. Verificado se tiene:

$$Flop = \frac{T \times N_F \times \cos \beta}{R} =$$

$$\frac{5.67 \cdot 10^{-2} \text{ m} \times 575.52 \text{ N} \times \cos(22.5^\circ)}{0.254 \text{ m}} = \frac{118.7 \text{ N}}{\text{rad}}$$

El valor de la fuerza de torsión es el adecuado para garantizar la ausencia de giros bruscos.

Análisis computacional

El análisis computacional se realizó utilizando una herramienta de análisis de elementos finitos llamado Solid Works 2008 Pro Edition y su complemento COSMOSXpress®. Para el carenado, se utilizó un software de dinámica computacional de fluidos para la solución de problemas convectivos - difusivos sobre perfiles bi-dimensionales.

Análisis de chasis

Después de digitalizar el modelo 3D, el análisis computacional se ha ejecutado a través de la herramienta COSMOSXpress®. 180 libras de carga vertical se aplicaron sobre los tubos del chasis donde el asiento es apoyado, además, una fuerza de 100 libras se aplica sobre el soporte horizontal donde está conectada la corredera del asiento. El chasis fue restringido en los asientos del eje de la rueda trasera y en las barras soldadas a la horquilla, los resultados obtenidos se muestran en las figuras siguientes:

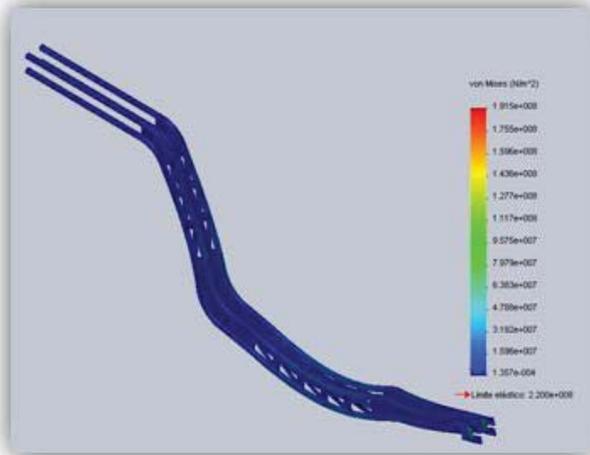


Figura 5. Análisis de esfuerzos del chasis
 Fuente: Elaborado por el autor

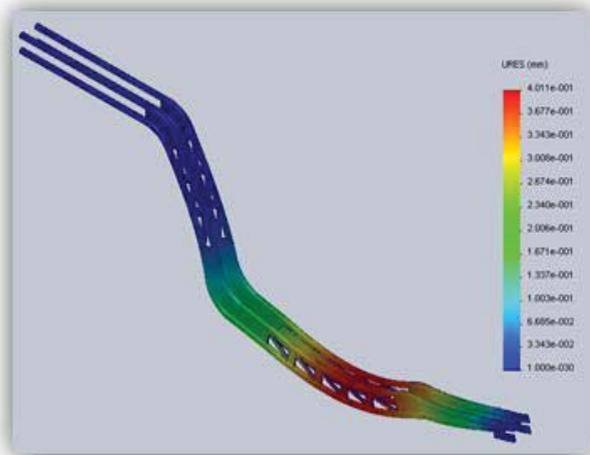


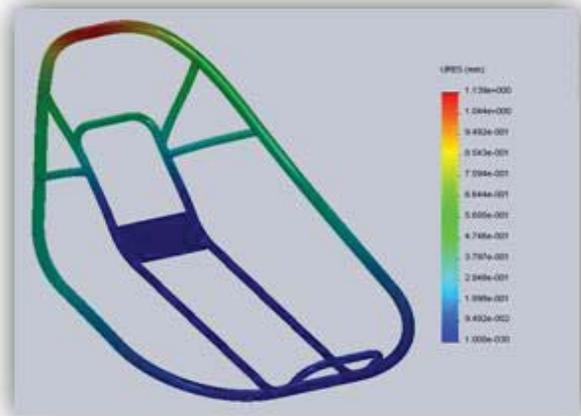
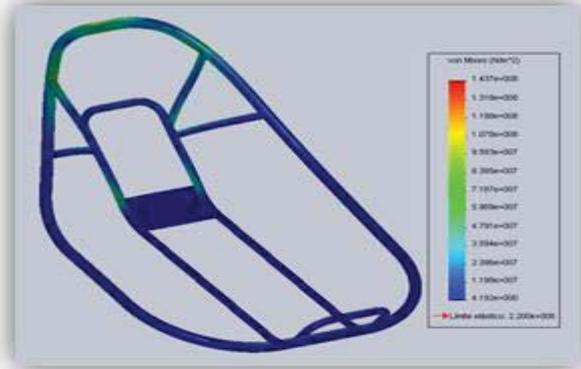
Figura 6. Análisis de deflexión del chasis
 Fuente: Elaborado por el autor

Se encontró, que el factor de seguridad mínimo fue de 1.15 ubicado en el asiento del eje de la rueda trasera, por lo que el equipo de diseño decidió aumentar el grosor de la hoja y el refuerzo de los soportes. La relación de seguridad en el resto de la estructura es mayor de 2. Al mismo tiempo, el lector puede notar que el esfuerzo de Von Mises asciende a 191MPa, por debajo del punto de fluencia correspondiente a los 220MPa, y la deflexión máxima del chasis es sólo 0,4 mm, lo cual es despreciable.

El chasis también se analizó con una carga de 600 libras en dirección vertical y una carga de 300 libras horizontal aplicado en el chasis, representando las fuerzas localizadas en la parte superior y de lado de

la barra antivuelco, respectivamente. Estos resultados permiten concluir que el chasis puede soportar la carga con factor de seguridad mayor a 2.00

Análisis de la barra antivuelco



Figuras 7 y 8. Análisis y deflexión de la barra antivuelco
 Fuente: Elaborado por el autor

El Análisis FEA muestra que el asiento no falla cuando se aplican las condiciones de carga de prueba. El factor de seguridad es mayor a 2.00 ambos análisis. En el análisis de la barra antivuelco, se hizo la evaluación de dos casos de carga prescritos, se aplicará una carga a la parte superior de la barra estabilizadora, y una al lado. Las cargas se aplicaron de forma independiente (no simultáneamente).

La primera carga de 600 libras, se aplicó en la parte superior de la barra antivuelco y hacia atrás (hacia la parte trasera del vehículo), con un ángulo de 12 ° respecto a la vertical. Los resultados dados en las dos

cargas indican que no se produce ninguna deformación permanente o una fractura ya sea en la barra antivuelco o en el bastidor del vehículo. La segunda carga de 300 libras se aplicó horizontalmente hacia el lado de la barra antivuelco a la altura del hombro del corredor.

La deformación elástica para el primer caso fue 0,0448 pulgadas que es menor que la deformación máxima permitida de 5.0 pulgadas. Para el segundo caso la deformación es 0,0467 pulgadas donde la deformación elástica máxima permitida de 3.0 pulgadas.

Análisis del Carenado (Fairing, por su nombre en inglés)

La ecuación general aerodinámica puede escribirse de la siguiente manera:

$$F = \frac{1}{2} \times C_d \times A_f \times \rho \times V^2$$

Donde:

F: Fuerza aplicada en el área frontal del carenado

Af: área frontal (0,0369 m2 Ver figura 9).

V: Velocidad (velocidad media= 50 kmh)

ρ: La densidad del aire (1.155kg/m3 en Maracaibo, Venezuela)

Cd: Coeficiente de Arrastre

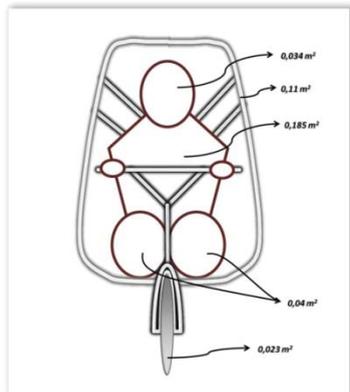


Figura 9. Área Frontal del vehículo
Fuente: Elaborado por el autor

Con el propósito que el vehículo mantenga una velocidad constante, es necesario que la fuerza de pedaleo sea igual a la fricción más la fuerza de arrastre, representado en la siguiente fórmula:

$$\frac{P}{V} = F + F_f$$

Según Haigler (2004), se considera, que un hombre sano es capaz de mantener en 30 minutos una potencia máxima de 250 vatios aproximadamente (Se considerará un 15% de pérdida mecánica). Por otro lado, la fuerza de fricción puede ser calculada multiplicando fuerza normal (Peso x gravedad) por el coeficiente de fricción por rodamiento (0,0055 para los típicos neumáticos BMX). Matemáticamente queda expresado como sigue:

$$F = \left(\frac{212.5 \text{ W}}{13.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right) - \left(110 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.0055 \right) = 9.3527 \text{ N}$$

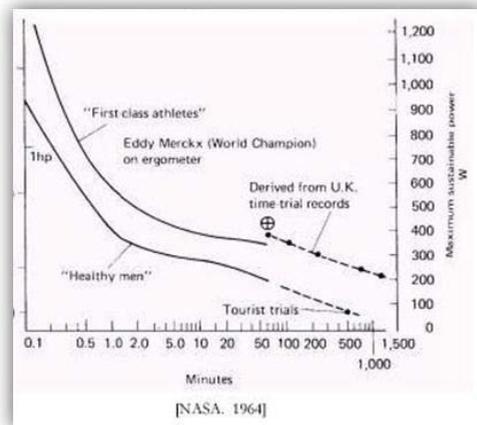


Figura 10. Máxima potencia sostenida por seres humanos
Fuente: Elaborado por el autor

Asimismo, el mínimo coeficiente de arrastre que se debe obtener en el perfil carenado es:

$$C_d = \frac{2F}{A_f \times \rho \times V^2} = \frac{2 \times 9.3527 \text{ N}}{0.369 \text{ m}^2 \times 1.155 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(13.9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2} = (C_d)_{max} = 0.227$$

Se decidió utilizar en la forma de la parte frontal superior un perfil aerodinámico simétrico, llamado "cuerpo óptimo de revolución", ilustrado en la Figura 11. Se observa que las curvas del C_p (presión) son relativamente planas en toda la longitud de la forma y baja un poco antes de subir a la cola. Como se aprecia en la imagen, no tiene grandes variaciones en la presión a lo largo del cuerpo del carenado, tiene una ligera caída de presión a medida que viaja a lo largo del carenado, y se incrementa (no muy rápido) en la cola. Esto permitirá que la capa de aire que fluya a lo largo de la superficie de la forma, llamada "capa límite", permanezca unida a la forma y, sea succionado hacia la parte trasera del carenado, esto es conocido como flujo laminar.

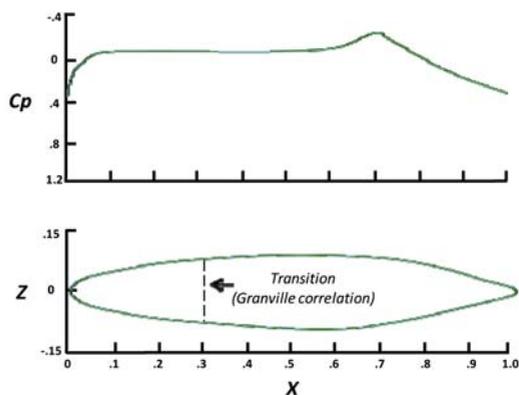


Figura 11. Cuerpo óptimo de revolución
 Fuente: Elaborado por el autor

El siguiente paso, consistió en decidir sobre la forma del lado, la condición deseada es minimizar la presión acumulada debajo del carenado. Esto significa que se requiere del carenado para desviar el aire a los lados y hasta arriba en lugar de hacia abajo y debajo de él. Si el carenado se diseña con una nariz simétrica desde una vista lateral, el aire será enviado debajo de la bicicleta, causando un efecto Venturi para contraer el flujo de aire y frenar el vehículo, teniendo esto en cuenta, el perfil de la superficie de sustentación trazado en la figura 12.

Aunque para los cálculos de la masa se consideró un carenado completo, se decidió utilizar un carenado parcial, ya que este es el primer intento de fabricar un carenado de HPV; la superficie resultante se muestra en la Figura 13.

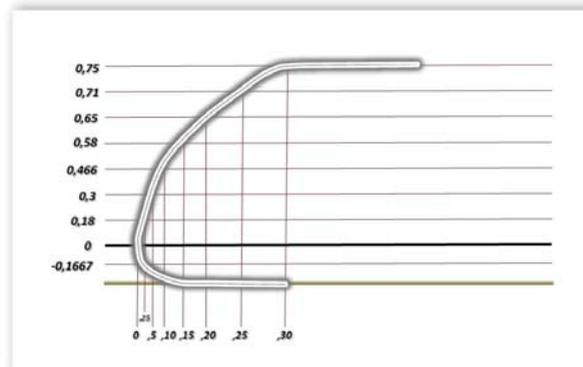


Figura 12. Perfil lateral del Carenado
 Fuente: Elaborado por el autor

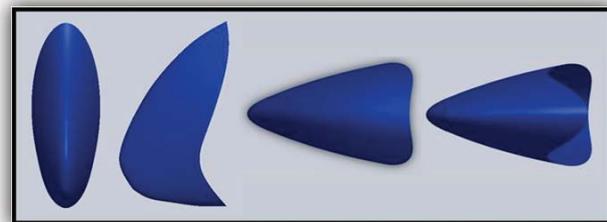


Figura 13. Vistas del Carenado
 (a) Vista Frontal (b) Vista lateral (c) Vista superior
 (d) Vista inferior
 Fuente: Elaborado por el autor

Un perfil aerodinámico similar en $Re = 2.4 \times 10^6$ tiene un $C_d = 0.075$ aproximadamente, sin embargo, un análisis 2D se hizo en un software CFD llamado Windtunnel2d v2.0. Los resultados muestran un $C_d = 0,12$ de la superficie superior. Esto reducirá la fuerza del viento 5N, proporcionando así casi 70km/h la velocidad de diseño en las condiciones dadas.

En el caso de las vistas laterales, estas reflejan una presión casi neutra en el carenado, mientras una zona de baja presión se forma en la parte superior; esta condición desvía el aire a los lados y a la parte superior en lugar de hacia abajo, previniendo el retraso debido al excesivo arrastre.

Descripción del Sistema de Transmisión

El Sistema de transmisión del HPV Catatumbo es básicamente un mecanismo de doble cadena que permite multiplicar la velocidad de pedaleo por dos hasta dieciséis veces. En el cuadro 3 se muestra la re-

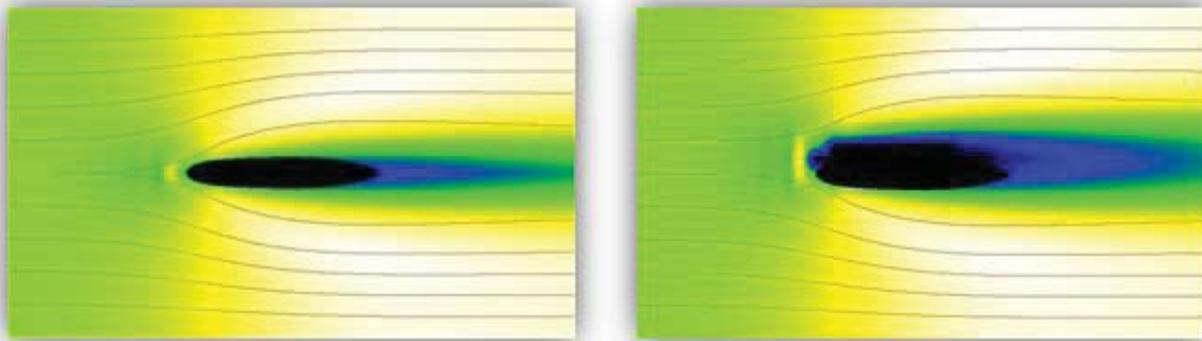


Figura 14. Análisis Windtunneld
Fuente: Elaborado por el autor

lación de multiplicación en platos 2 y 3 por cada revolución de la biela, además de estar presentado en la figura 15.

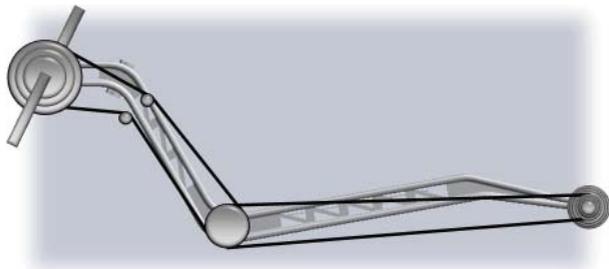


Figura 15. Sistema de transmisión del HPV
Catatumbo
Fuente: Elaborado por el autor

Sistema de pruebas

Pruebas de chasis

El objetivo es evaluar la deformación producida por 330 libras de carga.

Procedimientos de la prueba

Se aplicó una carga de 330 libras al chasis del vehículo con dos personas de pie en la zona cercana al centro de gravedad para comprobar la resistencia y deformación de la estructura. Como resultado de esta prueba, la desviación observada fue de 15 mm (5/8 pulgadas), por lo que se puede concluir que la estructura no sufrirá ninguna deformación por la aplicación de cualquier carga razonable.

Pruebas de barra antivuelco

El objetivo perseguido con esta prueba es verificar la integridad del rollover sobre la barra en caso de que ocurra un accidente.

Procedimientos de prueba

Se utilizó una prensa hidráulica para aplicar una carga de 600 libras sobre la barra adjunta al asiento. El vehículo tenía una inclinación de 12°, medido entre la rampa y el suelo. Además, se aplicó una carga de 300 libras en su lateral, encontrándose que la barra antivuelco también soporta la carga lateral de 300 libras.

Prueba de giro y frenado

Con esta prueba se pretende verificar la maniobrabilidad y las condiciones de frenado del vehículo; a través del procedimiento de prueba se simuló las condiciones de las pruebas reales. El vehículo fue conducido, giró y frenó para comprobar su capacidad de maniobra.

Análisis de las pruebas de comparación y optimización

En este punto, se han tomado varias decisiones con el fin de optimizar el vehículo. El análisis muestra que las ruedas traseras eran las áreas críticas por lo que se decidió reforzar este elemento al aumentar el espesor de la hoja de 1/8" a 1/4". Por otro lado, en el análisis y pruebas del chasis la desviación es insignificante. También se refleja en los valores del factor de seguridad mayor de 2. Esto significa que la estructura se sobrediseñó. Se decidió reducir el peso del vehículo al perforar algunos agujeros en las hojas de acero sin comprometer su seguridad y resistencia. El diámetro óptimo fue determinado por Solidwork y su complemento COSMOXpress®.

A MANERA DE RESULTADO

Además de los hallazgos y análisis mostrados y explicados anteriormente, para el diseño y construcción del vehículo de propulsión humana "Catatumbo", es conveniente enfatizar lo siguiente:

Cuadro 3. Relación de Velocidad

Relación de las Catalinas	Número de los dientes de las catalinas	Piña de Cambio	N2	N3
0,5	52	13	4,0	16
		15	3,5	12,0
		18	2,9	8,3
		20	2,6	6,8
		22	2,4	5,6
	48	24	2,2	4,7
		27	1,9	3,7
		13	3,7	13,6
		15	3,2	10,2
		18	2,7	7,1
	36	20	2,4	5,8
		22	2,2	4,8
		24	2,0	4,0
		27	1,8	3,2
		13	2,8	7,7
15		2,4	5,8	
18		2,0	4,0	
	20	1,8	3,2	
	22	1,6	2,7	
	24	1,5	2,3	
	27	1,3	1,8	

Fuente: Elaborado por el autor

Con el fin de reducir el k_1 (para minimizar el efecto resorte), la fuerza normal en la rueda delantera, N_F , debe ser lo más pequeña posible. Sabiendo que

$$N_F = M \times \text{gravity} \times \frac{B}{A}$$

De la ecuación presentada, se hace evidente que la relación B/A debe ser mínima, es decir, el centro de gravedad de el piloto debe estar lo más cerca posible del punto de contacto de la rueda trasera.

Como la relación del $\sin(\beta) \times \cos(\beta)$ tiende a cero cuando la horquilla está totalmente horizontal o vertical, se deduce entonces que: "la horquilla debe estar de la manera más vertical posible"

Para evitar la torsión brusca de la horquilla, se recomienda ajustar la fuerza de torsión entre 75 a 300N/rad. Verificado se tiene:

$$F_{\text{lop}} = \frac{T \times N_F \times \cos\beta}{R} = \frac{5.67 \cdot 10^{-2}m \times 575.52N \times \cos(22.5^\circ)}{0.254m} = \frac{118.7N}{rad}$$

El valor de la fuerza de torsión es el adecuado para garantizar la ausencia de giros bruscos. Los resultados obtenidos al aplicar cargas de 600 libras en dirección vertical y una carga de 300 libras horizontal que se aplicaron en el chasis representando las fuerzas localizadas en la parte superior y de lado de la barra antivuelco, respectivamente, permiten concluir que el chasis y la barra antivuelco pueden soportar la carga con factor de seguridad mayor a 2.00

CONCLUSIONES

Los vehículos de propulsión humana son una modalidad que utiliza la fuerza motora del ser humano para lograr su impulso y obtención de velocidad; entre los más comunes están los velocípedos y bicicletas, así como embarcaciones de remos, canoas y embarcaciones de pedales. Sin embargo, la literatura reporta como varios otros tipos de vehículos se desplazan con la fuerza motriz humana, incluyendo submarinos, aeronaves, aerodeslizadores y vehículos de escultura cinética, lo que refuerza los conceptos de generación de alternativas consonas con diseños mecánicos y modernos orientados a las tendencias actuales del desarrollo sostenible y sustentable de nuestras sociedades.

Como resultado de estos planteamientos, se diseñó y construyó un Vehículo de Propulsión Humana que consistió en varias fases metodológicas y técnicas. En primer lugar, la definición de premisas marcó el inicio del proyecto, así como la evaluación la geometría necesaria para la construcción y la barra antivuelco con el mismo material de la estructura debido a su accesibilidad económica y sus buenas propiedades mecánicas. Uno de aspectos más resaltantes, fue la configuración del asiento, logrando la mayor seguridad para el conductor y al análisis del chasis se ubicó en un nivel de seguridad mayor a dos. En cuanto al sistema de transmisión, se decidió colocarlo a través de un sistema de doble cadena. Finalmente, el sistema de pruebas aplicado en el Vehículo de Propulsión Humana Catatumbo incluyó la prueba del chasis, prueba de barra antivuelco, prueba de giro y frenado y análisis de comparación y optimización, a fin de garantizar funcionalidad y seguridad de los tripulantes del vehículo.

En síntesis, se diseñó, desarrolló y construyó un vehículo propulsado por potencia humana, donde la

aerodinámica, el sistema de transmisión, soporte de vida y seguridad son prioridad; este vehículo cumple con los requisitos establecidos para la competencia y por las normas internacionales aplicables a bicicletas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carter, E. (2008). Aerodynamics Design for HPV's. UNC Charlotte. Recuperado de: <http://www.coe.uncc.edu/~rkeanini/humpowengrg/Aerodynamic%20Design>
- Cengel, Y. (2004). Transferencia de Calor. México: McGraw Hill.
- George, Ch. (2003). HUMAN POWERED VEHICLE. 2003-04 HPV Project Proposal. Seattle University. Recuperado de: <http://xxxx>
- Gershenson, J. (2003). Human Powered Vehicle Project. Michigan tech. recuperado de: http://www.me.mtu.edu/Teams/HPV_Human_powered_Vehicle.htm
- Haigler, S. (2004). Human Powered Vehicle. University of Southampton. Recuperado de: <http://www.hpv.soton.ac.uk/>
- Hurtado, J. (2008). Metodología de la investigación, una comprensión holística. Caracas: Ediciones Quirón-Sypal.
- Mott, R. (1995). Elementos de diseño de máquinas. México: McGraw Hill.
- Patterson, B. (1998). "The Lord of the chainrings". Recuperado de: <http://www.recumbents.com/forums/post>.
- Rules for the 2008 Human Powered Vehicle Challenge Sponsored by ASME. Recuperado de: <http://files.asme.org/asmearg/Events/Contests/HPV/15982.pdf>
- Shigley, J y Mischked, C. (2002). Diseño en ingeniería mecánica. México: McGraw Hill.