Licenciatura en ingeniería mecánica

Nombre del proyecto de integración: Diseño y construcción del sistema de suspensión y dirección de un vehículo BAJA SAE UAM 2022.

Modalidad: Proyecto Tecnológico

Versión: Segunda

Trimestre Lectivo: 22-I

Datos de los Alumnos:

Nombre: Arias Orive Elías
Matrícula: 2183001865
Correo: al2183001865@azc.uam.mx

Firma

Nombre: Miranda García Castillo Francisco
Matrícula: 2183041538
Correo: al2183041538@azc.uam.mx

Firma

Nombre: Mendoza Gómez José Luis
Matrícula: 2183040193
Correo: al2183040193@azc.uam.mx

Firma

Asesor
Ing. Romy Pérez Moreno
Categoría: Asociado
Departamento de adscripción: Energía
Teléfono: 55 2900 3893
Correo: romy@azc.uam.mx

Firma: _____

Asesor
Dr. Francisco Beltrán Carbajal
Categoría: Titular
Departamento de adscripción: Energía
Teléfono: 55 5318 9096
Correo: fbeltran@azc.uam.mx

Firma: _____

Ciudad de México a 19 de mayo de 2022

Declaratoria

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Miranda García Castillo Francisco

Arias Olive Elías

Mendoza Gómez José Luis

Ing. Romy Pérez Moreno

Dr. Francisco Beltrán Carbajal

1. Introducción

La competencia BAJA SAE consiste en participar con un vehículo todo terreno, diseñado, construido y probado considerando los lineamientos establecidos en el reglamento. Dentro de un vehículo BAJA SAE está presente el sistema de suspensión y dirección.

El propósito del sistema de suspensión es mantener al vehículo estable de manera que se reduzcan y absorban las vibraciones producidas durante el contacto de la superficie con el neumático [1].

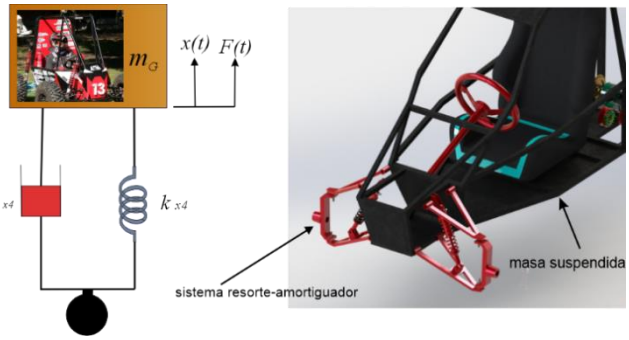

Figura 1. Sistema mecánico vibratorio de un grado de libertad del tipo masa-resorte-amortiguador [2]

El sistema de suspensión se puede considerar como un sistema mecánico vibratorio de un solo grado de libertad de tipo masa-resorte-amortiguador, en el que se consideran las horquillas, la estructura del vehículo y el peso del piloto como una única masa general (m_G) [2]. Esta m_G está suspendida mediante cuatro amortiguadores, ubicados dos en la parte trasera y dos en la delantera del vehículo, como se ilustra en la Figura 1.

Por otro lado, el sistema de dirección es un conjunto de mecanismos que tienen la función de orientar las ruedas delanteras. Existen diferentes tipos de sistemas de dirección, de los cuales se considera al sistema piñón cremallera como el más preciso, debido a que hay menos piezas y puntos de pivote. Debido a esto la dirección responde mejor y es más fácil de controlar Debido a su sencillo diseño y las dimensiones que presenta, se implementará al vehículo BAJA SAE UAM 2022 [3].

En el análisis realizado al vehículo BAJA SAE UAM 2019 se encontró que la relación de *wheelbase* y *track* generó un sobrepeso debido a que los parámetros de ese modelo se eligieron dentro de los máximos permitidos por el reglamento. El diseño propuesto buscará reducir 4'' en el *track*, lo que llevará al diseño de un vehículo más angosto, y por lo tanto más ligero. Para lograr esta reducción se diseñarán las horquillas delanteras y traseras, procurando mantener al mínimo el peso de estos elementos.

Al modificar el *track* se tendrán que diseñar nuevos soportes de los amortiguadores para lograr una orientación cercana a la vertical. Los amortiguadores están diseñados para absorber de mejor forma las fuerzas proyectadas por el terreno cuando se les orienta en forma vertical.

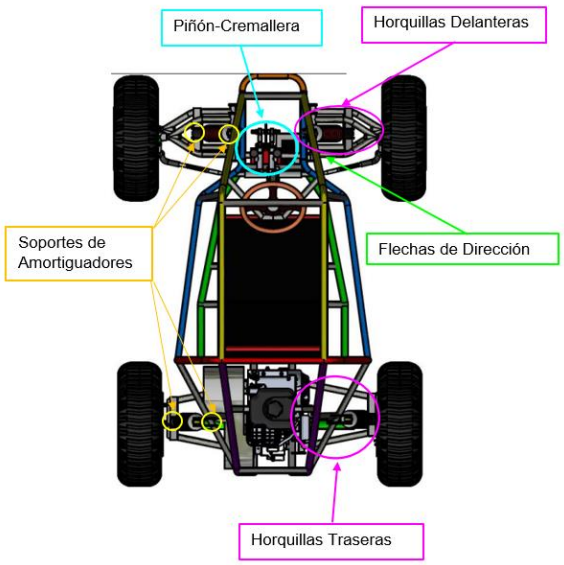

Figura 2. Sistemas de dirección y suspensión [4].

En el vehículo 2019 la cremallera no es colineal con las flechas de dirección, lo que provoca una pérdida en la fuerza que aplica el piloto para girar las ruedas. Se prone diseñar el conjunto de piñón, cremallera y flechas de dirección que aprovechen al máximo la fuerza aplicada en el volante.

Empleando la licencia de ANSYS, proporcionada en patrocinio por la empresa Grupo SSC, se realizarán los análisis de esfuerzos y deformaciones en los elementos de interés de esta propuesta: horquillas, soportes de amortiguadores, piñón, cremallera y flechas de dirección (ver Figura 2).

2. Antecedentes

En el año 2015, los estudiantes de ingeniería mecánica automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Christian Andrés Caraguay Correa y Santiago Javier Caraguay Correo, elaboraron el proyecto “Diseño y construyeron del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza para la competencia Formula Student 2015” [5]. Se considerará el ángulo de inclinación del amortiguador descrita en este trabajo elaborados por Christian y Javier, para el diseño de la suspensión del vehículo BAJA SAE UAM 2022.

En el año 2015, los estudiantes de ingeniería del Worcester Polytechnic Institute; Allan Burgess, Matthew Cote & Eric Crevoiserat, diseñaron y optimizaron un vehículo en su totalidad para la competencia BAJA SAE 2015. [6] Resulta de interés para esta propuesta analizar las formas de las horquillas planteadas por los alumnos Allan y Matthew.

En el año 2017, los estudiantes de ingeniería mecánica Cortez García Nicolás, Hernández Sánchez Juan Carlos y Vega Aguilar Jesús Brayan, diseñaron y ensamblaron el sistema de dirección y suspensión para la competencia BAJA SAE México 2017 [7]. Se tomará como base para esta propuesta el sistema de dirección planteadas por los alumnos Nicolás, Juan y Jesús.

En el año 2018, los estudiantes de ingeniería mecánica Ángeles Marcos Emilio, Del Ángel Bautista Fidel y Flores Padilla Miguel Ismael, rediseñaron y construyeron el sistema de dirección y suspensión para la competencia BAJA SAE México 2018 [8]. Es beneficioso considerar la geometría de la suspensión descrita en el trabajo de los alumnos Ángeles, Fidel e Ismael.

En el año 2019, los estudiantes de ingeniería mecánica González Gutiérrez y Rivera Rodríguez Marco Antonio, replantearon el proyecto del sistema de sistema de dirección y suspensión para la competencia BAJA SAE México 2019 [9]. Es conveniente considerar los desarrollos alcanzados en el vehículo BAJA SAE UAM 2019.

Shigley, indica que un eje es un elemento rotatorio, por lo general, de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento. Por el contrario, una flecha es un elemento no giratorio que no transmite par de torsión y que se utiliza para soportar ruedas rotatorias, poleas y elementos parecidos. Puesto que, la flecha debe tener el tamaño adecuado para soportar el esfuerzo y la deflexión por torsión. Muchas flechas están realizadas en acero de bajo carbono, acero estirado en frío o acero laminado en caliente. A menudo no está garantizado el incremento significativo de la resistencia proveniente del tratamiento térmico ni el contenido de alta aleación. Para ejes extremadamente largos que soportan varios componentes de carga, puede ser necesario proporcionar más de dos apoyos de cojinete. Los ejes deben mantenerse cortos para minimizar los momentos flexionantes y las deflexiones. Es deseable cierto espacio axial entre los componentes para permitir el flujo de lubricante y proporcionar espacio de acceso para el desensamble de componentes [10]. Para el diseño de las flechas de la dirección se tomarán en cuenta los criterios que indica Shigley de forma que soporten los esfuerzos al girar las ruedas.

Rao indica que, para la selección del amortiguador se busca y se considera aquel en el que tanto el coeficiente de amortiguamiento y el coeficiente de resorte satisfagan las necesidades del vehículo. Para el análisis de los amortiguadores del vehículo, en primera instancia se busca que los elementos suspendidos no lleguen a resonancia, teniendo en cuenta que la frecuencia natural de la vibración de una máquina o una estructura coincide con la frecuencia de la excitación externa. Bajo esa condición, el sistema sufre oscilaciones peligrosamente grandes, lo cual conduce a deflexiones y fallas excesivas. Para cualquier sistema amortiguado, la relación de amortiguamiento ζ se define como, la relación de la constante de amortiguamiento C sobre la constante de amortiguamiento crítico C_c. Si se pierde energía se denomina vibración amortiguada, por el otro lado, si no se pierde energía por fricción durante la oscilación, la vibración se conoce como vibración no amortiguada; asimismo la consideración del amortiguamiento se vuelve extremadamente importante al analizar sistemas vibratorios próximos a la resonancia [11]. Con el fin de tener una relación de amortiguamiento más grande, lo cual evitará cualquier caso de resonancia. La relación de amortiguamiento permitirá seleccionar el amortiguador idóneo para el proyecto BAJA SAE UAM, como se logra observar en la Figura 3.

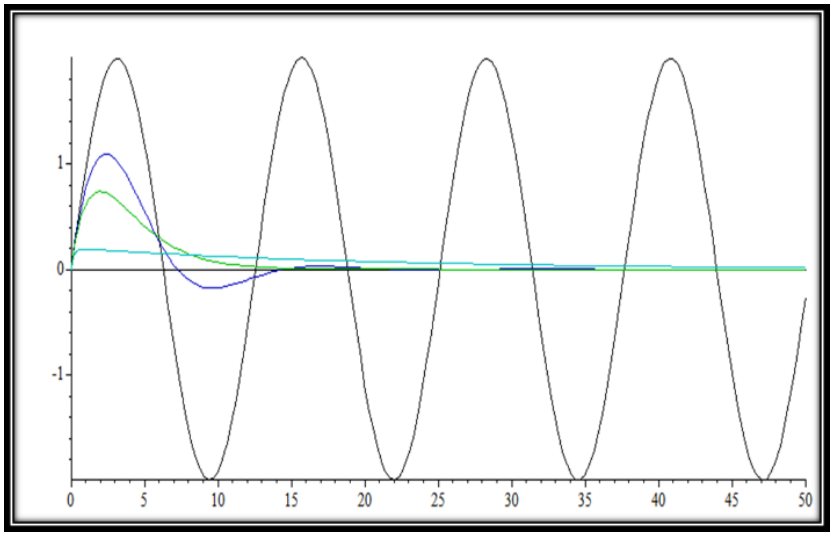

Figura 3. Gráficas de movimiento de sistemas vibratorio x [m] vs t [s].

Línea negra. Sistema vibratorio no amortiguado $\zeta = 0$.

Línea azul. Respuesta de velocidad del sistema vibratorio subamortiguado $0 < \zeta < 1$.

*Línea verde. R*espuesta de velocidad del sistema vibratorio críticamente amortiguado $\zeta = 1$.

Línea turquesa. Respuesta de aceleración del sistema vibratorio sobreamortiguado $\zeta > 1$.

3. Justificación

El excesivo peso de la suspensión y la dirección, así como un radio de giro amplio son algunas de las problemáticas del BAJA SAE UAM 2019, lo que no permite el desempeño óptimo en las pruebas de la competencia BAJA SAE México. El diseño del nuevo sistema de suspensión será simulado en ANSYS para conocer la distribución de los esfuerzos que soportan las piezas y proponer diferentes geometrías que permitan reducir el peso de los elementos. Se simularán diferentes longitudes de horquillas tipo A para determinar la geometría idónea que mejore la maniobrabilidad del vehículo. Para mejorar el rendimiento de la suspensión se analizará el comportamiento de los amortiguadores para elegir la posición de trabajo más adecuada considerando su distancia con respecto al neumático, la cual incrementa su brazo de palanca y el esfuerzo que absorbe el amortiguador; así como el coeficiente de amortiguamiento y la rigidez del resorte.

4. Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de suspensión y dirección para el vehículo BAJA SAE UAM 2022, con la finalidad de disminuir el peso del vehículo, así como mejorar la maniobrabilidad y confort.

Objetivos particulares

Analizar los datos obtenidos en las pruebas dinámicas realizadas al vehículo BAJA SAE UAM 2019 para establecer los parámetros de referencia.

Diseñar los elementos que componen el sistema de suspensión y dirección.

Evaluar los esfuerzos y deformaciones de los elementos diseñados empleando herramientas de simulación como ANSYS e Inventor.

Fabricar e instalar el sistema de suspensión y dirección para el vehículo BAJA SAE UAM 2022.

Probar el funcionamiento y corregir lo necesario en la competencia BAJA SAE México 2022.

5. Descripción Técnica

Los parámetros de diseño que se tendrán en cuenta para la elaboración de los sistemas de dirección y suspensión del vehículo BAJA SAE UAM 2022 son los siguientes:

Peso del vehículo: menor a 270 kg

Carrera de los amortiguadores delanteros: 100 mm

Carrera de los amortiguadores traseros: 120 mm

Tipo de dirección: piñón cremallera.

Tipo de horquillas: doble A.

Tipo de suspensión: independiente en las cuatro ruedas.

Distancia entre ejes (*wheel base*): 1440 mm

Distancia entre ruedas (*track*): 1524 mm

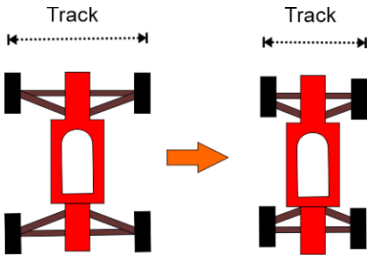

Figura 4. Reducción del Track.

Tanto para el sistema de suspensión como para el de dirección se tendrá en consideración el *wheelbase* y *track***.** A mayor *wheelbase*, mayor será la estabilidad del vehículo, sin embargo, perderá maniobrabilidad. Variando los parámetros *wheelbase* y *track* se desea lograr una relación óptima que proporcione una estabilidad eficiente sin afectar la maniobrabilidad.

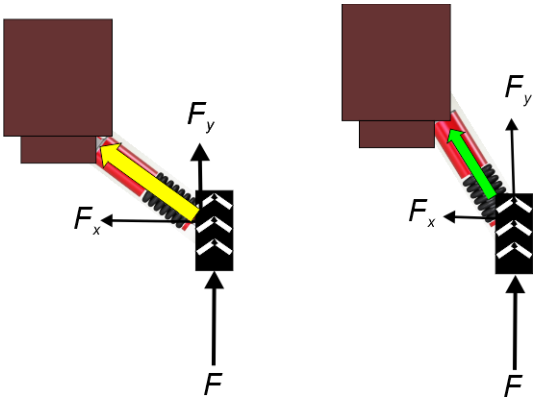

Figura 5. Análisis del ángulo de inclinación.

Para esto se propone diseñar horquillas delanteras de tipo doble A y horquillas traseros tipo doble A con una curvatura adicional; teniendo como consideraciones el brazo de palanca producido entre el centro de gravedad (CG) y el *roll center* (RC) de la vista frontal del vehículo. Conforme a mayor sea la distancia entre CG y RC, mayor será la posibilidad de desestabilizarse en una curva. En el mismo sentido, se considerará un material más ligero para las horquillas y con la rigidez necesaria indicada en el reglamento.

Se analizará tanto la ubicación como la inclinación del amortiguador, así como, su distancia con respecto al neumático para evitar concentraciones de fuerzas inerciales dentro del mismo. Así mismo se tomará en consideración el coeficiente de amortiguamiento y del resorte del amortiguador. Para realizar un modelo matemático, el cual permitirá simular el comportamiento vibratorio y oscilatorio del vehículo; logrando así encontrar la configuración correcta.

6. Normatividad

Al ser una competencia nacional, tanto el diseño como la construcción de la suspensión y dirección del vehículo BAJA SAE UAM 2022 se encuentra sujeta a las restricciones establecidas por la competencia BAJA SAE México 2022.

Para el uso correcto de los sistemas y dispositivos de seguridad en la UAM Azcapotzalco y en la competición BAJA SAE México, se trabajará bajo la norma de sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo NOM-004-STPS-1999 .

Debido a que se trabajará con un motor de combustión de 10HP es necesario cumplir con la norma PROY-NOM-005-STPS-2017. Manejo de sustancias químicas peligrosas o sus mezclas en los centros de trabajo- Condiciones y procedimientos de seguridad y salud.

Para mantener un espacio de trabajo limpio dentro de las instalaciones de la UAM Azcapotzalco y en el área de trabajo asignad en la competencia BAJA SAE México 2022 se cumplirá con la norma NOM-006-STPS-2014. Manejo y almacenamiento de materiales.

El factor ambiental que genera la competencia BAJA SAE México es conocido, al usar un motor a base de combustibles fósiles se requiere que cumpla con la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.

7. Cronograma de actividades.

UEA para la que se solicita autorización:

- ✓ Proyecto de integración en Ingeniería Mecánica I.
- o Proyecto de integración en Ingeniería Mecánica II.
- o Introducción al trabajo de investigación en Ingeniería Mecánica.

	Actividades del trimestre 22 P	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Analizar el reglamento y especificaciones de la competencia BAJA SAE México relacionadas al área de suspensión y dirección.	X											
2	Realizar pruebas al vehículo BAJA SAE UAM 2019, analizar los datos obtenidos de las pruebas dinámicas para encontrar áreas de mejora.	X	X										
3	Examinar y proponer áreas de mejora con base a las pruebas BAJA 2019.		X	X									
4	Establecer esquemas y simulaciones matemáticas de supresión de vibraciones en las masas suspendidas.		X	X	X								
5	Sustentar y realizar la primera iteración del diseño mediante simulaciones y modelados tanto dinámicos como estáticos en CAE, considerando los esfuerzos y las vibraciones presentes.				X	X							
6	Sustentar y realizar la segunda iteración del diseño mediante simulaciones y modelados tanto dinámicos como estáticos en CAE, considerando los esfuerzos y las vibraciones presentes.					X	X						
7	Determinar los recursos, necesarios para los sistemas de suspensión y dirección.						X	X					
8	Maquinar, fabricar y/o elaborar los componentes del sistema de suspensión y dirección del vehículo.								X	X	X		
9	Realizar el ensamble con las demás áreas del vehículo.										X	X	

	Actividades del trimestre 22 P	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	Establecer, recolectar y analizar los datos obtenidos de las pruebas dinámicas internas realizadas al proyecto BAJA SAE UAM 2022.										X	X	X

	Actividades del trimestre 22 O	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Realiza pruebas en el vehículo BAJA SAE UAM 2022	X	X										
2	Corregir los errores que se presenten en el vehículo BAJA SAE UAM 2022		X	X									
3	Probar el funcionamiento y corregir lo necesario en la competencia BAJA SAE México 2022.			X	X								
4	Elaborar y entregar el reporte final.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

8. Entregables

Reporte final del proyecto de integración.

Sistema de suspensión y dirección funcionando en el vehículo BAJA SAE UAM 2022.

9. Referencias bibliográficas.

[1] Mitsubichi Motors, 2019, ¿Qué es el sistema de suspensión y cuáles son sus tipos?, https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/como-funciona-sistema-suspension/

[2] Ruben Todd, 2021, "Carro arenero tipo Buggy", GRABCAD COMMUNITY, de https://grabcad.com/library/buggy-148

[3] Singiresu S. Rao, 2012, “Vibraciones Mecánicas”, Ed. Pearson, Quinta edición, pp. 19-22.

[4] González Gutiérrez y Rivera Rodríguez Marco Antonio, 2019 “Rediseño y construcción del sistema de suspensión y dirección de un vehículo Baja SAE 2019”, Proyecto de Integración, Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana.

[5] Ventos. site, 2022, Las ventajas de la dirección de piñón y cremallera, Disponible en https://www.ventos.site/como-repararlo/las-ventajas-de-la-direccion-de-pinon-y-cremallera/?amp

[6] Christian Andrés C. C., Santiago Javier C. C., 2015, “Diseño y construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza para la competencia formula student”, Proyecto, departamento de ingeniería mecánica, Universidad Politécnica de Salesiana.

[7] Allan Burgess, Matthew Cote & Eric Crevoiserat, 2015, “Design and Optimization of a Baja SAE Vehicle”, tesis, Departamento de Mecánica, Worcester Polytechnic Institute.

[8] Cortez García Nicolás, Hernández Sánchez Juan Carlos y Vega Aguilar Jesús Brayan, 2017, “Rediseño y construcción del sistema de suspensión y dirección de un vehículo Baja SAE 2017”, Proyecto de Integración, Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana

[9] Ángeles Marcos Emilio, Del Ángel Bautista Fidel y Flores Padilla Miguel Ismael, 2018 “Rediseño y construcción del sistema de suspensión y dirección de un vehículo Baja SAE 2018”, Proyecto de Integración, Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana.

[10] Budynas R. G., Nisbett J. K., 2022, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, McGraw Hill Education, Novena Edición, CAP 7 pp. 344-347.

[11] SINGIRESU S. RAO, 2012, “VIBRACIONES MECÁNICAS”, Ed. Pearson, Quinta edición, (pp. 11-19; pp. 140-149).

10. Terminología

Horquilla: Pieza de la suspensión la cual une la llanta al chasis, tiene como objetivo evitar que la rueda pierda el control.

Horquilla Tipo A: Forma de construcción de horquilla, la cual se asemeja una “A” mayúscula.

Wheelbase: Distancias medida entre el eje delantero y eje trasero.

Track: Distancia medida entre el punto de contacto con el suelo de la llanta derecha e izquierda.

Puntos de pivote: Es el punto de sujeción entre una pieza mecánica y otra, permitiendo el giro u oscilación.

11. Infraestructura

Instalaciones del edificio 2P, laboratorio de metrología, canchas de futbol, áreas de prueba designadas por las autoridades de la UAM Azcapotzalco.

12. Asesoría Complementaria

No es necesaria.

13. Publicación de Resultados

Competencia BAJA SAE México 2022.

Paginas pertenecientes a la UAM Azcapotzalco.

Exposiciones realizadas en la UAM.

Páginas del grupo BAJA SAE UAM.

Tabla de Comentarios

Diseño y construcción del sistema de suspensión y dirección de un vehículo BAJA SAE UAM 2022.

COMENTARIO DEL CEIM		ACCIÓN REALIZADA EN LA PPI	
Pág.	Comentario	Pág.	Modificación
*	Faltas de ortografía.	*	Se corrigieron las faltas indicadas.
*	Verificar que el documento tenga el mismo tipo de fuente.	*	Se verificó el texto, cuenta con el mismo tipo y tamaño de fuente.
3	Revisar introducción.	3	Se cambió la redacción.
4	Verificar si la universidad tiene licencia de ANSYS.	4	Se verificó que la universidad no cuenta con licencia y en la introducción se menciona al patrocinador que la proporciona.
7	Cambios de redacción en el cronograma	7	Se realizaron los cambios de redacción en el cronograma.