

PROPUESTA DE UN DISEÑO AERODINÁMICO PARA EL PROTOTIPO FÓRMULA SAE UDO FP6

Carlos Cumarin; José Eduardo Rengel^{}; Félix Payares*

Centro de Métodos Numéricos (CMNI), Departamento de Mecánica, Núcleo de Anzoátegui, Universidad de Oriente.
Barcelona, Venezuela

**E-mail: jregel.anz@udo.edu.ve*



RESUMEN

En este trabajo se realiza la propuesta de un diseño aerodinámico para el prototipo Fórmula SAE UDO FP6, que permitirá un buen desempeño aerodinámico del monoplaza en pista y buenos resultados en las competencias de la Fórmula SAE Internacional. Para lograr este objetivo, inicialmente se definieron los parámetros aerodinámicos que influyen en los componentes que forman parte del paquete aerodinámico de un prototipo Fórmula SAE, como son la carrocería, los neumáticos, la suspensión, los alerones, fondo plano y difusor. Luego, se construyeron los modelos físicos de las geometrías de cada uno de los componentes aerodinámicos que conforman el prototipo Fórmula SAE UDO FP6 con la ayuda de un software CAD, considerando el espacio disponible y el reglamento SAE internacional. Seguidamente, mediante el uso del software CFD, se elaboraron los modelos computacionales de las geometrías de la carrocería para obtener los campos de velocidad y presión del aire con lo que fue posible analizar y comparar el comportamiento del flujo en cada modelo, y determinar los coeficientes aerodinámicos para posteriormente seleccionar la mejor geometría de la carrocería según el rendimiento aerodinámico. Luego, se elaboraron los modelos computacionales de los prototipos Fórmula SAE UDO FP6 incluyendo fondo plano, difusor, alerones trasero y delantero para así determinar sus coeficientes aerodinámicos. Posteriormente, con el coeficiente de arrastre y sustentación, se calculó el rendimiento aerodinámico de cada prototipo, y así se seleccionó, progresivamente, el modelo de fondo plano, difusor, alerón trasero y delantero que conformará el prototipo Fórmula SAE UDO FP6.

Palabras Claves: Aerodinámica, Fórmula SAE, Alerón, Difusor

PROPUESTA DE UN DISEÑO AERODINÁMICO PARA EL PROTOTIPO FÓRMULA SAE UDO FP6

ABSTRACT

This paper presents a proposal for aerodynamic design for FORMULA SAE UDO FP6 prototype, which will allow good aerodynamic performance of the car on the track and good results in the International Formula SAE competitions. Initially the aerodynamic parameters that influence the components that are part of the aerodynamic package of a Formula SAE prototype were defined, such as the bodywork, tires, suspension, wings, undertray and diffuser. Then, models of the geometries of the aerodynamic components that make up the Formula SAE UDO FP6 prototype were built with the help of CAD software, considering the available space and the international SAE regulations. Next, use of CFD software, computational models of the bodywork geometries were created to obtain the velocity and air pressure fields with which it was possible to analyze and compare the flow behavior in each model, and determine the coefficients aerodynamics to later select the best bodywork geometry according to aerodynamic performance. Then, computer models of the Formula SAE UDO FP6 prototypes were developed with the models of undertray, diffuser, rear and front wings in order to determine the aerodynamic coefficients of the models. Subsequently, with the drag and lift coefficient, the aerodynamic performance of each prototype was calculated, and thus the models of the undertray, diffuser, rear and front wings that make up the Formula SAE UDO FP6 prototype were progressively selected.

Keywords: Aerodynamics, Formula SAE, Wings, Diffuser

1. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de mejorar el rendimiento de los automóviles, los ingenieros automotrices han centrado sus esfuerzos en mejorar diferentes aspectos de estos. En este contexto, se ha experimentado mucho con las características relacionadas con la aerodinámica. Todas las marcas de competición (Ferrari, Mercedes Benz, McLaren, Red Bull) y comerciales (Honda, Fiat, Toyota, BMW, Audi, etc) han dedicado miles de horas hombre en el desarrollo de esta rama (REF).

Hace algunos años atrás, la aerodinámica sólo se podía estudiar con la ayuda de túneles de viento o pruebas de pista, los cuales tienen un alto costo, sin embargo, actualmente, con el desarrollo de nuevas tecnologías computacionales, han surgido softwares que permiten estudiar los fenómenos aerodinámicos que se producen en un vehículo a las diferentes condiciones a la que está expuesto, como lo hacen los equipos de la Fórmula 1 y muchos de los que integran la Fórmula SAE.

En los últimos años, los equipos de Fórmula SAE han ido incorporando cada vez más estudios aerodinámicos a sus prototipos, equipos con destacadas actuaciones a nivel mundial (Universidad de Stuttgart, Graz, Nagoya, Michigan, entre otros) y nacional (USB, UNIMET, UCV, etc) (REF). Es debido a estos avances que surge la necesidad de realizar diseños de componentes aerodinámicos que permitan optimizar el desempeño del prototipo y hacerlo competitivo entre los equipos de las distintas universidades del mundo.

Cuando se refiere a vehículos de carreras se busca que estos tengan la mejor aceleración en la dirección correcta. Al salir de una curva es importante que el prototipo sea capaz de acelerar al máximo hasta llegar al siguiente punto de frenado que puede ser la próxima curva del circuito o simplemente no frenar hasta alcanzar la velocidad máxima. Para lograr esto, el vehículo debe ser estable y para mejorar la estabilidad la aerodinámica puede llegar a ser un factor fundamental.

Estudiar los efectos que produce el aire sobre los sólidos que se mueven es el objetivo de la aerodinámica. En el área automotriz se utiliza al momento de diseñar la carrocería y elementos externos a la misma, como alerones y difusores; de

sus formas depende la estabilidad y la resistencia ante el avance del vehículo (REF), aspectos importantes en la competencia debido a que las pruebas se realizan en circuitos con curvas cerradas donde es indispensable tanto la sustentación del prototipo como la baja resistencia al avance, esenciales para alcanzar alto puntaje en la prueba de aceleración. A la vez, parte de la potencia del motor del vehículo es utilizada para vencer la fuerza de arrastre lo que influye en el consumo de combustible, aspecto evaluado en la competición (REF).

En este sentido, se propone un diseño aerodinámico para el prototipo Fórmula SAE UDO FP6, para maximizar el rendimiento aerodinámico del mismo. Para realizar este diseño aerodinámico inicialmente se seleccionará la mejor geometría de la carrocería, para luego seleccionar progresivamente los modelos del fondo plano, difusor, alerones traseros y delanteros adaptados a la carrocería y así obtener el prototipo Fórmula SAE UDO FP6 con el mejor rendimiento aerodinámico.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Modelos Computacionales y Simulación Numérica

Para seleccionar la geometría de los elementos del Fórmula SAE fue necesario realizar previamente los modelos computacionales y las simulaciones numéricas de los modelos con la ayuda del programa ANSYS FLUENT, y así determinar los coeficientes aerodinámicos necesarios para el cálculo del rendimiento aerodinámico. Para la selección de los componentes del prototipo fue necesario seguir los pasos que se describen a continuación:

2.1.1 Volumen de control

El prototipo cuenta con una longitud de 2820 mm, un ancho de 1120 mm y una altura de 960 mm. En base a esto, el dominio tiene unas dimensiones de 9200 mm de ancho (la mitad del ancho del prototipo más el triple de la longitud del mismo), 9600 mm de altura (altura del vehículo más el triple de la longitud) y 28200 mm de longitud; se considera la mitad del ancho del prototipo ya que se aplicará simetría al estudio para minimizar el costo computacional. En la Figura 1 se detallan las dimensiones.

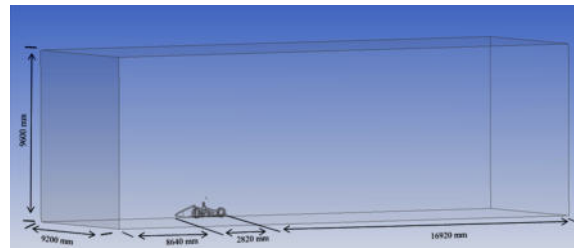


Figura 1. Dimensiones del volumen de control para los prototipos

2.1.2. Condiciones de contorno

Se establecieron siete condiciones. Entrada y salida, determinan donde será el punto de entrada y de salida del flujo que se va a utilizar. Carretera y simetría sirven, respectivamente, para establecer cuál es el suelo del modelo y simetría para que el software reconozca que después de ese marcador el flujo guardará simetría con el que ocurre en el

dominio computacional. Lateral y superior, establecen donde el flujo no es perturbado por condición alguna. Por último, está el prototipo donde se miden las variables de interés. En la tabla 1 se muestran las condiciones de contorno establecidas para las simulaciones y en la Figura 2 su distribución.

Tabla 1. Definición de las condiciones de contorno en el Programa Ansys Fluent.

Frontera	Condición
Entrada del dominio	Magnitud de velocidad: 50 km/h. Dirección: -Z.
Salida del dominio	Presión manométrica: 0 pascal.
Paredes del dominio (lado superior, lateral y simetría)	Simetría
Carretera	Condición de pared trasladando. Magnitud de la velocidad: 50 km/h. Dirección: -Z.
Neumáticos	Condición de pared rotando. Magnitud de la velocidad angular: 52,32 rad/s. Dirección para rotación: +X.

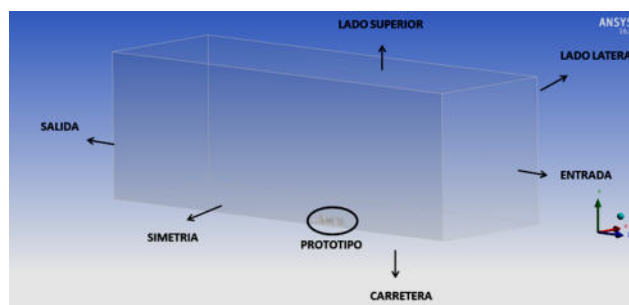


Figura 2. Condiciones de contorno en Ansys – Fluent

2.1.3. Método de solución

El método de solución recomendado para este tipo

de simulaciones (REF) se detalla en la Tabla 2

Tabla 2. Definición del método de solución en el programa Ansys Fluent.

<i>Variable</i>	<i>Condición</i>
Esquema de acople presión-velocidad	Algoritmo COUPLED.
Gradiente	Basado en celdas, mínimos cuadrados
Presión	Estándar
Cantidad de movimiento	Upwind de segundo orden
Energía cinética de turbulencia	Upwind de segundo orden
Tasa de disipación de turbulencia	Upwind de segundo orden

2.1.4 Estudio de sensibilidad de malla

Por la complejidad de los modelos se escogió un mallado no estructurado de 3 niveles, con mayor refinamiento en los espacios cercanos al prototipo y en la superficie del mismo. Se realizó un estudio de sensibilidad de mallado a uno de los modelos definidos del prototipo. En este estudio se consideraron diversos parámetros que permitieron realizar dicho estudio. Estos parámetros fueron:

- Parámetros de calidad de malla (ortogonalidad y oblicuidad).
- Presión estática sobre el prototipo.
- Parámetro YPLUS.
- Evaluación de velocidad del aire en la estela.

Se realizaron simulaciones para diferentes tamaños de malla y, en cada caso, se evaluaron los 4 parámetros mencionados. De acuerdo con dichas evaluaciones, se seleccionó malla que contiene 2077457 elementos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Modelos Físicos y selección de los Componentes Aerodinámicos

Para elaborar la carrocería y los elementos aerodinámicos del vehículo se consideraron 2 aspectos, los cuales forman la base para la concepción y diseño de manera que se cumpla con los objetivos de la competencia. Estos fueron: espacio disponible en función del chasis, suspensión, neumáticos y cualquier otro accesorio, y el cumplimiento del reglamento de la Fórmula SAE (REF). Otros elementos como el motor, sistema de freno, intercambiadores de calor, computador y dirección del vehículo no se consideran debido a que están ubicados en la parte interna del chasis, por ende, no afectan la geometría de los modelos físicos de los elementos.

3.1.1 Carrocería

Se elaboró un único modelo de carrocería, el cual se caracteriza por una configuración geométrica con curvaturas suaves para alcanzar el mayor efecto coanda y un área frontal relativamente pequeña. En la Figura 3 se observa el modelo de carrocería ensamblado con los neumáticos, el piloto, parte del chasis y la suspensión. A este prototipo se le llama P1. En Tabla 3, se detallan los coeficientes aerodinámicos que lo caracterizan.

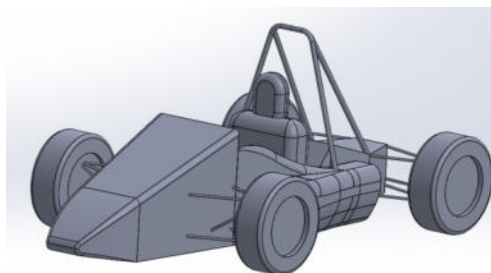


Figura 3. Ensamble en SolidWorks del prototipo P1.

Tabla 3. Coeficientes aerodinámicos del prototipo P1.

Prototipo	Coeficiente de arrastre	Coeficiente de sustentación
P1	0,48	0,08

Estos coeficientes revelan que este modelo genera una fuerza de sustentación con hacia arriba. La Figura 4 muestra la presión estática que se genera sobre la superficie de P1, detallándose zonas de

estancamientos en la parte frontal de los neumáticos, el casco del piloto y la nariz de la punta.

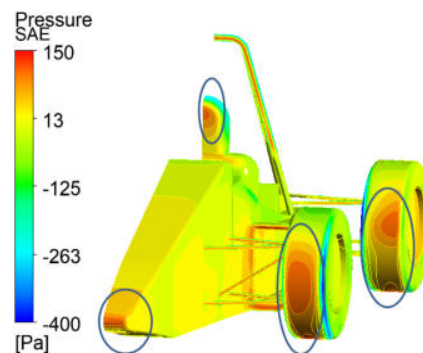


Figura 4. Campo de Presión sobre la superficie del prototipo P1 en Ansys-Fluent.

3.1.2 Fondo plano y difusor

ÁNGULO Y LONGITUD

Para la elaboración del difusor se realizaron diferentes combinaciones de longitudes y ángulos. Para el ángulo del difusor se tomaron en consideración estudios realizados previamente [3], [4], en los cuales recomiendan utilizar ángulos de

salida alrededor de 9°. Para la longitud del difusor se consideró la máxima permitida por el reglamento de la Fórmula SAE la cual es de 1140 mm, así como también recomendaciones de otros autores [4], [5], los cuales sugieren utilizar una longitud entre 500 y 700 mm. En la Tabla 4, se detallan las combinaciones estudiadas.

Tabla 4. Dimensiones de los modelos de difusor.

Modelo de difusor	Longitud (mm)	Ángulo de salida (°)
D1	500	8
D2	500	10
D3	500	12
D4	600	8
D5	600	10
D6	700	8

En la Figura 5 se observa la configuración y los detalles del modelo D5 de difusor.

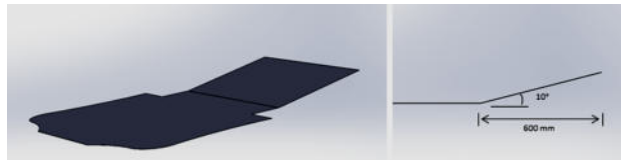


Figura 5. (a) Modelo de difusor D5, y (b) dimensiones del modelo de difusor D5.

Tabla 5. Coeficientes aerodinámicos C_D (coeficiente de ---) y C_L (Coeficiente de ---) de los prototipos con modelos de fondo plano - Difusor.

Prototipo	C_D	C_L	Rendimiento
PTD1	0,41	-0,18	-0,43
PTD2	0,41	-0,23	-0,56
PTD3	0,42	-0,28	-0,67
PTD4	0,40	-0,22	-0,55
PTD5	0,41	-0,28	-0,68
PTD6	0,41	-0,25	-0,61

En la Tabla 5 se observa que el coeficiente de arrastre es similar en los diferentes prototipos, mientras que el coeficiente de sustentación varia considerablemente, siendo el C_L lo que marcó diferencia en el rendimiento aerodinámico. El prototipo PTD5 fue el seleccionado, al tener el mejor rendimiento aerodinámico con un valor de -0,68, mientras que el PTD1 el peor (-0,43).

DERIVAS LATERALES

Las derivas laterales que utilizan los difusores son de gran importancia debido a que evitan que el aire se desplace hacia la parte superior del mismo (donde la presión del flujo es mayor) reduciendo así considerablemente el coeficiente de sustentación (REF). Se realizaron dos (2) modelos incluyendo derivas laterales al difusor, el primero con 4 derivas (D5*/4D) y el segundo con 6 derivas (D5*/6D), como se observa en la Figura 6.

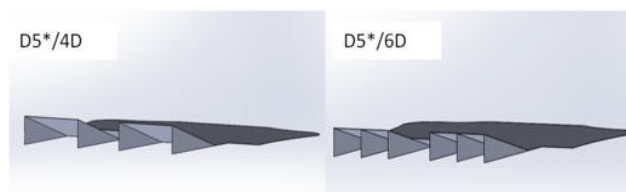


Figura 6. Modelos de difusores con derivas laterales

En la Tabla 6, se detalla como el coeficiente de arrastre no varió con la inclusión de las derivas, sin embargo el coeficiente de sustentación aumentó

con el prototipo PTD5*/4D (-0,24) y aún más con el PTD5*/6D (-0,26), por consiguiente aumenta el rendimiento aerodinámico.

Tabla 6. Coeficientes aerodinámicos de los prototipos que incluyen derivas laterales.

Prototipo	CD	CL	Rendimiento
PTD5*	0,41	-0,23	-0,56
PTD5*/4D	0,41	-0,24	-0,58
PTD5*/6D	0,41	-0,26	-0,62

En la Figura 7 se presenta la presión estática que ejerce el aire en el fondo plano-difusor de los tres (3) prototipos.

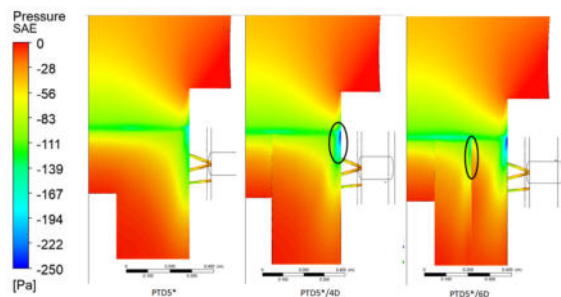


Figura 7. Contorno de presión estática en el fondo plano-difusor de los prototipos PTD5*, PTD5*/4D y PTD5*/6D.

Se observa que la incorporación de las derivas redujo considerablemente la presión estática del fluido alrededor de la arista que une el fondo plano con el difusor. También, se ve como el modelo de cuatro (4) derivas reduce la presión del fluido en el difusor, mientras que con seis (6) derivas disminuye aún más la presión en el dispositivo. Los círculos negros indican las zonas donde mayor efecto producen estos dispositivos.

3.1.3 Gurney Flap

Este elemento consiste en añadir una aleta al borde de salida de un perfil aerodinámico o, en este caso, justo a la salida del difusor. Incorporar un Gurney flap a un perfil permite, en el mejor de los casos, incrementar su sustentación hasta un 20 %, pero con la desventaja de que se obtiene una penalización en la resistencia aerodinámica (REF). Se eligió una longitud de Gurney flap de 20 mm, lo cual representa el 3,33% de la longitud del difusor (600 mm). A este modelo de difusor se le dio por nombre D5*/6D+GF. En la Figura 8 se presentan los gurney flaps en el difusor y en la Tabla 7 los resultados obtenidos.

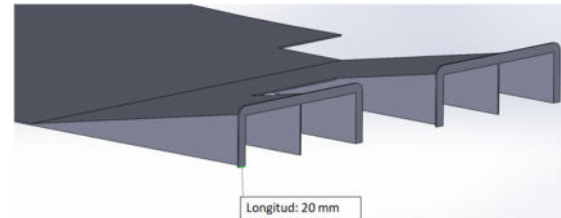


Figura 8. Difusor modelo D5*/6D+GF.

Tabla 7. Coeficientes aerodinámicos del prototipo que incluye el gurney flap.

Prototipo	CD	CL	Rendimiento
PTD5*/6D	0,41	-0,26	-0,62
PTD5*/6D+GF	0,43	-0,31	-0,72

Se observa como el coeficiente de sustentación aumenta considerablemente con la incorporación del gurney flap, aumentando un poco el coeficiente de arrastre, incrementando el rendimiento aerodinámico del prototipo con gurney flap (PTD5*/6D+GF) a un valor de -0,72.

El aumento de velocidad del aire con la incorporación del gurney flap disminuye el campo de presión del fluido en la parte inferior del difusor, lo que ocasiona que el gradiente de presión entre las zonas que se ubican por encima y por debajo del mismo aumente, produciendo el incremento del coeficiente de sustentación en el prototipo. En la Figura 9 se detallan los campos de presión para los prototipos con y sin gurney flaps.

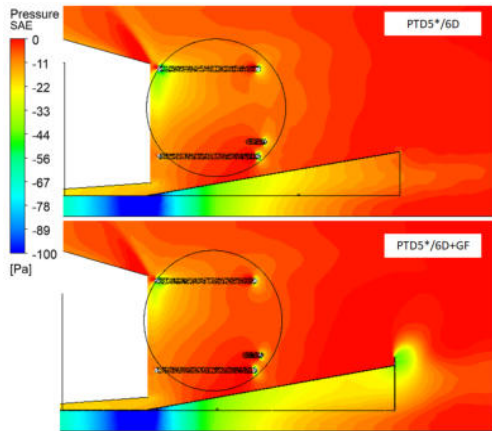


Figura 9. Comparación de los contornos de presión alrededor del difusor de los prototipos PTD5*/6D y PTD5*/6D+GF en Ansys - Fluent.

3.1.4. Alerones

Para la elaboración de los alerones se consideraron diversos parámetros: perfil aerodinámico, ángulo de ataque y tamaño de cuerda de los perfiles, y posicionamiento de los elementos secundarios.

Para la selección del perfil aerodinámico se inició con la comparación de cuatro (4) perfiles comúnmente utilizados en el diseño de alerones en el mundo del automovilismo (E423, FX74-CL5-140, NACA 6409 y S4180). Puesto que el máximo rendimiento aerodinámico es el objetivo, el perfil E423 fue el seleccionado para los alerones, ya que el mismo posee el mejor rendimiento para la mayoría de los ángulos de ataques evaluados por el programa xFoil, como se detalla en la Figura 10.

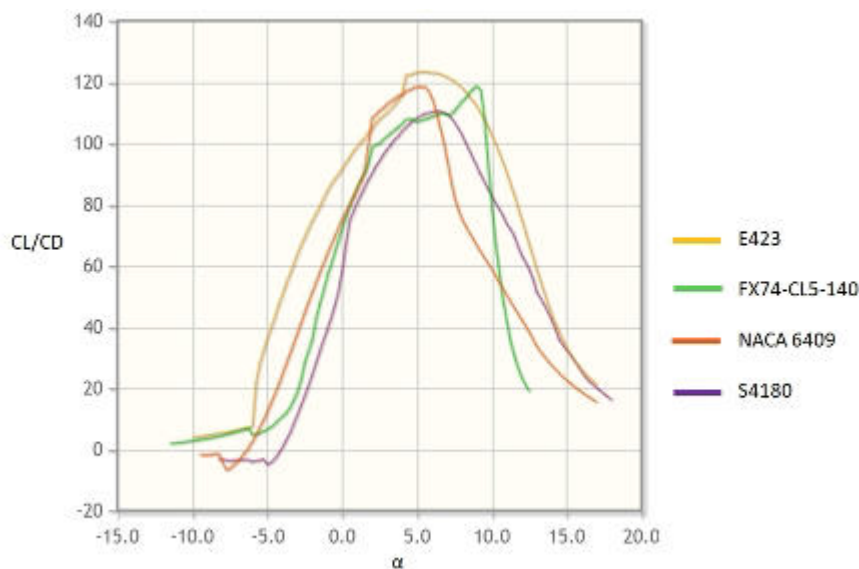


Figura 10. Curva del rendimiento aerodinámico con respecto al ángulo de ataque de perfiles aerodinámicos. [6]

ALERÓN TRASERO

El alerón trasero se diseñó con tres elementos, donde el tamaño de la cuerda es de 500 mm y 150 mm, para el elemento principal y los secundarios, respectivamente. Estas dimensiones fueron seleccionadas considerando el área máxima permitida por el Reglamento para el dispositivo.

El objetivo principal del alerón trasero es generar la mayor sustentación negativa, por ello se estudiaron altos ángulos de ataques en los perfiles. Para el elemento principal se varió entre 0° y 10°, en tanto que para los elementos secundarios se recomienda ángulos de 25° a 30° y 30° a 70° para los elementos

secundario 1 y 2, respectivamente.

El posicionamiento del elemento secundario 1, con respecto al elemento principal, fue de un overlap de 20 mm (3,2 % de la cuerda entre estos dos elementos) y un gap de 15 mm (2,4 % de la cuerda), mientras que el posicionamiento del elemento secundario 2, con respecto al 1, fue de 10 mm de overlap (3,4 % de la cuerda de los elementos secundarios) y 7 mm de gap (2,4 % de la cuerda).

Bajo todos los parámetros mencionados anteriormente se elaboraron seis (6) diferentes modelos con una envergadura de 980 mm para

todos los elementos variando los ángulos de ataque de los perfiles como se detalla en la Tabla 8. Los

resultados de las simulaciones se muestran en la Tabla 9.

Tabla 8. Dimensiones de los modelos de alerón trasero.

Modelo	Cuerda A (mm) a	Ángulo A (°) a	Cuerda B1 y B2 (mm)	Ángulo B1 (°)	Ángulo B2 (°)
AT1	500	0	150	25	40
AT2		0		25	60
AT3		5		25	40
AT4		5		25	60
AT5		10		25	40
AT6		10		25	60

a: A refiere al elemento principal, B1 y B2 al elemento secundario 1 y 2 respectivamente

Tabla 9. Coeficientes aerodinámicos de los prototipos que incluyen alerón trasero.

Prototipo	CD	CL	Rendimiento
PTAT1	0,65	-1,11	-1,71
PTAT2	0,73	-1,22	-1,67
PTAT3	0,66	-1,09	-1,65
PTAT4	0,76	-1,27	-1,67
PTAT5	0,68	-1,17	-1,71
PTAT6	0,74	-1,19	-1,60

Al detallar los resultados en la Tabla 9, se observa como los prototipos PTAT1 y PTAT5 fueron los que obtuvieron el mejor rendimiento aerodinámico con -1,71, siendo el PTAT5 el seleccionado por presentar el mayor coeficiente de sustentación con -1,17.

La baja velocidad del aire que se genera en la parte superior del alerón PTAT4 provoca que este

prototipo alcance una alta presión del fluido en esta zona, lo cual se muestra en la Figura 11. Esto beneficia la fuerza de sustentación en dirección descendente, así como la baja presión del aire en la parte inferior, ya que aumenta el gradiente de presión en el alerón. Es por esta razón que este tiene el mayor coeficiente de sustentación con -1,27.

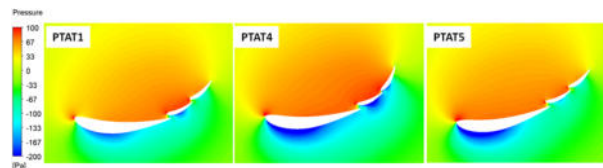


Figura 11. Contornos de presión del aire alrededor del alerón trasero de los prototipos PTAT1, PTAT4 y PTAT5 en Ansys.

En tanto, el PTAT1 posee el menor CL (-1,11) debido a que está caracterizado por generar el menor gradiente de presión entre el campo superior e inferior del alerón. A su vez, el PTAT1 alcanza el menor coeficiente de arrastre entre los seis modelos con 0,65.

ALERÓN DELANTERO

El alerón delantero se diseñó con dos elementos con una envergadura de 490 mm, el tamaño de la cuerda del elemento principal es de 450 mm y del secundario es de 190 mm.

Los ángulos de ataque variaron entre 0° y 5° para el

elemento principal y entre 20 y 30° para el secundario. El posicionamiento del elemento secundario con respecto al principal, tiene un overlap de 22 mm (3,6 % de la cuerda total) y un gap de 13 mm (2,13 % de la cuerda total).

Se estudiaron cuatro (4) diferentes modelos variando los ángulos de ataque tanto del elemento principal como del secundario, tal como se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Dimensiones de los modelos de alerón delantero.

Modelo	Cuerda A (mm) ^b	Ángulo A (°) ^b	Cuerda B (mm) ^b	Ángulo B (°) ^b
AD1	450	0	190	20
AD2		0		30
AD3		5		20
AD4		5		30

b: A refiere al elemento principal, B al elemento secundario

La variación brusca en la configuración geométrica del elemento principal y secundario del alerón afecta el campo de velocidad que se genera en la parte inferior del dispositivo, siendo menor para los prototipos PTAD3 y PTAD4 debido a que su elemento principal tiene un ángulo de ataque de 5°, lo que permite que el fluido se mantenga adherido

en mayor proporción del alerón en su parte inferior (efecto coanda) lo que provoca que el campo de presión sea menor en esta zona para estos dos prototipos, como se muestra en la Figura 12, y que generen los mayores coeficientes de sustentación, -1,17 y -1,25, respectivamente, como muestra la Tabla 11

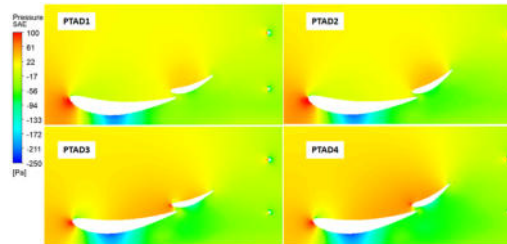


Figura 12. Contornos de presión alrededor del alerón delantero de 4 prototipos que incluyen este dispositivo en Ansys – Fluent.

Tabla 11. Coeficientes aerodinámicos de los prototipos con la incorporación de los modelos de alerón delantero.

Prototipo	CD	CL	Rendimiento
PTAD1	0,68	-1,05	-1,54
PTAD2	0,70	-1,08	-1,54
PTAD3	0,70	-1,17	-1,67
PTAD4	0,73	-1,25	-1,71

Por otro lado, el prototipo PTAD1 fue el que presentó el menor gradiente de presión antes y después del dispositivo en dirección horizontal como se observa en la Figura 12, por lo que el coeficiente de arrastre que se genera fue el más bajo con un valor de 0,68. El PTAD4 es el prototipo seleccionado al presentar el mejor rendimiento aerodinámico con -1,71.

3.2 Prototipo final

El prototipo PTAD4 (Figura 13), a pesar de tener el mismo rendimiento aerodinámico al prototipo PTAT5 de -1,71 (Tabla 9), posee mejor coeficiente de sustentación con -1,25. Por esta razón fue el seleccionado para representar el prototipo aerodinámico Fórmula SAE UDO FP6. Este generó una fuerza de sustentación total de -215,24 N y una fuerza de arrastre total de 125,62 N cuando el

vehículo se desplaza a 50 km/h.

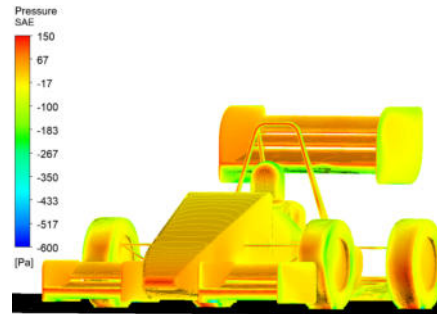


Figura 13. Contorno de presión en el prototipo Formula SAE UDO FP6 en Ansys - Fluent.

En la Tabla 12 se detallan las fuerzas y coeficientes aerodinámicos de los prototipos que se

seleccionaron, estas fuerzas se determinaron a una velocidad de los prototipos de 50 km/h.

Tabla 12. Coeficientes y fuerzas aerodinámicas de los prototipos seleccionados a 50 km/h.

Prototipo	CD	FD (N)	CL	FL (N)	Rendimiento
PTD5	0,41	53,32	-0,28	-36,18	-0,68
PTD5*	0,41	53,14	-0,23	-29,96	-0,56
PTD5*/6D	0,41	54,96	-0,26	-33,56	-0,62
PTD5*/6D+GF	0,43	55,58	-0,31	-40,15	-0,72
PTAT5	0,68	117,70	-1,16	-202,20	-1,71
PTAD4	0,73	125,62	-1,25	-215,24	-1,71

4. CONCLUSIONES

El prototipo Fórmula SAE UDO FP6 propuesto posee un coeficiente de arrastre de 0,73 y sustentación de -1,25 y genera fuerzas totales de 125,62 N y -215,24 N de arrastre y sustentación, respectivamente, cuando el vehículo se desplaza a velocidad de 50 km/h. Al comparar estos coeficientes aerodinámicos con los del prototipo FP5 de la Fórmula SAE UDO, el cual genera $CD=0,62$ y $CL=0,253$ [1], se detalla que a pesar del aumento del arrastre de aproximadamente un 20 % se obtuvo una mejora considerable en el coeficiente de sustentación, el FP5 no contaba con sustentación en dirección descendente.

Por otro lado, al comparar la aerodinámica del FP6 con los equipos destacados de la Fórmula SAE a nivel mundial, los cuales se caracterizan por tener paquetes aerodinámicos en su diseño y amplios estudios en esta rama, se detalla que hay cierta similitud en los resultados. En particular, el equipo alemán Centaurus Racing Team, que posee destacadas actuaciones en las competencias, diseñó

un paquete para su modelo Thireus 277, el cual genera fuerzas de 110 N y -220 N, de arrastre y sustentación respectivamente (a una velocidad de 50 km/h) [6], resultados muy similares a los obtenidos en el prototipo FP6 (125,62 N y -215,24 N). Por tanto, se espera que el Fórmula propuesto tenga un comportamiento destacado en las diferentes pruebas de los eventos organizados por SAE International. Tanto en las pruebas dinámicas de endurece, skidpad y autocross, las cuales adjudican el 75 % de los puntos totales de los eventos dinámicos, como en los eventos estáticos, donde se desarrollan toda clase de justificaciones y estudios necesarios llevados a cabo en el proceso de diseño y construcción del Fórmula.

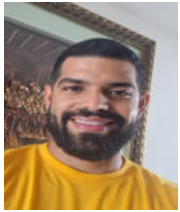


5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Métodos Numéricos en Ingeniería y al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, como al equipo Fórmula SAE UDO por el apoyo que hizo posible la presente investigación.

6. REFERENCIAS

- [1]. Sevilla, A. Evaluación aerodinámica de la carrocería del vehículo fórmula SAE UDO 2015. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. Barcelona. 2015.
- [2]. Lanfrit, M. Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT. Darmstadt. Alemania. 2005.
- [3]. Peddie, K. y Gonzalez, L. (2004). CFD study on the diffuser of a Formula 3 Race car. Universidad de Sydney, Australia. 2004.
- [4]. Buljac, A. y Kozman, H. Aerodynamic performance the underbody and wings of an open-wheel race car. Universidad Zagreb, Croacia. 2016.
- [5]. Biswal, S. y Prasant, A. Desing and optimization of the diffuser for the Formula SAE CAR for improved performance. Universidad imperial de Londres, Inglaterra. 2016.
- [6]. Oxyzoglou I. Design and developement of an aerodynamic package for a fsae race car. Universidad de Tesalia, Grecia. 2017.

7. MINIBIOGRAFÍA DE AUTORES

	<p>Carlos Javier Cumarín Salazar</p> <p>Nació en La Victoria, Estado Aragua, egresado de la Universidad de Oriente como Ingeniero Mecánico, desde el año 2021 se desempeña como Ingeniero de Proyecto en la empresa estatal PDVSA, también como diseñador mecánico con ayuda de Software CAD y CFD.</p>
	<p>José Eduardo Rengel Hernández ORCID: 0000-0002-4510-8846</p> <p>Ingeniero Mecánico (Universidad de Oriente, 1990), maestría y doctorado en Ingeniería Oceánica (Universidad Federal de Rio de Janeiro). Docente en la Universidad de Oriente. Tutor de tesis de pregrado y postgrado. Ha escrito diversos artículos científicos y dirigido proyectos de investigación en el área de Control, Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos y en Dinámica de Fluidos Computacional.</p>
	<p>Félix Omar Payares</p> <p>Ingeniero Mecánico (Universidad de Oriente, 1991), Doctor en Ingeniería Industrial (Universidad Politécnica de Valencia, España, 2000). Docente en la Universidad de Oriente. Tutor de tesis de pregrado y postgrado, artículos científicos, y proyectos de investigación en el estudio diseño y fabricación de sistemas y equipos mecánicos.</p>