

ANÁLISIS DE ELEMENTOS DE SUSPENSIÓN DE UN MONOPLAZA TIPO FORMULA SENA-ECO

D. Castellanos, A. Hernández, Y. Pérez, C. León

ingesteban001@gmail.com, alonso.hernandez@usantoto.edu.co, yolanda.torres@usantoto.edu.co,
carlos.leon@usantoto.edu.co

Facultad Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás (SeccionalTunja),
Tunja, Colombia

RESUMEN

En la actualidad es esencial que los elementos de suspensión de los autos de competencia tenga la capacidad de soportar una gran cantidad de esfuerzos a los que serán sometidos y tener un desempeño óptimo para competencias, también que el material cumpla con los requerimientos físicos o con las propiedades para el trabajo. Este documento muestra como por medio de estudios ingenieriles de nivel universitario, como el análisis de elementos finitos, rediseño y soluciones a problemas, para dar la validación de los elementos de suspensión de un monoplaza que pueda ser utilizado en competencia, Donde la evaluación y la optimización de las partes en un monoplaza son importantes para su desempeño, como es la suspensión a la cual se le practicó un proceso de análisis por elementos finitos en ANSYS utilizado para perfeccionar el vehículo, esperando darle un control estable al monoplaza, reducir de peso, validación de la resistencia del material y la pieza diseñada, esto conlleva a un avance tecnológico que propone avances en los estudios de ingeniería para alimentar la ambición del sector automotriz y de ingeniería en el diseño, como se ve en las grandes escuderías de la fórmula 1 en creación de elementos de suspensiones para sus vehículos de competencia.

Palabras clave: Automotriz, Diseño, Elementos finitos, Ingeniería, Monoplaza, Suspensión.

ABSTRACT

It is now essential that the suspension elements of the competing cars have the ability to withstand a lot of efforts that will be submitted and have optimal performance for competition, the material also meets the physical requirements or the properties for the job. This paper shows how through college-level engineering studies such as finite element analysis, redesign and troubleshooting, to provide validation of the suspension elements of a car that can be used in competition, where assessment and optimization of the parties to a car are important to your performance, such as the suspension which underwent a process of finite element analysis in ANSYS used to refine the vehicle, hoping to give a stable car control reduce weight validation of the strength of the material and designed piece, this leads to a technological breakthrough that suggests progress in engineering studies to feed the ambition of automotive engineering and design, as seen in the big teams in formula 1 elements in creating their suspensions for racing vehicles.

Keywords. Automotive, Design, Finite, Elements, Engineering, Monoplaza, Suspension.

I. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que el automóvil cambió la vida del ser humano y que factores como la suspensión es de importancia para la estabilidad de los mismos. En el automovilismo han presentado grandes episodios y grandes problemas, por este sistema vital e implica intereses enormes que condicionan el trabajo de millones de hombres y a los que afecta de manera muy próxima [1].

Se da la aplicación de ingeniería para evaluar y regenerar los elementos de la suspensión de un monoplaça, el cual tiene es capaz de desplazarse por medio de motores eléctricos sean capaces de moverse como se observa en la figura 1, y lograr un desempeño óptimo para competencias, con complementos y estudios de nivel universitario como análisis de elementos finitos, diseño y soluciones de tipo ingenieril para dar la validación del auto para que pueda ser utilizado en competencia. Se tiene la evaluación de las partes vitales de la suspensión de un monoplaça, como lo son los balancines y las tijeras, a las cual se le aplico un análisis de elementos finitos y rediseño para darle ventajas al vehículo, tanto para facilitar su control y estabilidad, como para reducción de peso, que conlleva a un avance tecnológico y que propone adelantos en los estudios de ingeniería, para alimentar las ambiciones del sector automotriz.



Fig1. Imagen de desempeño de suspensión de Mono plaza SENA ECO. [Fuente autor]

Con esto, se entra a apoyar una iniciativa del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) donde presenta la propuesta de la competencia nacional del SENA ECO la cual consiste en la creación de un vehículo tipo fórmula para competencias el cual fue establecido bajo parámetros y reglas impuestas por las directivas y un equipo de ingenieros especializados en el área automotriz, para entregar innovación y compromiso de parte de la institución para el área automotriz.

En las distintas clases de competencias existentes el SENA ECO es un proyecto que impacta en el desarrollo tecnológico, la investigación y la innovación en Colombia. Con monoplaças 100% eléctricos y sin producir emisiones de gases, con lo que se busca aportar al sector industrial que requiere personal que maneje motores de este tipo, no sólo en vehículos o transporte, sino en otras maquinarias, donde se aplicó la interdisciplinariedad con los estudiantes de ingeniería mecánica los cuales evaluaron y optimizaron los sistemas y mecanismos que van a estar dentro del monoplaça en su proceso fabricación [2].

Llevando consigo planes de gestión, calidad y planeación para cumplir a cabalidad con cada uno de los ítems ya propuestos, como creatividad y efectividad del diseño, evaluación y validación del mismo, y poder llevar al automovilismo a una constante evolución, como se puede observar en competencias tan importante como la Fórmula 1 que es posiblemente una de la categoría que más cambio ha sufrido durante la última década, desde 1993 hasta los modelos del 2013. [3]

Guiados bajo los parámetros de entidades como la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) que cubre la normativa que regulan las normas para las competencias de la fórmula 1 y por lo tanto

según el tipo de carrera que se vaya a participar se tiene un tipo de normativa para la construcción y diseño del automóvil. Es el caso de la norma 10.5.3 del reglamento técnico de la FIA, donde establece que la suspensión delantera debe conectar hasta con un máximo de tres componentes. En total, se permiten seis puntos de contacto, tres anclajes por rueda, inclusive si se articulan o combinan desde un punto de pivote [4]. Con este reglamento se elaboró un listado de una serie de piezas impuestas que no son permitidas en este tipo de carreras por razones de seguridad o por estándares parametrizados, que fue la base principal para evaluar la suspensión del mono plaza. En la fórmula 1 es impresionante, este tipo de evaluación según parámetros de competencia el cual siempre mantenía a la misma altura de la suspensión fuera cual fuera la situación, tanto frenando, como acelerando como en pleno apoyo [5].

Con lo anterior se observó que los primeros referentes para obtener una suspensión más eficaz y que cumpla con las expectativas y parámetros impuestos en la competencia, se dio el ejemplo de la suspensión interactiva que dispone de un circuito hidráulico que conecta la suspensión de las cuatro ruedas y optimiza la aerodinámica con distintos niveles de carga [6].

Tomando un claro ejemplo para la evaluación se observa que en carreras de alta velocidad y de reacción, con minúsculos lapsos de tiempo ante cualquier eventualidad, los coches de tipo fórmula deben tener la suspensión de muelles convencionales. De tal forma que se tiene en cuenta para la suspensión del monoplaza la geometría de los miembros que la componen, estos deben tener un perfil simétrico de la mayor parte de su longitud. Esto es para evitar que los diseñadores puedan usarlos como dispositivos aerodinámicos [7].

II. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN

Utilizando el análisis de elementos finitos se o una idea del comportamiento de los elementos de la suspensión como son el balancín y las tijeras; cuando se les aplican las cargas previamente asumidas en el diseño, se garantiza con esta herramienta que la estructura a fabricar tiene un diseño optimo o que tenga la disponibilidad de dejarse modificar para hacerlo más eficiente, comprobando que el material con el que se trabajó los elementos de la suspensión; como es el ACERO ESTRUCTURAL resista los esfuerzos, y poder corregir las suposiciones o datos no compatibles que se asumieron desde el principio del diseño y aproximarlos a una realidad en el comportamiento de la suspensión.

Se llevó a cabo un análisis de elementos finitos con un software CAE (Ingeniería asistida por computadora) que consiste en el uso de programas informáticos como ANSYS para simular la capacidad de cada uno de los elementos de la suspensión balancín y tijeras. A fin de mejorar los diseños de productos, o ayudar en la resolución de problemas de ingeniería para una amplia gama de industrias, esto incluye la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación [8].

Para las escuderías son vitales estas clases de análisis por que les ayuda a visualizar cosas más allá de lo que pueden percibir, en las pruebas de pista un claro ejemplo de estos tipos de herramientas es ANSYS, donde escuderías como Red Bull Racing utiliza como una combinación del software que incluye módulos de informática de alto rendimiento y otro de

dinámica de fluidos, los que se aplican en el mejoramiento de la aerodinámica de sus vehículos. El software ANSYS permite obtener datos precisos y confiables sobre el desempeño de los vehículos, las cuales permiten ajustar de manera óptima cada aspecto del diseño de los prototipos antes de salir a pista, donde se realiza la puesta a punto [9].

Atraves de estos análisis se ayudó al proyecto en la validación de los elementos de la suspensión del monoplaza tipo formula Sena eco, los procesos el análisis se dividió en dos:

un primer análisis de los primeros diseño los cuales serían evaluados para corregir errores de diseño y optimizarlos reduciendo su peso y mejorar la capacidad y eficiencia de la suspensión, ya el segundo análisis es un proceso verificación de que los errores hayan sido corregido y que la optimización del diseño, el modelamiento cumpla a cabalidad con su función sin sufrir ningún inconveniente, de tal forma los se tienen los resultados de los análisis en el balancín el cual va a soportar y transmitir la carga del balancín, las tijeras que le da la estabilidad a la suspensión.

Es por eso que ANSYS es un gran aliado para el análisis del balancín y tijeras del monoplaza SENA ECO. Por otro lado es posible obtener los puntos críticos o visualizar los fenómenos como zona elástica y deformación que pueden sufrir cada una de las partes de la suspensión y poderlos corregir de manera oportuna.

Se efectuó para la suspensión del monoplaza tipo formula SENA ECO la aplicación de unas cargas distribuidas y según cálculos, los cuales van a ser equivalentes a su posición y la forma como van adquirir los mismos, la suma total de la masas de estructura, piezas, piloto y demás, estáticamente es igual 600Kg, el cual equivale al peso total que el carro

soportara, a esta se le aplica una formula esencial para hallar la fuerza total que va soportar la estructura y la suspensión como vemos en la ecuación (1).

$$P \cdot G = F \quad (1)$$

$$600kg \cdot 9,8m/s^2 = 5880N$$

Dónde:

P: Peso

G: Fuerza G o gravedad

F: Fuerza

Donde se tienen 4 puntos de apoyo o las 4 llantas, y se divide la fuerza aplicada entre la parte trasera y delantera de tal forma que el porcentaje de 46% iría hacia la parte delantera y 54% a la parte trasera donde se encuentra la mayor cantidad de elementos distribuidos como se puede ver en la figura 2.

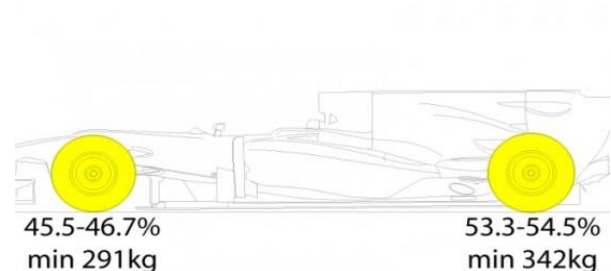


Fig2. Normativa de distribución de peso. [10]

- 46%= 2704,8N En la parte delantera
- 54%= 3292,8N En la parte trasera

A estas son divididas en 2, para distribuir la fuerza que soporta cada apoyo que interviene, como podemos ver en las siguientes ecuaciones y se puede observar el resultado total del M(momento) que se efectúa.

Parte delantera distribución

$$(2704,8N)/2 = 1352.4N \quad (2)$$

$$M=54,09N.m$$

Parte trasera distribución

$$(3292,8\text{N})/2 = 1646.4\text{N} \quad (3)$$

$$M=65,85\text{N.m}$$

A. ANÁLISIS BALANCÍN

Para empezar el análisis de balancín se tuvo en cuenta la utilización del software ANSYS para evaluar los diseños CAD elaborados en INVENTOR ya elaborados por el SENA, dando prioridad a los análisis y resultados, como son zona elástica y deformación, utilizando y distribuyendo las fuerzas ya previamente calculadas. Después de aplicarle un proceso de enmallado, para poder ver más adelante los resultados y evaluar dar respuesta si el diseño necesita alguna modificación.

Con la serie de cálculos obtenidos tenemos la magnitud de las cargas a las que se va a someter el diseño. Lo primero es empezar con un proceso de importación desde el INVENTOR a ANSYS del ensamble con características de un ACERO estructural con que será manufacturado. Se continúa con un proceso de estudio estructural estático en ANSYS WORKBENCH.

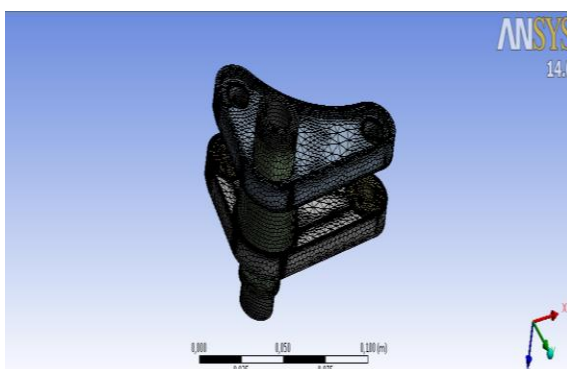


Fig3. Enmallado de balancín. [Fuente autor]

Después del proceso de importación se lleva a él el enmallado de la pieza, el refinamiento del enmallado se da según sea deseado por el analista y tener una mayor exactitud que quiera tener, como se observa en la figura 3. El siguiente paso a seguir es aplicar cargas con magnitudes equivalentes

a 1352,4 N a los 4 émbolos u orificios del balancín según los cálculos realizados para la distribución del peso del carro como se ve en la figura 4.

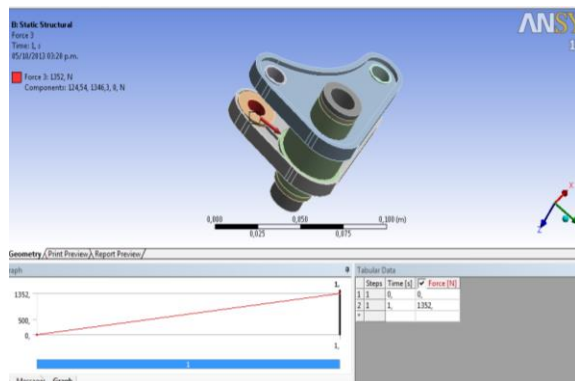


Fig4. Carga sobre orificio de balancín. [Fuente autor]

Como cuarto paso se aplica el momento de 54,58 N.m en el buje central del eje de rotación del balancín como está distribuida en la figura 5, pasando a hacer los estudios y resultados de deformación total y dirección de deformación.

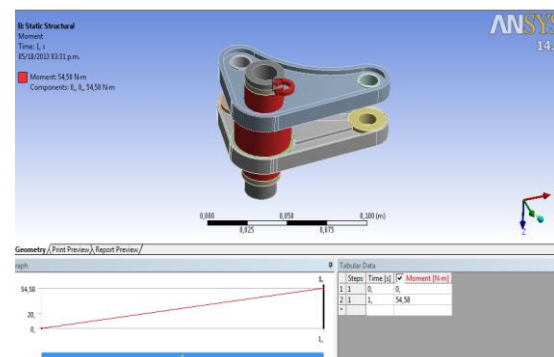


Fig5. Carga sobre eje central del balancín. [Fuente autor]

Después se pasa a un análisis gráfico que nos va a dar ANSYS donde podemos ver la deformación y la deformación elástica que pueda tener y verificar en qué punto y zona puede llegar a fallar el balancín, optimizando el diseño para que sea más liviano y le dé ventajas al monoplaza. De esta forma podemos llegar a una conclusión en que puede llegar a fallar los diseños y pasarlos a un segundo nivel o proceso de análisis donde se va a obtener el diseño final que se fabricará. Lo cual se vuelve importante porque la cantidad de datos

recogida es tan grande que se hace imposible procesarla al mismo tiempo al que se obtiene. Para el procesamiento se utiliza software especializado que permite entender y sacar información. La cantidad de información que se obtiene en un día de test es muy productiva, por lo que una de las labores más importantes es quedarse sólo con la información que nos interesa [11].

B. ANÁLISIS TIJERAS

Para empezar el análisis de las tijeras se tuvo en cuenta la utilización del software ANSYS, para evaluar los diseños CAD elaborados en INVENTOR y desarrollar el mismo procedimiento para el balancín, se tiene que van a soportar una cantidad de carga igual a la que se efectuó sobre el balancín, se tendría la diferencia que la distribución de las fuerzas que actúan en ellas se distribuyen en cada una de las puntas de las tijeras.

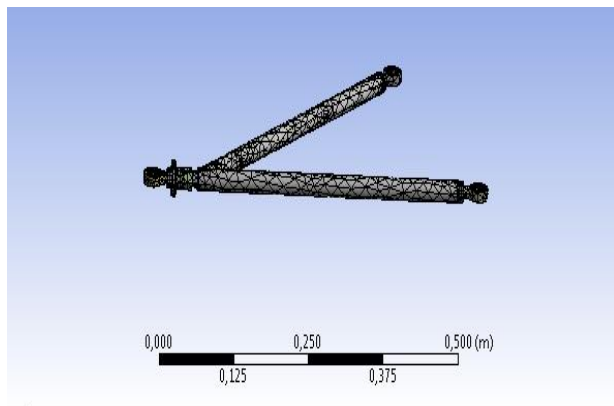


Fig6. Enmallado de tijeras. [Fuente autor]

Comenzando el análisis con un proceso de importación del ensamble mencionado en el proceso del balancín, las tijeras con características de un acero estructural con el cual será sido manufacturado y se continua con un proceso de estudio estructural estático en ANSYS WORKBENCH. El siguiente paso a seguir es el enmallado de la pieza, el refinamiento del enmallado según sea deseado por el analista y la capacidad de procesamiento con la que se cuente como se ve en la figura 6. Se le aplicaron

cargas de 1352,4 N a las tijeras en los tres puntos de soporte de chasis con porta masa de la llanta, que soportan las cargas calculadas para la distribución del peso del vehículo.

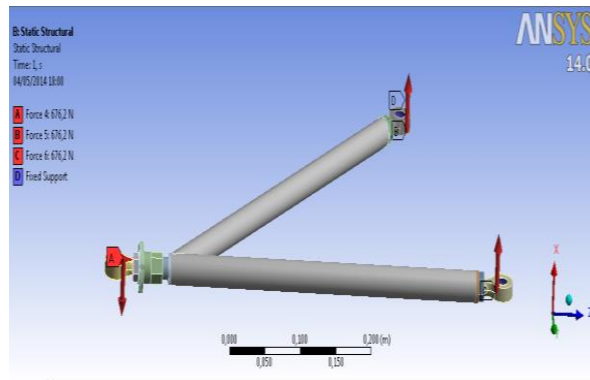


Fig7. Carga sobre soportes de las tijeras. [Fuente autor]

Se tuvo en cuenta un estudio de deformación total y un estudio de dirección de deformación, como también zona elástica las cuales son importantes para saber que la pieza va a responder perfectamente al trabajo asignado y dar un análisis e interpretación de gráficos para llegar a una conclusión final, el programa también da una serie de tablas, las cuales muestran una secuencia de datos, cálculos y puntos máximos y mínimos de cada uno de los fenómenos obtenidos, las características del material utilizado y el tipo de enmallado utilizado para el proceso.

Dado a ver que el análisis del resultado es parte vital de los diseños para poder corregir u optimizar los modelamientos, y que puedan cumplir a cabalidad con el trabajo al que tiene que responder, todas estas pruebas sirven para evitar incidentes y dar una solución rápida a problemas, como es el caso de la escudería McLaren en el 2010, la cual tuvo una temporada arruinada por la falta verificaciones en las pruebas de pretemporada y análisis, que interrumpieron las pruebas de invierno por problemas de escape, como la conocida prueba escape pulpo que se rompió después de un par de vueltas a la pista [12].

III. IMPORTANCIA DE ANÁLISIS Y REDISEÑO

El análisis y el rediseño son de las partes vitales para la suspensión de un vehículo de competencia, el cual es un proceso complejo y de minuciosa investigación, que va desde análisis y cálculo tipos de esfuerzos o eventos a los que será sujeto el elemento a diseñar en este caso la suspensión hasta escoger materiales para su fabricación, lo primero es escoger el tipo de suspensión óptima para utilizar en el vehículo, donde se tienen dos tipos de suspensiones comúnmente utilizadas en la Fórmula 1 con gran efectividad y respuesta ante eventos que se presenten, como el del tren trasero que trata de adelantar el eje delantero. Este sobre viraje hace perder totalmente el control, con un giro de más de 90° sobre sí mismo, dando un trompo. En el sobreviraje el coche se va de atrás. En el subviraje el coche se ira hacia el frente. Un comportamiento neutro implica que el coche no tiende a irse de ningún lado [13].

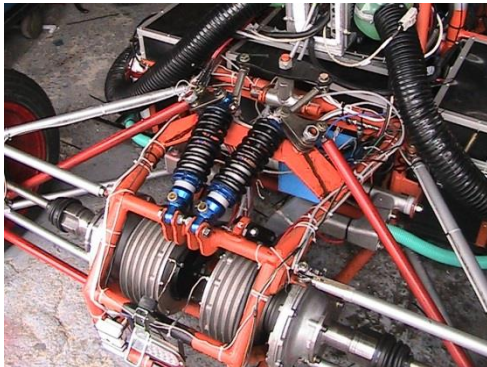


Fig8. Suspensión trasera del monoplaza. [Fuente Autor]

Al tener en cuenta esta clase de fenómenos se puede elegir entre el sistema de suspensión Pull Rod y Push Rod, tal y como dicen sus nombres, la diferencia básica entre las dos es que en una la barra trabaja a tracción y la otra a compresión. Podríamos decir que a nivel de suspensión no hay diferencia entre uno u otro, dejando de lado los puntos de anclaje que evidentemente influirán mucho en la dinámica del monoplaza [14]. Este también visto en la fórmula donde la suspensión delantera podría ser una de las primeras partes que reciban dichos cambios, y es que lamentablemente la revolucionaria

suspensión pull-rod no ha sido lo que se esperaba sobre el papel [15].

Esto es la base para elaborar el diseño y el modelamiento del sistema de suspensión, el cual hoy en día es facilitado por los distintos software de diseño que existen los cuales son vitales para ensamblar la realidad con los elementos de análisis, también llamados CAD (Computer Aided Design) los cuales son programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (2D o 3D). El software CAD como inventor, puede ser especializado para usos y aplicaciones determinados de calidad de diseño [16]. Estos programas son utilizados también en las competencias de alto nivel como la fórmula 1 y en las distintas escuderías para ir un paso adelante en innovación sin dejar atrás las normas de la competencia, se ve esto con los equipos que se pasan varios meses para diseñar su monoplaza, hacen cálculos teóricos, modelos matemáticos, diseños CAD, estudios de dinámica de fluidos, pruebas en el túnel de viento, etc. Tanto los ensayos en el túnel de viento como los estudios de dinámica de fluidos sirven para comprobar los modelos matemáticos y evaluar la eficiencia del coche [17]. A pesar de la tecnología con la que se cuenta hoy en día, no es posible simular la realidad con total exactitud. Por esta razón aún se siguen haciendo ensayos en pista, es decir, hacer comprobaciones empíricamente.

A. SUSPENSIÓN PUSH-ROD Y PULL-ROD

Cada una de técnicas actuales de disposición suspensiones utilizadas en los autos monoplazas, como lo son la Push-rod y la Pull-rod, cada una de ellas tiene sus pros y sus contras. Algunas líneas básicas de las bondades y defectos que tienen al compararse entre ellas. Lo primero que las diferencia es cómo trabaja la barra diagonal. En el caso de la pull-rod, funciona a tracción y por tanto no tiene que soportar esfuerzos de pandeo como a compresión.

Eso implica una barra menos gruesa y más ligera [18].

Con esto la estabilidad que se ve en los autos es alta y con facilidad de maniobrabilidad para las grandes y exigentes competencias de alto nivel y también garantiza la seguridad y comodidad de los pilotos, en la escudería Ferrari se ha presentado desde el 2012, la incorporación de la suspensión tipo pull-rod en la parte delantera del monoplaza [19]. Obteniendo una gran satisfacción por parte de sus pilotos los cuales se mostraron muy conformes y cómodos al manejarlos. Dándole paso a la innovación Ferrari que tiene una clara evolución de su monoplaza, logrando mantenerse siempre disputando los distintos campeonatos cumpliendo con los cambios de normativa para 2014 [20].

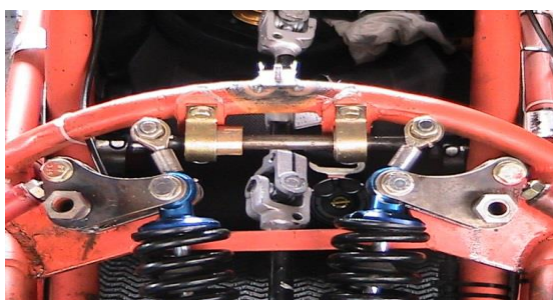


Fig9. Balancines suspensión delantera. [Fuente autor]

De tal forma se generaron las bases para el diseño y modelamiento de la suspensión, donde comenzó el trabajo utilizando el software CAD, como Inventor para modelar y ensamblar cada una de las piezas de la suspensión entre las cuales se encuentran la tijeras, el balancín que serán los encargados de la transición y recepción de los esfuerzos, cada uno ya previamente analizados y con materiales capacidad de soportar los esfuerzos generados por el peso y el movimiento del monoplaza.

Con los ejemplos de las grandes competencias mundiales se tienen las bases para que llegar a un punto de eficiencia de la suspensión y se pueden tomar casos ya estudiados como el de Red Bull, Ferrari que copiaría su suspensión trasera carenada

o de revestimiento de fibra de vidrio. Los dos brazos de suspensión irán carenados y el palier estará entre ellos, para conformar así un perfil alar que contribuya a dar un poco más de carga aerodinámica al eje trasero. Es cierto que, por reglamento, este perfil debe ser 'neutro' desde el punto de vista aerodinámico [21].

Lo cual es una muestra evolución en el diseño y las competencias automovilísticas.

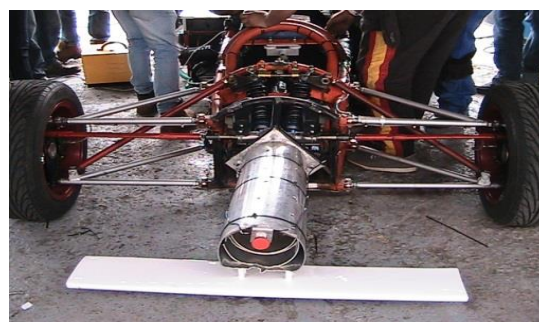


Fig10. Suspensión delantera. [Fuente autor]

IV. RESULTADOS

Al tener en cuenta que los resultados de los análisis son la parte esencial para acreditar el diseño de los elementos de suspensión, se tomaron tablas donde se dan a observar los fenómenos de deformación y zona elástica, verificar que el material con el que se manufacturaron estos elementos tienen la capacidad de soportar las cargas sin sufrir altas deformaciones y daños que puedan dañar la pieza.

A. RESULTADOS DEL PRIMER ANÁLISIS AL BALANCIN

Después de aplicarse las cargas, se pasa al análisis y evaluación de resultados de las pruebas de deformación y de dirección de deformación en ANSYS, gracias a la interacción de los esfuerzos y distribución de cargas que se le fueron aplicadas, empezando con las características del material con el que fue diseñado y manufacturado el balancín como se ve especificado en la tabla 1.

TABLA1
DATOS DEL MATERIAL
ACERO ESTRUCTURAL, [Fuente autor].

Densidad	7850, kg m ⁻³
Coefficiente de dilatación térmica	1,2 e-005 C ⁻¹
Calor específico	434, J.kg ⁻¹ C ⁻¹
Conductividad térmica	60,5 W.m ⁻¹ C ⁻¹
Resistividad	1,7-e 007 ohmios m

- En la solución de la deformación total presenta que la deformación va ocurrir en el área más delgada y larga del balancín, se ve sujeto deformaciones muy pequeñas las cuales y el material no se ve afectado como se observa en la tabla 2 y se visualiza en la figura 11.

TABLA2
DEFORMACIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA DEL
BALANCÍN, [Fuente autor].

Mínimo	1,9438 e-005 m
Máximo	4,9892 e-002 m

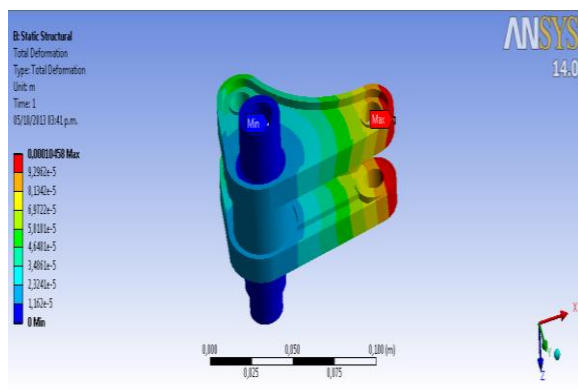


Fig11. Deformación total del balancín. [Fuente autor]

- Se aprecia que el material y el diseño con una extrusión soportan perfectamente las cargas a las que fue sometido, sin presentar roturas, ni grandes deformaciones.

- La punta de la parte delgada y larga del balancín puede sufrir mayor deformación, lo cual implica generar un rediseño que refuerce esta zona.
- El material aunque es pesado se logra reducirle en un 20% del peso con la extrusión al que fue sometido.
- La dirección de la deformación inicia desde el eje donde rota el balancín, se enfoca en área más larga, exactamente hacia la cara lateral con de formaciones pequeñas y su magnitud la observamos en la tabla 3.
- Con base a estos resultados es recomendable un rediseño para reforzar el área donde se focaliza la deformación.

TABLA3
PUNTO MÁXIMO Y MÍNIMO DE LA DIRECCIÓN DE
LA DEFORMACIÓN, [Fuente autor].

Mínimo	-3,9799 E-005 m
Máximo	2,0515 e-005 m

B. RESULTADOS DEL SEGUNDO ANÁLISIS AL BALANSIN

Se elaboró el rediseño del balancín en INVENTOR y se reproceso en ANSYS, se le hizo el proceso de enmallado y de repartición de cargas exactamente a la primera versión, reforzando la parte con más deformación y se observa una nueva serie de resultados y tablas para validar el uso del balancín.

- El resultado de deformación deja a la vista que va ocurrir en el área más delgada y larga del balancín, en más pequeñas proporciones a las del primer balancín y se va a ver afectada menos área del balancín como se observa en la tabla 4 y se visualiza en la figura 11.

TABLA4
DEFORMACIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA DEL
BALANCÍN, [Fuente autor].

Mínimo	0, m
Máximo	9,6866 e-005 m

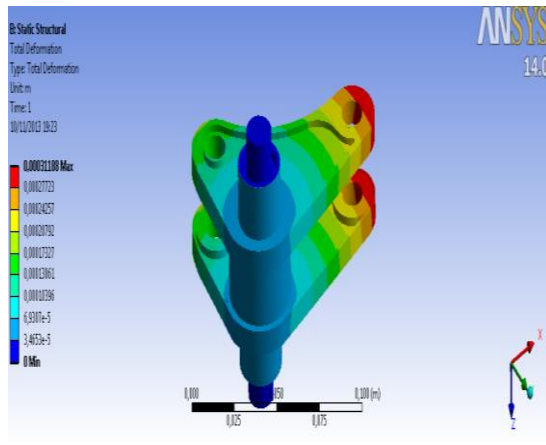


Fig12. Deformación total del segundo balancín. [Fuente autor]

- Como modelo anterior en el que el material y el diseño con una extrusión soportan perfectamente las cargas a las que fue sometido, sin presentar roturas, reduciendo la magnitud en deformaciones.
- La zona elástica del material no pasa su límite, lo que indica que el material es resistente a las cargas a lo que es sometido y no generan deformaciones como se observa en la tabla5 y en la figura 13.

TABLA5
PUNTO MÁXIMO Y MÍNIMO DE LA ZONA
ELÁSTICA, [Fuente autor].

Mínimo	-4,2734 E-004 m / m
Máximo	4,8531 e-004 m / m

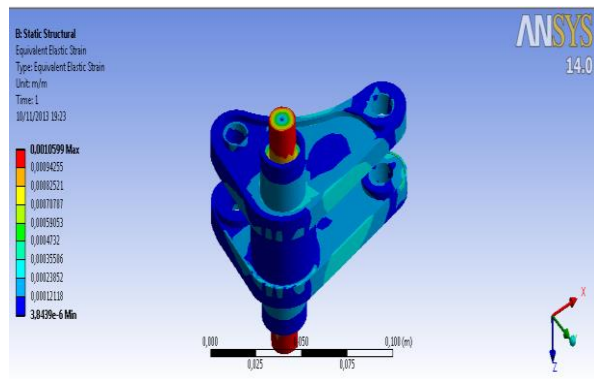


Fig13. Zona elástica del balancín. [Fuente autor]

- El acero estructural es un material capaz de resistir las cargas a las que fue sometido el balancín.
- El material mantiene su reducción de peso y mejora su efectividad para elaborar su trabajo.
- Existe un cambio en cuanto al dirección de la deformación va ir desde el área angosta del balancín y se enfoca en área más larga hacia la cara lateral como se observa en la tabla6 y la figura 14.

TABLA6
PUNTO MÁXIMO Y MÍNIMO DE LA DIRECCIÓN DE
LA DEFORMACIÓN, [Fuente autor].

Mínimo	-3,9799 E-005 m
Máximo	2,0515 e-005 m

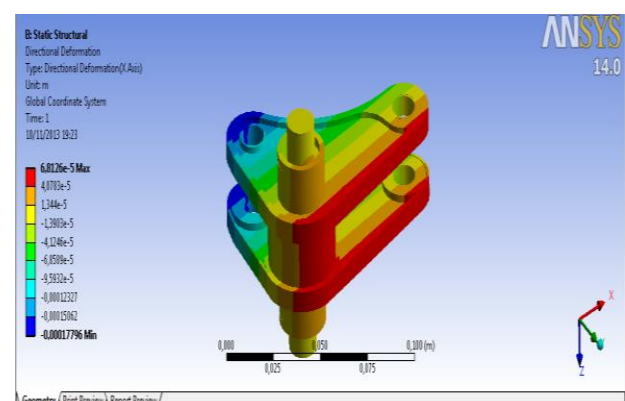


Fig14. Dirección de la deformación del segundo balancín. [Fuente autor]

Con esto se certifica que el balancín y el material con el que fue diseñado y

manufacturado cumplen todas las condiciones de resistencia, seguridad y diseño, necesarias para hacer parte de la suspensión de un vehículo de competencia.

C. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS TIJERAS

Siguiente a la operación de designar las cargas sobre las tijeras, se continua con el análisis y evaluación de resultados de las pruebas de deformación y la dirección en que de la deformación en ANSYS, gracias a la distribución de cargas que le fueron aplicadas, empezando con las características del material de la tubería con el que fue diseñado y manufacturado las tijeras el cual está especificado en la tabla 7.

TABLA7
DATOS DEL MATERIAL
ACERO ESTRUCTURAL, [Fuente autor].

Densidad	7850, kg m ⁻³
Coefficiente de Dilatación Térmica	1,2 e-005 C ⁻¹
Calor específico	434, J.kg ⁻¹ C ⁻¹
Conductividad térmica	60,5 W.m ⁻¹ C ⁻¹
Resistividad	1,7-e 007 ohmios m

- La deformación total tenemos que se va a situar en la parte de donde va ir acoplado el porta masas, siendo capaz de aguantar los distintas cargas a las que se ven sometidas las tijeras, lo podemos observar en la tabla8 y en la figura15.

TABLA8
DEFORMACIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA DEL TIJERAS, [Fuente autor].

Mínimo	1,9438 e-005 m
Máximo	4,9892 e-002 m

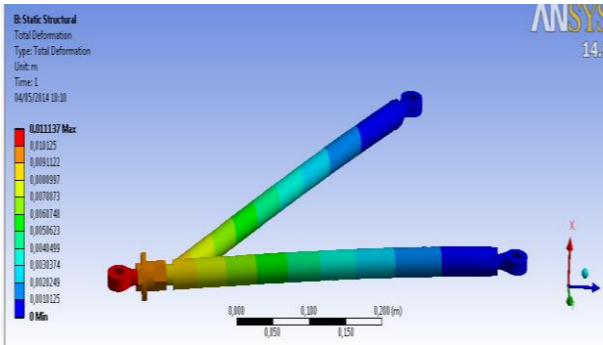


Fig15. Deformación máxima y mínima de las tijeras. [Fuente autor]

- Se aprecia que el material de las tijeras es resistente ante las cargas aplicadas, y que por el estado de la distribución de cargas no va presentar deformaciones altas, los cuales se presentarían más en los acoples de las tijeras los cuales tienen la ventaja de ser remplazados rápidamente.
- la punta que va al porta masas sufre grades esfuerzos pero no lo suficiente para fracturar o dañar la pieza.
- El material de la tubería de ACERO ESTRUCTURAL y las dimensiones de la tubería hace que las tijeras sean muy livianas.
- La dirección de la deformación va en dirección a las puntas que se anclan o unen al chasis como se observa en la tabla 9 y figura 16.

TABLA9
DIRECCIÓN DE LA DEFORMACIÓN, [Fuente autor].

Mínimo	-3,3965 E-002 m
Máximo	1,8257 e-002 m

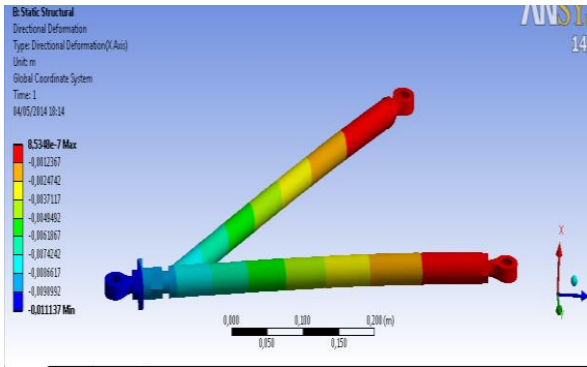


Fig16. Dirección de la deformación de las tijeras. [Fuente autor]

D. RESULTADOS DE SUSPENSIÓN EN LA VIDA REAL

A partir de la experiencia de este proyecto, los participantes y equipos llegan a cumplir a cabalidad con cada una de las ciencias y materias en la que se están educando o teniendo resultados favorables como base de experiencia en su vida laboral.

Se obtienen resultados en las pruebas de pista atribuyendo premios como mejor diseño estructural y de suspensión, garantizando una alta facilidad de maniobra y mostrando también que es uno de los autos más livianos y veloces de competencia, siendo uno de los primeros en ser clasificados, mostrando que todo el trabajo realizado por el equipo durante meses diera frutos favorables y mostrando la capacidad de innovación y trabajo exhaustivo de cada uno de los equipos, logrando una certificación y confianza por medio de cálculos y análisis en software de elementos finitos ANSYS por parte del equipo USTA TUNJA.

Todo esto deja abierta la puerta a una nueva temporada donde se desea generar innovación utilizando y creando teorías de suspensiones como la FRIC (interconexión de suspensión trasera y delantera), que fue la innovación de moda en la Formula 1 en el 2013 Mercedes y Lotus que han estado en investigación desde 2011 con un novedoso sistema hidráulico. El beneficio que tiene este sistema de suspensión es hacer que el coche sea más estable en momento donde actúa la suspensión [22]. Donde cada temporada poder ofrecerle nuevas tecnologías al mundo automovilístico y creando conciencia ecologista y medioambiental.

V. CONCLUSIONES

El análisis de elementos finitos fue esencial para la validación y optimización de los elementos de suspensión como lo fueron las

tijeras y el balancín, los cuales presentaron resultados formidables, superando las expectativas de resistencia de material.

Se cumple el objetivo de tener un balancín como estructura maciza, liviano gracias a la recomendación que se propuso para reducir peso, los efectos de deformación afectaron lo más mínimo el balancín, dado una validación del elemento el cual ya está listo para ser usado en el ensamble de la suspensión.

Las tijeras como elemento vital de conexión entre porta masa-chasis y siendo un el soporte de cargas, el material y el diseño que se elaboro es muy eficiente, de tal forma que no se deja dañar y manteniendo una estabilidad, efectuar su trabajo con exactitud y suavidad, validando este elemento como seguro para ser montado en la suspensión.

Se tiene que la capacidad que el material resiste ante las cargas aplicadas y deja la incógnita de nuevos materiales como el aluminio que se puedan utilizar para reducir peso y tener una capacidad igual a la del acero para soportar cargas.

Se entregó la evaluación y los resultados favorables del análisis en ANSYS por parte de la capacidad de soporte de los elementos de suspensión del monoplaza, garantizando una mejor puntuación en el con curso general del proyecto Sena Eco.

VI. REFERENCIAS

- [1] Elizabeth Del Castillo Z, Formula 1 World Championship, (<http://www.formula1.com/>), fecha de consulta 15-08-2013.
- [2] Miputumayo ,Terminó Fórmula SENA Eco, “compromiso con el medio ambiente,, Diciembre-13-2013.(<http://miputumayo.com.co/2013/11/18/termino-formula-sena-eco-compromiso-con-el-medio-ambiente/>),12-09-2013.
- [3], Fernischumi, Sauber nos muestra 20 años de evolución de la Fórmula 1, 14 de agosto de 2013.

<http://www.motorpasionf1.com/formula-1/sauber-nos-muestra-20-anos-de-evolucion-de-formula-1>).
18-08-2013.

[4] MelangeX3, Humberto Editor, CET La suspensión delantera de Lotus E21 es ilegal, en Motorpasion F1, 30 de junio de 2013.
(<http://www.motorpasionf1.com/formula-1/la-suspension-delantera-de-lotus-e21-es-ilegal>), fecha de consulta 22-08-2013.

[5] Sergio Barranco, Piezas prohibidas en la Fórmula 1 Parte I: La Suspensión Activa, octubre-31-2013.
(<http://compartirpasion.com/2013/10/31/piezas-prohibidas-en-la-formula-1-parte-la-suspension-activa/#>), fecha de consulta 5-09-2013.

[6] FRANCO MANUEL, Suspensión interactiva: la clave del éxito de Sebastian Vettel, 2-noviembre-2013
(http://motor.as.com/motor/2013/11/02/formula_1/1383360218_366235.html), fecha de consulta 14-09-2013.

[7] Formula One World Championship Limited, Sistemas de suspensión y dirección, 2003-2013.
(http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/technical_regulations/8708/), fecha de consulta 17-09-2013.

[8] Siemens Industry Software, S.L. All rights reserved. Información Corporativa, CAE / Ingeniería Asistida por Computadora, 2013.
(http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cae.shtml), fecha de consulta 18-09-2013.

[9] Diario de León, ANSYS está detrás de los campeones de Fórmula 1, 25-diciembre-2012.
(<http://blogingenieria.com/software-ingenieria/ansys-campeones-formula-1/>), fecha de consulta 19-09-2013.

[10] Fig2. QUALYF1,
(<http://qualyf1.blogspot.com/2011/09/distribucion-de-pesos-fija-hasta-el.html>), fecha de consulta 06-06-2013.

[11], ROGER FARRARONS, Análisis de datos, Adquisición de datos en la Fórmula 1, 07/03/2011,
(<http://www.f1aldia.com/11432/adquisicion-datos-formula-1/>), fecha de consulta 26-09-2013.

[12] — Fran López, el tirón Rod Suspensión, Reglas F1 2011 Mercedes W02, 2011.

(<http://www.diariomotor.com/2011/02/02/f1-williams-fw33-y-mercedes-gp-w02-2011/>), fecha de consulta 26-09-2013.

[13] J. Sabaté, Suspensiones en la F1, cronicasf1, 2005-2007,
(<http://www.cronicasf1.com/Contenido/Tecnica/Las%20Suspensiones%20en%20la%20f1/Las%20suspensiones%20en%20la%20f1.htm>), fecha de consulta 28-09-2013.

[14] F1 ciencia, las suspensiones,
([HTTP://CAMAROONSF1.COM/TECNICAS/F1-CIENCIA-LAS-SUSPENSIONES/](http://CAMAROONSF1.COM/TECNICAS/F1-CIENCIA-LAS-SUSPENSIONES/)), fecha de consulta 03-10-2013.

[15] Fernischumi, Ferrari podría cambiar su sistema de suspensión delantera, 25 de marzo de 2012.
(<http://www.motorpasionf1.com/formula-1/ferrari-podria-cambiar-su-sistema-de-suspension-delantera>), fecha de consulta 03-10-2013.

[16] Siemens Product Lifecycle Management Software, CAD / Diseño Asistido por Computadora, 2013,
(http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml), fecha de consulta 04-10-2013

[17] ROGER FARRARONS, Adquisición de datos en la Fórmula 1, 07/03/2011,
(<http://www.f1aldia.com/11432/adquisicion-datos-formula-1/>), fecha de consulta 10-10-2013.

[18] Mark chang, Suspensiones en F1 Objetivo y partes Push-rod vs Pull-rod, 31-marzo-2011,
(<http://tertuliasdef1.wordpress.com/2011/03/31/suspensiones-en-f1-objetivo-y-partes-push-rod-vs-pull-rod/>), fecha de consulta 15-10-2013.

[19]8, Cristina Díaz, La suspensión pull-rod delantera vuelve a la F1, 2012,
(<http://www.caranddriverthef1.com/formula1/noticias/2012/02/08/49555-la-suspension-pull-rod-delantera-vuelve-la-f1>), fecha de consulta 22-10-2013.

[20]IVÁN ILLÁN, Nuevas suspensiones, reducción del peso y miniaturización: las claves del Ferrari F138, 02/02/2013,
(<http://www.f1aldia.com/18055/nuevas-suspensiones-reduccion-peso-miniaturizacion-claves-ferrari-f138/>), fecha de consulta 25-10-2013.

[21], Raymond Blancafort, Ferrari toma ejemplo de la suspensión trasera carenada de Red Bull, 11/12/2012, (http://www.mundodeportivo.com/20121211/f1/ferrari-copia-red-bull-formula-1-f1_54357201107.html) fecha de consulta 15-11-2013.

[22], Nicolás Talarico, Como Funciona la Formula 1 FRIC, 6-abril-2013, (<http://wikif1.blogspot.com/2013/04/como-funciona-la-formula-1-fric.html>), fecha de consulta 06-12-2011.