

## Tema A5\_65 Educación en Ingeniería Mecánica: Aerodinámica, Fórmula SAE

# Metodología de diseño aerodinámico para un vehículo tipo Fórmula SAE

Juan Alberto Camacho Bolaños<sup>a</sup>, Marcelo López Parra<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Edificio UAT. Campus Juriquilla, Fray Antonio de Monroy e Hjar 260. Villas del Mesón, Juriquilla, Querétaro. C.P. 76230, México

\*Dirección de correo electrónico: juancamacho@ciencias.unam.mx<sup>a</sup>, lopezp@unam.mx<sup>b</sup>

---

### RESUMEN

---

*En este artículo se evalúa el papel de la aerodinámica dentro de la competencia Fórmula SAE para poder entender las tendencias en diseño y los resultados que se generan dentro de dicha competencia. Para ello se analizó información de las competencias pasadas y se dio un seguimiento a algunos de los mejores equipos según la tabla general de posiciones. Posteriormente se discuten algunas estrategias en materia de diseño aerodinámico que los equipos utilizaron, contrastando los resultados generales de la competencia contra los equipos que no hicieron uso de algún artefacto aerodinámico. Para finalizar se presenta una metodología de diseño aerodinámico que tiene como objetivo reducir los tiempos de diseño, prueba e implementación de dichos vehículos.*

---

*Palabras Clave: Fórmula SAE, Aerodinámica. Dinámica de Fluidos Computacionales, Simulación.*

### ABSTRACT

---

*This paper proposes an aerodynamic design methodology for a Formula SAE racing car, for this reason a brief review showing the results of the previous competitions is presented. To get a reference frame, the aerodynamic design methodologies of the best teams are discussed, finally the author's methodology is presented.*

---

*Keywords: Formula SAE, Aerodynamics, Computer Fluid Dynamics, Simulation.*

---

## 1. Introducción

Fórmula SAE es una competencia de diseño en Ingeniería con un ciclo de vida de dos años, cuyo fin es mejorar las habilidades de diseño y administración de proyectos de los estudiantes en ingeniería mecánica, permitiendo aplicar los conocimientos aprendidos en clase [1]. La competencia tiene como objetivo de diseño desarrollar un vehículo monoplaza para los entusiastas no profesionales del automovilismo, dicho vehículo debe tener buen diseño, construcción, desempeño y precio [1].

Para la competencia se sigue un guion: Una compañía de manufactura ha contratado a un equipo de diseño para desarrollar un vehículo pequeño tipo Fórmula, el cual se muestra en la Figura 1. El prototipo será evaluado por su potencial como artículo de producción. El mercado objetivo son los entusiastas no profesionales del

automovilismo. Cada equipo de estudiantes debe diseñar, construir y probar un prototipo basado en un conjunto de reglas cuyo propósito es asegurar el funcionamiento del mismo dentro del evento y promover maneras inteligentes de resolver los problemas. El vehículo deberá pasar una serie de pruebas para garantizar que cumple con las reglas de la competencia, además el vehículo deberá ser pilotado para poder ser evaluado en un conjunto de pruebas dinámicas sobre la pista. El resto del puntaje se obtendrá a través del diseño, costo total del vehículo y una presentación ficticia de venta del prototipo [1].

## 1.1. Evaluación del vehículo

Para decidir al ganador de la competencia los vehículos deben ser evaluados conforme a las siguientes pruebas [1]:

- **Eventos estáticos (325 puntos).**
  - Presentación (75 puntos).  
Desafía la habilidad del equipo para presentar un plan de negocio coherente que promueva la posición de vehículo en el mercado objetivo.
  - Diseño (150 puntos).  
Evalúa la adherencia a buenas prácticas de diseño durante la concepción, iteración, integración y validación de cada uno de los subsistemas del vehículo.
  - Análisis de costos (100 puntos).  
El equipo deberá mostrar la capacidad para incluir el costo de desarrollo dentro del diseño del vehículo.
- **Eventos dinámicos (675 puntos).**
  - Aceleración lineal (100 puntos).  
Evalúa la habilidad del vehículo para acelerar en línea recta durante 75 metros.
  - Aceleración lateral (75 puntos).  
Mide el agarre lateral del vehículo mientras avanza sobre un círculo de radio constante lo más rápido posible.
  - Auto-cruce (125 puntos).  
Prueba la habilidad dinámica del vehículo por medio de un circuito con rectas y curvas cerradas.
  - Resistencia (275 puntos).  
Califica la durabilidad y confiabilidad haciendo que el vehículo participe en una carrera de 22 kilómetros con 15 vueltas sobre un circuito.

El puntaje máximo que puede obtener un equipo es de 1.000 puntos.

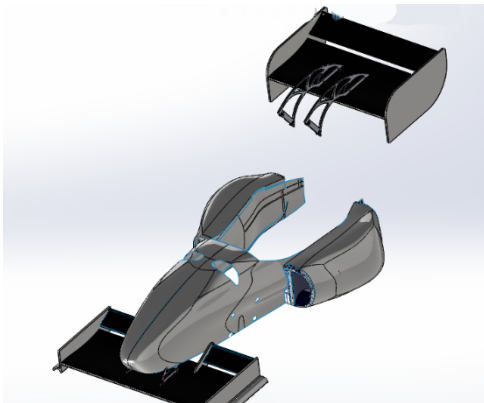


Figura 1 – Carrocería de un vehículo tipo Fórmula SAE.

## 2. Aerodinámica dentro de la competencia

¿Qué beneficio trae para un equipo el diseño, construcción y pruebas de un paquete de este estilo? Es posible observar que la mayor parte del puntaje dentro de la competencia cae en las pruebas dinámicas del vehículo, por lo que si un equipo logra posicionarse de manera positiva dentro de estas pruebas es casi seguro que tendrá un buen lugar general dentro de la competencia.

Si la mayor parte del puntaje se encuentra en las pruebas dinámicas podemos acotar el problema de diseño del vehículo en tres puntos:

- Aceleración.
- Maniobrabilidad en curvas.
- Tiempo de vuelta.

El tema de la aceleración ya era atacado desde el año 2006 donde [2] afirma que la mayor parte de los equipos se enfocaban en desarrollar vehículos ligeros que pudieran acelerar lo más rápido posible para obtener ventaja sobre sus competidores, ese año la Universidad de Texas A & M obtuvo el primer lugar en Michigan gracias a su peso ligero (185 kg) [3,4] y su chasis espaciado.

El desarrollo de carrocerías de materiales como el kevlar [5] y fibra de carbono redujeron el peso de los vehículos, permitiéndoles tener una mejor aceleración. De manera paralela algunos equipos observaron que los pilotos no tenían el tiempo suficiente para entrenar en pista con el vehículo, por tal hecho se comenzaron a estudiar alternativas que pudieran aumentar la fuerza de agarre del vehículo (fuerza que juega un papel importante en la maniobrabilidad), una de esas alternativas era aprovechar la fuerza que el viento ejerce sobre el cuerpo del vehículo mientras está en movimiento [6,7], para probar dichas hipótesis los autores contrastaron los resultados con pruebas en pista [8].

Ese mismo año (2006) gente la universidad australiana RMIT, estaba comenzando a experimentar con el diseño aerodinámico para enfriar frenos [9] obteniendo resultados positivos, mientras que otros equipos comenzaron a incorporar paquetes aerodinámicos [10]. Al mismo tiempo el equipo de la Universidad de Graz construía un vehículo con carrocería de fibra de carbono [2] y el Instituto Rochester de Tecnología implementaba una cubierta de suelo que sustituía a las alas (traseras y delanteras) tradicionales [5], por su parte la Universidad de Washington implementó un ala delantera para su vehículo [11].

Para justificar la adición de un paquete aerodinámico los integrantes del equipo deben obtener información como el coeficiente de arrastre y de sustentación negativa del vehículo con y sin paquete aerodinámico. La validación de esta información no es una tarea fácil ya que se deben realizar mediciones en pista, túnel de viento o en su defecto crear simulaciones con computadora utilizando software de dinámica de fluidos (CFD por sus siglas en inglés) [12].

Para el año 2011 la mayor parte de los equipos más notables estaba invirtiendo recursos en el desarrollo de

paquetes aerodinámicos [10,13-15] y designando personas para el desarrollo específico de dichos paquetes. Las metodologías del análisis aerodinámico se estaban asentando [16] utilizando software CFD aquellos equipos que no tenían acceso a un túnel de viento podían hacer pruebas sin tener que construir los paquetes aerodinámicos, minimizando así los costos de producción y brindando una mayor flexibilidad de diseño.

### 3. Ventajas

El objetivo de la aerodinámica dentro de la competencia es la de maximizar la cantidad de sustentación negativa (downforce) que genera el vehículo para mejorar el desempeño en curvas (dadas las pocas rectas que se crean en los circuitos), sin aumentar demasiado el coeficiente de arrastre [6,7,16,17].

Al día de hoy la mayor parte de los equipos más competitivos poseen responsables dedicados exclusivamente a la parte aerodinámica: desde una sola persona [18-20] hasta los que tienen todo un departamento dedicado a este tema [21-24].

#### 3.1. Resultados anteriores

El estudio se centró en dos de las múltiples competencias que se realizan al rededor del mundo: Fórmula SAE Michigan y Fórmula SAE Lincoln, la primera tiene un carácter típicamente global, mientras que la segunda ha sido usada como competencia continental, esta información se obtuvo de la página oficial de resultados [3], la cual muestra el desempeño de los equipos que entran en la competencia año con año, para acotar la cantidad de información manipulada sólo se consideró el promedio de los 10 mejores equipos comenzando desde el año 2006.

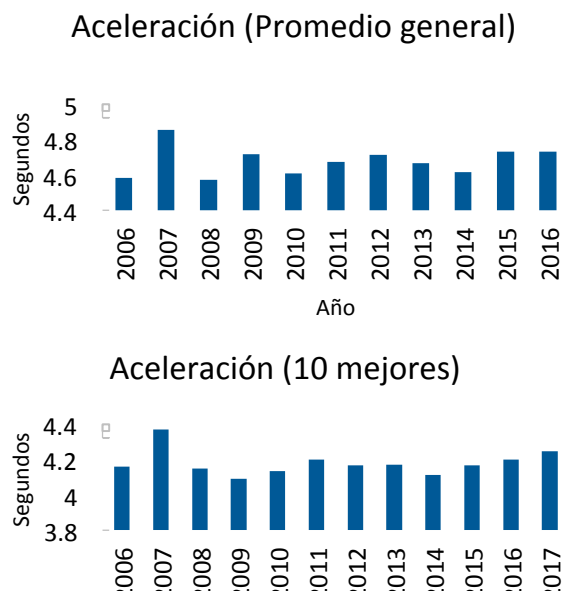


Figura 2 – Aceleraciones de la competencia en Lincoln.

Como caso de estudio se utilizó la prueba de aceleración ya que esta prueba es fija y no ha cambiado desde el año 2006, teniendo así una base de información que puede ser comparada con los resultados actuales. Para fines de visualización se presentan los tiempos promedio de aceleración de cada año en la competencia de Lincoln, tanto de manera general como para los 10 primeros lugares de manera más consistente Figura 2, en dicha figura se puede observar la diferencia de tiempo entre el promedio y los 10 mejores tiempos de cada año. Para contrastar esto se muestra una gráfica (Figura 3) con el tiempo promedio de los equipos más constantes, es decir, aquellos equipos que lograron quedar dentro de los primeros 10 lugares de manera más consistente.

Como caso de estudio se listarán únicamente el nombre de las universidades cuyos equipos realizan algún tipo de investigación aerodinámica:

- Universidad de Maryland - College Park [25-26].
- Universidad Estatal de Oregón [27].
- Universidad de Auburn [28-30].
- Instituto Rochester de Tecnología [31].
- Universidad de Kansas [32-33].
- Universidad de Michigan – Ann Arbor [34-35].
- Universidad de Cornell [36].
- Universidad de Monash [7].
- Universidad de Texas en Arlinton [37].
- Universidad Internacional de Florida [38].

A continuación, se presenta las metodologías de diseño aerodinámico que, a criterio del autor, son las que permiten crear un paquete aerodinámico en un tiempo razonable:

- **Instituto de Tecnología de Rochester**  
Este equipo comienza realizando una lluvia de ideas para generar conceptos sin importar su viabilidad, la clave es obtener ideas creativas para solucionar el problema. Acto seguido, el equipo realiza la elección de un perfil basándose en las fuerzas objetivo que se quieren alcanzar. Cuando las fuerzas aerodinámicas de los perfiles alares se encuentran definidas el equipo elige un actuador que pueda soportar las cargas que se generarán.  
Después de haber diseñado el mecanismo de actuación el equipo procede a realizar simulaciones por computadora, en una primera fase se realiza un análisis de elementos finitos para verificar que el mecanismo diseñado resistirá los esfuerzos que se generan; en una segunda fase se realiza un análisis de fluidos por computadora. Cuando los análisis concluyen el equipo continúa con el diseño electrónico del mecanismo. Para probar el desempeño del paquete el equipo realiza simulaciones de pista vía software (usando Symulink) y pruebas reales en pista. Al final se comparan los resultados de las simulaciones por computadora con los tiempos medidos en la vida real.

• **Universidad de Kansas – Lawrence**

Este equipo comienza seleccionando un perfil alar, actualmente utilizan los perfiles alares tipo Benzling serie 122 y 153, posteriormente se elige un ángulo de ataque que proporcione los coeficientes de sus tentación y arrastre deseados; este proceso analiza únicamente el comportamiento del perfil alar en dos dimensiones. Cuando el análisis finaliza comienza el modelado CAD del paquete aerodinámico, posteriormente se realiza un análisis de fluido por computadora y terminan su proceso comparando los resultados por computadora contra los tiempos reales en pista.

• **Universidad de Michigan – Ann Arbor**

Este equipo comienza calculando los momentos y fuerzas a las que el vehículo (tratado como un sólido) será sometido debido a las cargas aerodinámicas, el cálculo se hace con base al modelo de Pacejka que considera la velocidad angular de las llantas. Para comprobar la validez de sus cálculos, el equipo realiza pruebas en el túnel de viento y realiza simulaciones en pista vía software (ADAMS/Car VI-CarRealTime) y físicas, se compara la información obtenida entre el túnel de viento, el software y los sensores a bordo del vehículo para tomar decisiones de diseño.

• **Universidad de Cornell**

La metodología de este equipo se enfoca a reducir el tiempo de diseño, comienzan diseñando un perfil alar que maximice la cantidad de sustentación negativa, para ello comienzan con un perfil NACA al cual se le realizan modificaciones. Cuando los perfiles alares son creados se realiza un dimensionamiento para cada uno de ellos y comienzan a realizar simulaciones de fluidos por computadora (ANSYS Fluent) para terminar con pruebas de túnel de viento.

El desempeño del paquete es medido tomando en cuenta la diferencia de resultados entre las simulaciones y los tiempos actuales de vuelta (medidos el día de la competencia).

• **Universidad de Monash**

El proceso de diseño de este equipo tiene un ciclo de 4 años [6] el cual empieza entendiendo las reglas de la competencia pertinentes a la parte aerodinámica. A continuación, se genera un conjunto de pruebas dinámicas para medir el desempeño actual del vehículo y poder comparar la mejoría del vehículo con el paquete aerodinámico.

Todo componente del paquete aerodinámico se diseña para maximizar la sustentación negativa utilizando un modelo idealizado del vehículo y calculando las fuerzas que genera cada componente. Posteriormente se hace una simulación de fluidos por computadora y terminan el proceso comparando los resultados de la simulación contra información obtenida vía túnel de viento y valores en pista.

• **Universidad de Texas en Arlinton**

Este equipo comienza realizando el modelado en CAD de los componentes por computadora y hace un énfasis en la simulación de fluidos por computadora para reducir costos de producción. La simulación comienza partiendo de un caso en dos dimensiones para obtener un panorama general de las fuerzas que podrían generarse, a continuación, se realiza un análisis en tres dimensiones para cada componente que conforma al paquete:

- Se establece el tipo de malla ideal para el componente.
- Se busca el ángulo de ataque óptimo.
- Para el modelo general de todo el vehículo se considera una velocidad angular predeterminada en las llantas.
- Se analizan los resultados y se comparan con los valores objetivo.
- Se modifica el modelo CAD según el error y el proceso se repite hasta obtener un resultado cuyo error sea aceptable.
- Después de hallar un modelo que se ajuste a los objetivos de desempeño se obtienen los coeficientes de sustentación y arrastre para continuar con una simulación dinámica del

Lincoln, mejores aceleraciones (promedio)



- University of Maryland – College Park
- Oregon State Univ
- Auburn Univ
- Rensselaer Polytechnic Inst
- San Jose State University
- Michigan State Univ
- Univ of Kansas – Lawrence
- Texas A & M Univ – College Station

Figura 3 – Aceleración de los equipos más constantes en Lincoln.

vehículo que consiste en un simulador de pista (AeroLap con el módulo AeroMap) y se comparan los resultados con los tiempos en pista reales.

- **Universidad Estatal de Oregón**

Este equipo realiza una investigación del estado del arte y procede a realizar un modelo CAD (Solidworks) del paquete aerodinámico, después se realiza el análisis de fluidos por computadora (Star-CCM+) tomando en cuenta un comportamiento turbulento del aire.

- Los resultados de la simulación se comparan con información obtenida en pista vía sensores y mediciones externas.

- **Universidad Internacional de Florida**

Este equipo utiliza la metodología de Ulrich/Eppinger para el desarrollo de su paquete aerodinámico, el proceso comienza definiendo un análisis de diseño general que se extiende a cada pieza del paquete aerodinámico, tomando en cuenta el diseño estructural y costo.

Cuando un paquete aerodinámico es elegido como ganador proceden a realizar simulaciones CFD (Solidworks FlowExpress), por último, los resultados se comparan con la información obtenida vía túnel de viento.

---

#### 4. Metodología

Tomando en cuenta las soluciones propuestas por varios equipos de la competencia Fórmula SAE se generó una metodología de diseño aerodinámico para que sea utilizada por el equipo de la Unidad de Alta Tecnología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. La velocidad promedio de los vehículos tipo Fórmula SAE oscila entre los 15 a los 30 m/s, para todas las pruebas se tomará como referencia la temperatura y presión estándar atmosféricas a 20 °C, se supone que el suelo está compuesto por pavimento asfáltico y que los efectos aerodinámicos inducidos por el cambio en la estructura molecular de las llantas a diferentes presiones y temperatura son despreciables. A continuación, se presenta dicha metodología:

1. Utilizar una metodología de diseño para la generación de propuestas de todo el paquete aerodinámico:
  - 1.1. Ulrich/Eppinger: Es un marco de trabajo para la creación de productos que va desde la identificación de necesidades de mercado hasta la puesta en marcha del producto dentro del mercado [39].
  - 1.2. Deep Dive: Herramienta utilizada para integrar rápidamente a un equipo de desarrollo en un problema de diseño con el objetivo de generar conceptos que solucionen un problema [40].
  - 1.3. Double Diamond: Divide al proceso creativo en dos grupos (diamantes), el problema y la solución, para solucionar el problema se deberán crear muchas propuestas de solución, para solucionarlo deben

escogerse aquellas propuestas que solucionen el problema [41].

2. Tomar al menos 3 soluciones propuestas para la siguiente fase.
3. Realizar una búsqueda de perfiles alares con gran sustentación y alta eficiencia aerodinámica.
4. Caracterizar cada uno de los perfiles alares:
  - 4.1. Considerar el comportamiento a 20, 25, 28, 30 y 35 m/s considerando temperatura y presión estándar del aire:
    - 4.1.1. Ángulo de ataque desde -10 a 30 grados.
    - 4.1.2. Longitud de cuerda desde 0.2 m hasta 0.8 m con incrementos de 0.05m entre iteración.
  - 4.2. Elegir la longitud de cuerda y ángulo de ataque que produzca el mejor comportamiento aerodinámico de cada perfil alar.
5. Escoger 2 perfiles alares como candidatos para convertirlos en las alas del paquete aerodinámico, es decir, se tendrán dos propuestas del paquete.
6. Simular mediante CFD las dos propuestas:
  - 6.1. Por experiencia se recomienda utilizar OpenFOAM o ANSYS Fluent.
  - 6.2. Realizar las simulaciones considerando una velocidad del flujo libre del aire a 20, 25, 30 y 25 m/s considerando temperatura y presión estándar.
  - 6.3. Verificar que los resultados de las simulaciones son independientes del mallado. Es decir, si aumenta el número de elementos de la malla el resultado de la simulación permanece invariante.
7. (Opcional) Realizar pruebas de túnel de viento:
8. Realizar mediciones en pista.
9. Obtener información de sensores montados sobre el vehículo.
10. Comparar los resultados en pista contra las simulaciones para determinar la calidad de estas.
11. Terminar el proceso.

---

#### 4. Conclusión

Fórmula SAE es una competencia donde el tiempo es un factor de impacto sobre el diseño del vehículo, los métodos de simulación por computadora permiten a los equipos realizar prototipos de manera más económica y rápida comparado con técnicas tradicionales de prototipado.

Tradicionalmente la validación de un modelo se realiza mediante pruebas físicas o simulación por hardware especializado, este trabajo es difícil: las pruebas deben ser creadas de manera cuidadosa para evitar la introducción de ruido, los instrumentos de medición deben estar correctamente calibrados y se debe escoger un lugar que introduzca el mínimo de incertidumbre (temperatura del suelo, estado físico de las llantas, condiciones climáticas, etc.).

Aunque la simulación por computadora resulta ser una herramienta muy conveniente, su eficiencia depende de las condiciones iniciales en las que el problema se simula, el modelado que se haga y el método de solución que se

utilice [42]. Por esta razón se recomienda realizar mediciones experimentales o en campo para contrastar los resultados de dichas simulaciones y decidir si el método de simulación satisface las expectativas.

### Agradecimientos

Los autores agradecemos el apoyo proporcionado por la Dirección General de Asuntos del personal Académico de la UNAM, a través del proyecto PAPIIT número 102717 y a CONACYT por el apoyo otorgado para poder realizar este trabajo.

### REFERENCIAS

- [1] SAE International, «Formula SAE Rules.» 2017. [En línea]. Available: <https://www.fsaeonline.com/content/201718FSAE->
- [2] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Michigan, race report.» 2006. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/06%20FSAE%20Michigan.pdf>.
- [3] SAE International, «FSAE, results and awards.» 2017. [En línea]. Available: <http://students.sae.org/cds/formulasaeseries/results/>.
- [4] University of Texas A & M, «Texas A & M Racing: Track record.» 2017. [En línea]. Available: <http://www.texasaggieracing.com/track-record/>.
- [5] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Michigan, race report.» 2007. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/07%20FSAE%20Michigan.pdf>.
- [6] J. Saunders y S. Wordley, «Aerodynamics for formula sae: A numerical, wind tunnel and on-track study,» *SAE Technical Paper*, 2006.
- [7] J. Saunders y S. Wordley, «Aerodynamics for Formula SAE: Initial design and performance prediction,» *SAE Technical Paper*, 2006.
- [8] J. Saunders, S. Wordley y J. Pettigrew, «Aerodynamics for Formula SAE: On-track performance evaluation,» *SAE Technical paper*, 2007.
- [9] A. Stephens, *Aerodynamic cooling of automotive brakes.*, RMIT University, 2006.
- [10] University of Texas at Arlington, «UTA Racing: Legacy cars.» 2017. [En línea]. Available: <http://www.utaracing.com/legacy/>.
- [11] University of Washington, «University of Washington. Past cars.» 2017. [En línea]. Available: <https://www.uwformula.com/ccar/past-cars>.
- [12] M. A. Passmore and C. Craig, «Methodology for the design of an aerodynamic package for formula sae vehicle,» *SAE International*, 2014.
- [13] University of Texas A & M, «Track record.» 2017. [En línea]. Available: <http://www.texasaggieracing.com/>.
- [14] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Michigan, race report.» 2010. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/10%20FSAE%20Michigan.pdf>.
- [15] University of Auburn, «Formula SAE History,» [En línea]. Available: <http://wp.auburn.edu/aufsae/history/>.
- [16] S. Gupta, «Aerodynamics analysis of a formula sae car.,» de *13th International Conference on Heat Transfer*, 2009.
- [17] J. Katz, *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed (Engineering and Performance)*, 2 ed., Bentley Publishers, 1996.
- [18] University of Toledo, «University of Toledo: Racing Team,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.eng.utoledo.edu/~sae/team.html>.
- [19] California Polytechnic Pomona, «California Polytechnic Pomona: FSAE,» 2017. [En línea]. Available: <http://ww.cppfsae.com/about>.
- [20] University of Wisconsin, «Wisconsin Formula SAE Racing Team,» [En línea]. Available: <https://wisconsinracing.org/team>.
- [21] Illinois Motorsports, «Illinois Motorsports Team,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.motorsports.illinois.edu/team.php>.
- [22] RMIT University, «RMIT: The team,» 2017. [En línea]. Available: <https://rmitracing.com.au/the-team-r17>.
- [23] University of Auburn, «Formula SAE Members,» [En línea]. Available: <http://wp.auburn.edu/aufsae/members/>.
- [24] University of Missouri S & T, «Missouri S & T: Formula SAE Members,» 2017. [En línea]. Available: <https://formulasae.mst.edu/members/>.
- [25] L. Hamilton, «Automotive design,» 2015. [En línea]. Available: <http://meugrad.umd.edu/wp-content/uploads/2015/03/ENME-4081.pdf>.
- [26] University of Maryland, «University of Maryland, Terps racing,» 2018. [En línea]. Available: [http://www.astro.umd.edu/~peel/SDU\\_Sophomores/2016Posters/baileycolin\\_late\\_3934410\\_43678896\\_Colin%20Bailey%20Final%20Poster-1.pdf](http://www.astro.umd.edu/~peel/SDU_Sophomores/2016Posters/baileycolin_late_3934410_43678896_Colin%20Bailey%20Final%20Poster-1.pdf).
- [27] K. E. Jensen, «Aerodynamic undertray design for formula sae,» 2011.
- [28] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Lincoln, race report,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/14%20FSAE%20Lincoln.pdf>.
- [29] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Lincoln, race report,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/15%20FSAE%20Lincoln.pdf>. [Último acceso: 24 Octubre 2017].
- [30] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Lincoln, race report,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/16%20FSAE%20Lincoln.pdf>.
- [31] RIT Racing, «P14221: FSAE Aerodynamics - Rochester Institute of Technology,» 2017. [En línea]. Available: <http://edge.rit.edu/content/P14221/public/Design%20Review.pptx>.
- [32] E. Cayabyab, «FSAE final presentation,» 2013. [En línea]. Available: [https://prezi.com/l-3n\\_1skbc\\_s/me-490b-fsae-final-presentation/](https://prezi.com/l-3n_1skbc_s/me-490b-fsae-final-presentation/).
- [33] MSC Software, «Ku jayhawk motorsports program usign adams/car to gain a competitive edge in Formula SAE,» 2017. [En línea].

- Available: <http://web.mscsoftware.com/solutions/Success-Stories/Detail.aspx?storyid=55>, 2012.
- [34] T. J. MacKethan, J. A. Breneman y H. Bell, «Sensitivity of mracing vehicle aerodynamics to roll and pitch.,» 2016.
- [35] University of Michigan, «Mracing: Driven to learn and achieve goals.,» 2015. [En línea]. Available: <https://me.engin.umich.edu/news-events/news/mracing-driven-learn-and-achieve-goals>.
- [36] On All Cylinders, «Campus pit stop #1: Cornell racing sheeds pounds for 2013.,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.onallcylinders.com/2013/10/21/campus-life-cornell-goes-carbon-fiber-2013/>.
- [37] G. Bangalore Jalalppa, «Design and optimization of undertray for formula sae car using cfd analysis.,» 2015.
- [38] F. Sánchez, «Formula SAE Aerodynamics Package.,» 2015.
- [39] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, Product Design and Development, 6 ed., McGraw-Hill Education, 2015.
- [40] RAPIDBI, «Deep-Dive Brainstorming Technique - IDEO.,» 08 05 2018. [En línea]. Available: <https://rapidbi.com/deep-dive-brainstorming-technique-ideo/>. [Último acceso: 10 07 2018].
- [41] Design Council, «Innovation by design.,» 20 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.designcouncil.org.uk/sites/default/files/asset/document/innovation-by-design.pdf>. [Último acceso: 10 07 2018].
- [42] S. Hetawal, «Aerodynamic study of formula sae car.,» *Procedia Engineering*, 2014.
- [43] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Michigan, race report.,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/09%20FSAE%20Michigan.pdf>.
- [44] University of Auburn, «Auburn Formula SAE: Formula SAE Michigan, race report.,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.eng.auburn.edu/~pjones/Formula.SAE/Race%20Reports/08%20FSAE%20Michigan.pdf>.