



PROSPECTIVA

ISSN: 1692-8261

rprospectiva@gmail.com

Universidad Autónoma del Caribe

Colombia

Orozco Lozano, William Antonio  
Diseño y simulación de las fuerzas de arrastre y sustentación en los autos  
PROSPECTIVA, vol. 4, núm. 2, julio-diciembre, 2006, pp. 26-33  
Universidad Autónoma del Caribe

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251108005>

- 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

# Diseño y simulación de las fuerzas de arrastre y sustentación en los autos

William Antonio Orozco Lozano \*

\*Ingeniero Mecánico - Esp. Gerencia de la calidad - Esp. Computación para la docencia - Candidato a Magister en térmicas Uninorte. Barranquilla, Col. willman.orozco@uautonoma.edu.co

## Resumen

El objetivo de este artículo es el estudio de las fuerzas de arrastre y sustentación respectivamente, para poder lograr el máximo rendimiento de los autos a altas velocidades, durante el desarrollo de este artículo se lleva a cabo paso a paso el desarrollo de las ecuaciones fundamentales de donde se obtienen cual es su significado físico y luego los resultados arrojados por la simulación sometiendo a la carcasa (Material ABS) a una velocidad de 10m/s.

Se puede observar detalladamente como las fuerzas de arrastre afectan el comportamiento de los autos a altas velocidades, demostrando que cuando la parte trasera tiene una carga más grande, el coche se estabiliza.

**Palabras claves:** Fuerzas de arrastre, fuerzas de sustentación, vortice, centro de presión y perfil de velocidad

## Abstract

The objective of this article is respectively the study of the haulage forces and sustentation, to be able to achieve the maximum yield from the cars to high speeds, during the development of this I articulate it is carried out step to step the development of the fundamental equations of where they are obtained which is its physical meaning and then the results hurtled by the simulation subjecting to the carcasa (Material ABS) to a speed of 10m/s.

One can observe detailedly as the haulage forces they affect the behavior from the cars to high speeds, demonstrating that when the back part has a bigger load, the car it is stabilized.

**Keywords:** Haulage forces, forces of sustentation, vortex, center of pressure and profile of speed.

## 1. INTRODUCCION

Desde el principio de las competencias de autos de carreras, los coches se han vuelto más y más rápidos. Lo que ha llevado a generar estudios para evitar accidente catastrófico, de hay es de donde se empezó a generar los avances en aerodinámica y a encontrar en esta una manera de tener un auto rápido y seguro capaz de generar poco arrastre y mantenerse siempre pegado al suelo.

Puesto que la resistencia del aire producida por el vehículo y los neumáticos ya había sido reducida, los diseñadores necesitaban encontrar alguna otra cosa que les diera a sus coches una ventaja sobre los demás. Ahora, la mayoría de los automóviles producen sustentación. Conforme la velocidad aumenta, la fuerza de sustentación aumenta y el coche se vuelve inestable.

Para contrarrestar el problema de la sustentación, los

autos de carreras modernos están diseñados para producir sustentación negativa. Esto significa que al auto se le agregan algunos dispositivos que causan que el coche presione contra el suelo y se mantenga más cerca de él. Estos dispositivos neutralizan la sustentación producida por el coche o crean de hecho sustentación negativa.

Los alerones traseros pueden reducir la separación del flujo por la parte de atrás, lo cual reduce la resistencia del aire. También logran que el flujo de aire sea mayor por debajo del auto, esto tiene como resultado una fuerza hacia abajo que permite que el auto se pegue al suelo.

Este estudio de estas fuerzas la manera de controlar y generar su formación tanto de la fuerza de arrastre como la de sustentación respectivamente, es una tarea que se pone para lograr máximo rendimiento durante la carrera por esto durante el desarrollo de este artículo se lleva a cabo paso a paso el desarrollo de

las ecuaciones de donde se obtienen cual es su significado físico y luego los resultados arrojado por la simulación sometiendo a la carcasa a una velocidad de 10m/s.

## 2. DESARROLLO

### 2.1. Fuerza de arrastre

El arrastre es la fuerza aerodinámica que opone el movimiento de un perfil a través del aire. El arrastre es generado por cada pieza del perfil (incluso los motores). El arrastre es una fuerza mecánica. Es generada por la interacción y el contacto de un cuerpo sólido con un fluido (líquido o gas). No es generada por un campo de la fuerza, en el sentido de un campo gravitacional o de un campo electromagnético, donde un objeto puede afectar otro objeto sin estar en contacto físico. Para que el arrastre sea generado, el cuerpo sólido debe estar en contacto con el fluido. Si no hay fluido, no hay arrastre. Otra consideración de la formación de la fuerza de arrastre es que esta se origina por la diferencia en velocidad entre el objeto sólido y el fluido [1].

Hay muchos factores que afectan la magnitud de la fuerza de arrastre.

La magnitud depende de la viscosidad del aire y de la magnitud relativa de las fuerzas viscosas al movimiento del flujo, expresado como el número de Reynolds. A lo largo de la superficie sólida, una capa límite de flujo bajo de la energía se genera y la magnitud de la fuerza de arrastre depende de condiciones en la capa de límite. Podemos también pensar en la fricción como resistencia aerodinámica al movimiento del objeto a través del líquido. Esta fuente de formación de fuerza de arrastre depende de la forma del objeto que atraviesa y se llama arrastre de forma. Como flujos de aire alrededor de un cuerpo, se cambian la velocidad y la presión locales.

Desarrollando una correlación con las teorías que gobiernan el vuelo de un avión y la manera como la fuerza de arrastre juega un papel importante dentro del perfil aerodinámico que se genera en un ala de la misma manera en el diseño aerodinámico automotriz se hace el máximo esfuerzo por no encontrarse en presencia de ella por mucho tiempo.

Por esto se hace una explicación de cómo se genera dentro del perfil aerodinámico y cual es su efecto

Puesto que la presión es una medida del ímpetu de las moléculas del gas y un cambio en ímpetu produce una fuerza, una distribución de la presión que varía producirá una fuerza en el cuerpo. Podemos determinar la magnitud de la fuerza integrando (o agregando para arriba) los tiempos locales de la presión el área super-

ficial alrededor del cuerpo entero. El componente de la fuerza aerodinámica que se opone al movimiento (arrastre). La elevación y la fuerza de arrastre actúan a través del centro de la presión del objeto.

Pues un avión acerca a la velocidad del sonido, las ondas expansivas se generan a lo largo de la superficie. Hay una pena adicional de la fricción (llamada fricción de la onda) que se asocia a la formación de las ondas expansivas. La magnitud de la fricción de la onda depende del número de mach del flujo. La fricción del espolón se asocia a retrasar el aire libre de la corriente mientras que el aire se trae dentro del avión. Las entradas de los motores y el refrescarse de jet en el avión son fuentes de la fricción del espolón

La cuantificación de la fuerza de resistencia, se realiza a través de la siguiente expresión: sea “V” la velocidad (m/s), “d” la densidad (Kg/m3), “A” el área y “CD” el coeficiente de resistencia; sea “D” la fuerza de resistencia:

$$D = \frac{V^2 Ad}{2} CD \tag{1}$$

Todas las unidades de medida son las mismas que para la fuerza de sustentación.

Analicemos, dichas expresiones:

En primer lugar, observamos que ambas fuerzas dependen de varios factores o parámetros (la velocidad y el área, son conocidos):

Densidad; la densidad del aire, varía en función de la altura con respecto al nivel del mar, la presión atmosférica, la humedad y la temperatura, principalmente; es necesario tener en cuenta todos esos parámetros o variables, para cuantificar adecuadamente la densidad del aire.

$$DENSIDAD := 0.35297 \cdot \frac{P}{(273 + T)} \tag{2}$$

Podemos utilizar esta expresión sencilla para calcular la densidad del aire en Kg/m3, la “P” es la presión atmosférica en milibares, y la temperatura “T” se mide en grados Celsius.

El “CL” y “CD”; este coeficiente marca el grado de eficiencia que el perfil posee, en cuanto a sustentación o resistencia, respectivamente. Dado un perfil, en función del ángulo de incidencia, tendremos una gráfica para dichos coeficientes; estas gráficas son particulares e intransferibles y son claves, evidentemente, para calcular cualquier fuerza hay que tener en cuenta algo importante: es absurdo, querer tener una buena precisión o fiabilidad de la medida por ejemplo de los coeficientes “CL” o “CD”. [1].

## 2.2. Fuerza de sustentación inversa

Desde el principio de las competencias de autos de carreras, los coches se han vuelto más y más rápidos. Ahora, la mayoría de los automóviles producen sustentación. Conforme la velocidad aumenta, la fuerza de sustentación aumenta y el coche se vuelve inestable. Para contrarrestar el problema de la sustentación, los autos de carreras modernos están diseñados para producir sustentación negativa. Estos dispositivos neutralizan la sustentación producida por el coche o crean de hecho sustentación negativa [1].

Hay varios métodos que se utilizan para reducir la sustentación o para crear fuerza hacia abajo.

Los dispositivos disponibles más simples son un tipo de presas de aire delanteras e interceptores aerodinámicos traseros. Estos dispositivos tienen realmente varios efectos positivos. Al reducir el flujo del aire por debajo del vehículo, una presa de aire delantera reduce la resistencia del automóvil. Además, la presión también se reduce, lo cual ayuda a que la sustentación se reeduce en la parte de enfrente del coche.

El interceptor aerodinámico trasero puede reducir la separación del flujo en la ventana posterior, lo cual reduce la resistencia del aire. También hace que aumente el flujo del aire por debajo del auto, lo cual promueve la generación de una fuerza hacia abajo en la parte posterior del coche.

Se utilizan alas reales en los autos de carreras de Fórmula Uno, Indy, y Grupo C. Sin embargo, las alas se invierten (se colocan con la parte de arriba hacia abajo) para producir una fuerza hacia abajo en lugar de sustentación hacia arriba. Al instalar las alas cerca del suelo, se pueden producir cantidades más grandes de esta fuerza que apunta hacia abajo. Esto se debe al aumento de la velocidad del flujo entre la ala y el suelo. Estas placas reducen la resistencia del aire, además de aumentar la fuerza hacia abajo.

Estos dispositivos se usan comúnmente en los aviones de alto rendimiento. En un avión, el strake produce sustentación. En un auto de carreras, la mayoría de las veces el strake es utilizado en combinación con una ala montada en la parte de atrás para aumentar la fuerza hacia abajo en la parte posterior del carro.

Los strakes también pueden estar instalados en la parte de enfrente del coche. Se utilizan en carros que no tienen alas delanteras. Estos strakes se pueden ajustar para balancear la fuerza hacia abajo entre el strake delantero y el strake trasero.

Otro dispositivo que se utilizaba para aumentar la fuerza hacia abajo eran las "faldillas", las cuales se mon-

taban en los lados del coche y cerca del suelo. Esto podía fácilmente originar que el piloto perdiera el control del coche. Estos canales se extienden de la parte de enfrente a la parte de atrás. Conforme la velocidad del aire que corre a través de los canales aumenta, la presión disminuye. Este vórtice ayuda a estabilizar el flujo que corre por debajo de todo el vehículo. De esta forma, estos canales aumentan la fuerza hacia abajo y disminuyen la resistencia del aire del vehículo.

En las carreras de Fórmula Uno y NASCAR, los canales en la parte de abajo de los autos no están permitidos. Sin embargo, hay que recordar que en las carreras de autos cualquier ayuda cuenta.

La fuerza hacia abajo tiene que estar bien distribuida entre la parte delantera y la parte trasera del coche. Cuando la parte trasera tiene una carga más grande, el coche se estabiliza.

El papel principal de un ala posterior única es ayudar al flujo que corre por debajo del coche. Pero la fuerza hacia abajo se reduce al instalar esta ala. Para recuperar parte de la fuerza perdida, una segunda ala se coloca más arriba, encima de la primera ala. Las reglas de las competencias de autos de carreras limitan la altura a la que se puede colocar la segunda ala en los prototipos y coches de Fórmula Uno, pero las reglas de las carreras Indy sólo permiten un ala en la parte posterior del coche.

Las llantas también crean resistencia aerodinámica en los coches que tienen las ruedas descubiertas. Esto se debe a la separación del flujo de aire detrás de los neumáticos. La resistencia del carro de enfrente también disminuye porque la separación del flujo en la parte posterior es menor debido al coche que lo sigue. Sin embargo, conforme los coches se acercan uno al otro, la cantidad de sustentación y fuerza hacia abajo varía. Debido a la fuerza aerodinámica que se genera hacia abajo, la velocidad que alcanzan los autos de carreras ha seguido elevándose

Para la sustentación se utiliza la notación  $s.f.$ , y  $C_z$  para el coeficiente de sustentación, ya que esta fuerza actúa paralelamente al eje OZ del triedro de referencia que se asocia al vehículo.

Para poder comparar directamente la sustentación que producen dos vehículos en las mismas condiciones se utiliza el coeficiente  $SC_z$ , exactamente por los mismos motivos que en el caso de la resistencia aerodinámica.

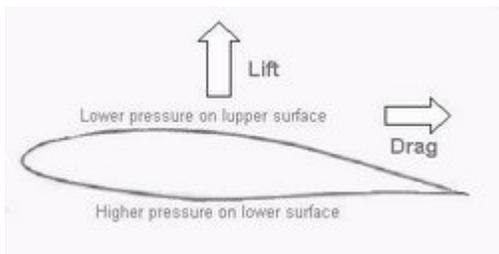
$$SC_z = C_z \cdot S_{planta}$$

En los vehículos de calle no se suele tener en cuenta ni aprovechar la sustentación e incluso puede haber un pequeño coeficiente positivo.

La fuerza de sustentación se basa en que la corriente de aire que pasa por encima del ala recorre mayor distancia que la que pasa por debajo y por lo tanto adquiere mayor velocidad. Eso provoca una menor presión en la parte superior del ala que en la parte inferior. El resultado es una fuerza que aspira el ala hacia arriba.

La diferencia de presiones sobre la superficie (extradós) y la interior o inferior (intradós), genera la fuerza de sustentación:

**Figura 1.** Diferencia de presiones sobre la superficie (extradós) y la interior o inferior (intradós), genera la fuerza de sustentación



Esto ocurre, si el aire que circula por el extradós, está "pegado" a él; si el ángulo de incidencia aumenta, la sustentación, como veremos posteriormente, aumenta; pero si el ángulo de incidencia, con respecto al sentido del movimiento o flujo de aire, es excesivo, el aire se "despega" del extradós, no aumentando la sustentación, sino reduciéndose drásticamente; por tanto es necesario conocer este ángulo límite y las consecuencias que ello tiene; evidentemente, existen métodos para poder aumentar de manera considerable el ángulo de incidencia (para aumentar la sustentación), tales como estructuras de varias superficies perfiladas o inyectores o "succionadores" de aire.

Por ello mismo, todas las gráficas que relacionan la fuerza de sustentación con el ángulo de incidencia, son del siguiente tipo:

**Figura 2.** Relación entre la fuerza de sustentación con el ángulo de incidencia.



En el caso del diseño de coches de competición, se denomina "Down Force" o fuerza descendente, a la

sustentación en sentido vertical y hacia abajo, que es la responsable de aumentar la adherencia de los neumáticos con el asfalto, y con ello por ejemplo, una disminución del tiempo de paso por curva.

Algunas partes, como los pontones de refrigeración, de los coches de Fórmula 1 e incluso ellos mismos, vistos en perfil, poseen figuras en sí mismas con alta Down Force y baja resistencia. Las formas que mal-denominamos aerodinámicas, se aplican, como veremos, de forma muy extendida en coches de competición.

Por otro lado, existe otra fuerza de resistencia, que se denomina fuerza de resistencia inducida; se denomina así, pues es la resistencia que genera la fuerza de sustentación (inducida por otra fuerza); de ahí, que ambas fuerzas, sean dependientes entre sí, y a su vez, lo sean, de otros factores, como veremos.

La cuantificación de la fuerza de sustentación, se realiza a través de la siguiente expresión: sea "V" la velocidad (m/s), "d" la densidad (Kg/m<sup>3</sup>), "A" el área y "CL" el coeficiente de sustentación; sea "L" la fuerza de sustentación:

$$L = \frac{V^2 Ad}{2} CL \quad \text{Ec. 3}$$

El resultado se mide en Newton, como todas las fuerzas; para obtener kilos como unidades (es más ilustrativo) hay que dividir esa cantidad entre la aceleración de la gravedad, en el punto donde se realice el cálculo (9.8 m/s<sup>2</sup> al nivel del mar; a más altura, la aceleración de la gravedad "g" disminuye). [1].

### 3.3. Diseño conceptual

La elaboración de las carcasas exigía necesariamente el tener en cuenta las dimensiones de las propulsores que iban a ser instaladas en las plataformas. Para esto se pensó en hacer una carcasa de líneas muy rectas y definidas. En las imágenes mostradas a continuación, se muestran perfiles de vehículos que corren a grandes velocidades, lo que indica que sus fuerzas de arrastre son pequeñas y que las fuerzas de sustentación negativas son bastante altas.

El primer modelo, se caracteriza por tener una parte delantera bastante baja y un cambio de curvas bastante suave, lo que permite crear un perfil de velocidades mucho más uniforme, lo que garantiza un equilibrio mayor del auto a altas velocidades y una incidencia mucho menor de la fuerza de arrastre debido a que el aire que incide sobre el coche tiene un flujo más suave y un escape más rápido del contacto con la superficie del carro (Figura 3).

Figura 3. Vehículo numero 1

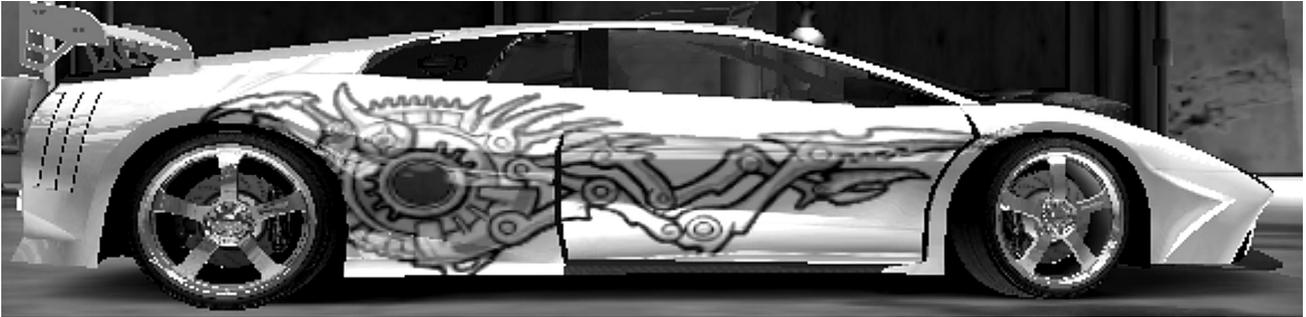
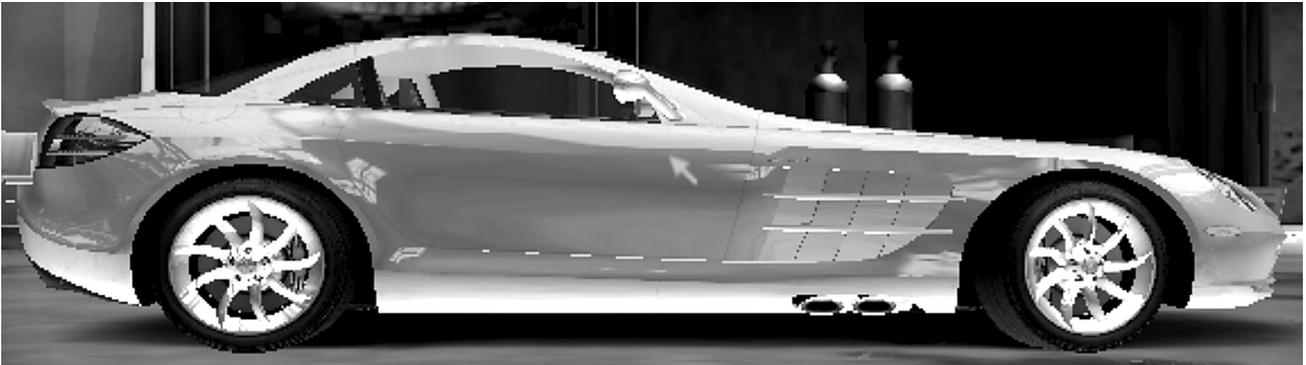


Figura 4. Vehículo numero 2



Figura 5. Vehículo numero 3



En el segundo modelo se aprecia un prototipo de vehículo con perfil de automóvil de formula 1. La presencia del alerón trasero (spoiler), lo cual indica, que en su diseño se tuvo en cuenta que se generara un flujo de viento que generaría niveles de presión mayores, creado por fuerzas de sustentación negativas, que permite pegar el carro mas al piso. Dándole así mayor estabilidad y agarre durante la competencia (Figura 4).

En este tercer y último prototipo se muestran curvas aun más suaves un perfil muy alargado y con curvas muy definidas. Sus características de diseño permiten resaltar grandes velocidades y grades fuerzas de sustentación negativas que permite generar grandes velocidades y gran estabilidad que es positiva a la hora de desarrollar toda su potencia (Figura 5).

#### 4.4 Diseño básico.

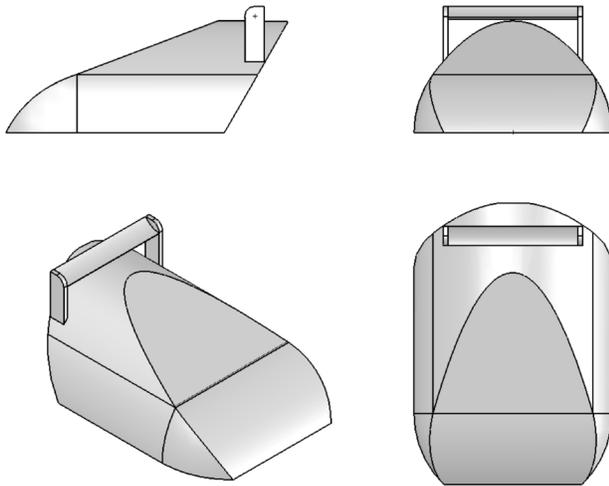
Tabla 1. Datos generales del diseño de la carcasa

CONCEPTOS	DESCRIPCIONES
Función	Crear una carcasa que se ajuste a varios sistemas de propulsión.
Dimensiones	Las dimensiones están limitadas a 30mm x 30mm x 30mm
Fuerzas	Deberán simularse las fuerzas de sustentación y las fuerzas de arrastre para el perfil seleccionado.
Materiales	ABS
Montaje	Que se adapte cuatro plataformas con cuatro propulsiones diferentes de manera precisa durante la competencia.

El mayor inconveniente que se presentó fue con la propulsión de energía elástica acumulada, dado su gran tamaño y que necesitaba este de un espacio para que la cinta métrica se pudiera desplegar con facilidad al retribuir toda su energía acumulada al eje del vehículo.

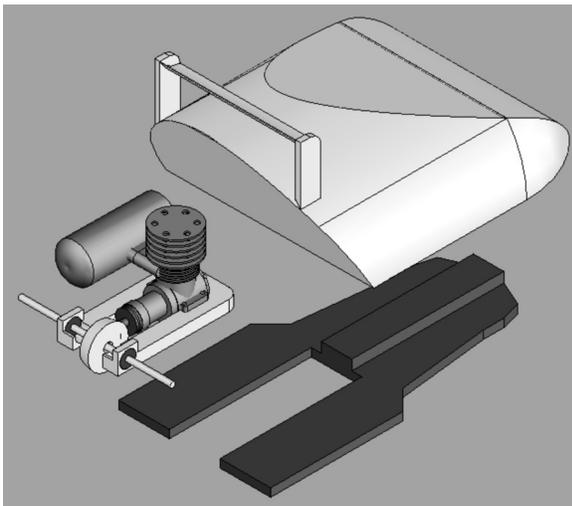
### 2.5 Diseño preliminar

**Figura 6.** Vistas de la carcasa a simular



La estructura seleccionada se muestra como un diseño de parte delantera corta, pero de cambios de sección muy bien definidos, los cuales reflejan pues la apariencia fresca del prototipo y aseguran aumentar en grandes cantidades las fuerzas de sustentación negativas y disminuir las fuerzas de arrastre [2].

**Figura 7.** Carcasa con su sistema de propulsión.



### 2.6 Relación tamaño – peso

Propiedades físicas:

Sistema de coordenadas de salida: -predeterminado-

Densidad = 0.00102 gramos por milímetro cúbico  
 Masa = 3387.06 gramos  
 Volumen = 3320645.72 milímetros<sup>3</sup> = 3.32064572 e-3 m<sup>3</sup>.  
 Área de superficie = 161957.78 milímetros<sup>2</sup>  
 Centro de masa: (milímetros)

X = 78.75  
 Y = 41.78  
 Z = 127.99

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* milímetros<sup>2</sup>)

Medido desde el centro de masa.

I<sub>x</sub> = (0.97, -0.22, 0.00) P<sub>x</sub> = 10845993.83  
 I<sub>y</sub> = (0.00, -0.00, -1.00) P<sub>y</sub> = 17436266.48  
 I<sub>z</sub> = (0.22, 0.97, -0.00) P<sub>z</sub> = 24451716.25

Momentos de inercia: (gramos \* milímetros<sup>2</sup>)  
 (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

L<sub>xx</sub> = 11532613.79  
 L<sub>xy</sub> = -2978228.05  
 L<sub>xz</sub> = 19769.31

L<sub>yx</sub> = -2978228.05  
 L<sub>yy</sub> = 23765138.35  
 L<sub>yz</sub> = 3775.76

L<sub>zx</sub> = 19769.31  
 L<sub>zy</sub> = 3775.76  
 L<sub>zz</sub> = 17436224.42

Momentos de inercia: (gramos \* milímetros<sup>2</sup>)  
 Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

I<sub>xx</sub> = 72928487.36  
 I<sub>xy</sub> = 8166214.29  
 I<sub>xz</sub> = 34159698.31

I<sub>yx</sub> = 8166214.29  
 I<sub>yy</sub> = 100255559.97  
 I<sub>yz</sub> = 18115517.19

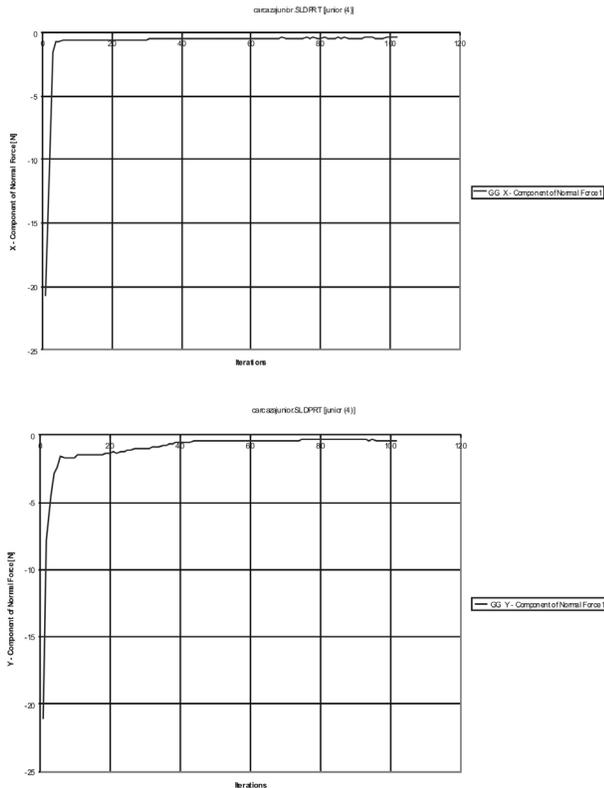
I<sub>zx</sub> = 34159698.31  
 I<sub>zy</sub> = 18115517.19  
 I<sub>zz</sub> = 44355358.16

RELACIÓN TAMAÑO - PESO:

$$R = V / (M * g) = (3.32064572 \text{ E-3 m}^3) / (3.38706 \text{ Kg} * 9.81) = 9.9937 \text{ e-5 m}^3/\text{N}$$

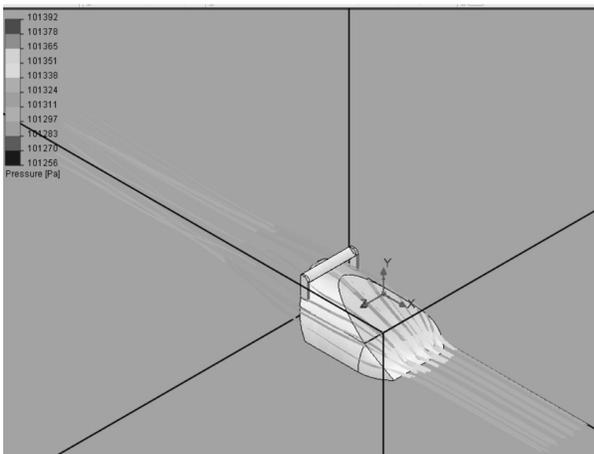
## 4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Figura 8.



A continuación, una figura que nos muestra como es el comportamiento de la presión del flujo de viento al encontrar una figura de oposición, en este caso el diseño de carcasa realizado, que revela como es el comportamiento de los niveles de presión del viento; en donde en el centro de la carcasa se muestra niveles altos de presión debido al choque directo del viento y al aumento de la fuerza de arrastre en esta zona que origina niveles alto de presión por el área de contacto entre el viento y la oposición a su circulación la carcasa [3].

Figura 9.

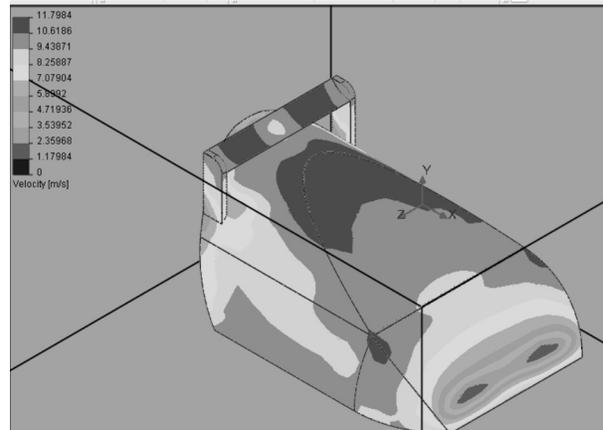


También, se muestra como se ve afectada la presión sobre la superficie de la carcasa. De ahí, podemos darnos cuenta que la mayor presión se genera en el contacto carcasa – aire y que donde se generan presiones bajas debido a la libertad de circulación del viento lo que muestra que en esas zonas las fuerzas de arrastre disminuyen considerablemente. Se ve claramente zona de alta presión donde la fuerza que la originan tienen componentes verticales que le permiten al auto mantener una mayor eficiencia en el momento de asumir cargas en otros sentidos y mejorar su estabilidad con respecto al piso, pegando el auto mas al suelo.

Además, podemos apreciar la distribución de cómo se vería afectada la velocidad sobre la carcasa de nuestro dispositivo móvil.

Aquí podemos darnos cuenta que donde se generan presiones bajas se encuentran las velocidades mas altas y menor componente de la fuerza de arrastre y mayores componentes de la fuerza de sustentación inversa, lo que permite que las fuerzas de sustentación inversas mantengan pegado al suelo el carro. [3].

Figura 10.



## 4. CONCLUSIONES

- Nos dimos cuenta que la mayor presión se genera en el contacto carcasa – aire y que donde se generan presiones bajas debido a la libertad de circulación del viento lo que muestra que en esas zonas las fuerzas de arrastre disminuyen considerablemente. Se ve claramente zona de alta presión donde la fuerza que la originan tienen componentes verticales que le permiten al auto mantener una mayor eficiencia en el momento de asumir cargas en otros sentidos y mejorar su estabilidad con respecto al piso, pegando el auto mas al suelo.
- Estimamos que donde se generan presiones bajas

se encuentran las velocidades más altas y menor componente de la fuerza de arrastre y mayores componentes de la fuerza de sustentación inversa, lo que permite que las fuerzas de sustentación inversas mantengan pegado al suelo el carro.

- Apreciamos gráficamente como es el comportamiento de la presión del flujo de viento al encontrar una figura de oposición, en este caso el diseño

de carcasa realizado, que revela como es el comportamiento de los niveles de presión del viento; en donde en el centro de la carcasa se muestra niveles altos de presión debido al choque directo del viento y al aumento de la fuerza de arrastre en esta zona que origina niveles alto de presión por el área de contacto entre el viento y la oposición a su circulación la carcasa.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R.B.Bird (1992). Fenómenos de transporte. Editorial reverté Barcelona España.
- [2] Paz, M. (1994).International Handbook of Earthquake Engineering / Codes, programs, and examples. Chapman & Hall.
- [3] Software Solid Edge.