**Licenciatura en ingeniería mecánica**

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

**Modalidad:** Proyecto Tecnológico

**Versión:** Primera

**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 abril 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 diseñar, construir, probar y competir un vehículo deportivo todo terreno de un solo asiento dentro de los lineamientos del reglamento. Dentro de un vehículo BAJA SAE está presente el sistema de suspensión y dirección.

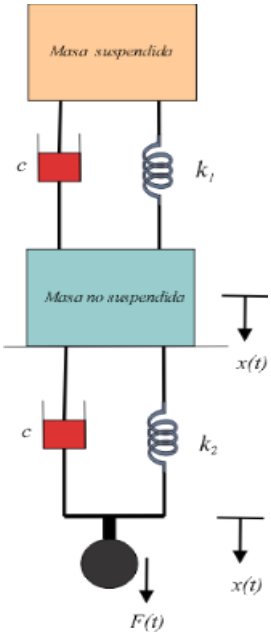


*Figura. 1 sistema mecánico vibratorio de dos grados de libertad del tipo masa-resorte-amortiguador.*

El propósito del sistema de suspensión es mantener al vehículo estable de manera que este reduzca y absorba las vibraciones producidas durante el contacto de la superficie con el neumático [1]. Los sistemas suspensión se puede estudiar como un sistema mecánico vibratorio de dos grados de libertad del tipo masa-resorte-amortiguador, tal como se ilustra en la Figura 1. Los cuales se pueden identificar como componentes separados (la masa en la forma del cuerpo, el resorte en la suspensión y el amortiguador en la forma de los amortiguadores) [2]. Se considera que es un sistema de dos grados de libertad porque intervienen tanto la estructura y las horquillas es decir masas suspendidas, como los neumáticos, frenos y el rin; es decir masa no suspendidas; como se puede ver en la Figura 2. Sin embargo, se puede considerar a la masa suspendida en conjunto con la masa no suspendida, de tal forma que se establece una sola masa. De tal forma que se logre manejar el sistema dinámico vibratorio como un sistema de un solo grado de libertad.

Por otro lado, el sistema de dirección es un conjunto de mecanismos que tienen la misión de orientar las ruedas delanteras. Uno de los sistemas de dirección más común y eficiente para esta competencia en considerando el costo-beneficio es el sistema de cremallera. Cuenta con un piñón que gira a derecha o izquierda sobre el riel, dentro de la caja de la cremallera, llevando dentro un lubricante graso, por lo que se considera incluirla en el diseño de la dirección [3].

Teniendo como referencia lo antes mencionado y partiendo de las problemáticas observadas en el proyecto **BAJA SAE UAM 2019** se consideran las siguientes áreas de mejora para esta propuesta de Proyecto de Integración.

*Figura. 2 sistema mecánico vibratorio amortiguado.*

**Rediseño de las horquillas.** En la competencia BAJA SAE 2019 las horquillas se encontraron sobredimensionadas aportando pesos innecesarios. Por lo cual se propone rediseñar las horquillas considerando los conceptos *wheelbase* y *track*; para encontrar la relación idónea entre maniobrabilidad y estabilidad. Así mismo seleccionar un material más ligero y que nos proporcione propiedades mecánicas similares o incluso mejores.

**Alineación de los amortiguadores**. En este caso, como los amortiguadores trabajan de manera más eficiente de forma vertical, se propone rediseñar el ángulo de inclinación del amortiguador, la distancia entre este y la rueda y los puntos de anclaje. Este rediseño obedece a que conforme mayor sea el ángulo de inclinación del amortiguador las fuerzas que absorbe serán mayores. En el mismo sentido, mientras más cerca de la llanta esté el amortiguador menor será el brazo de palanca hacia el cuerpo del vehículo, y por ende menor será el esfuerzo que absorbe el amortiguador.

**Mejoras en la dirección**. En este punto se propone un rediseño de la alineación entre la cremallera con las flechas de dirección con respecto a la vista superior del vehículo a los puntos de sujeción de los brazos de dirección, con el objetivo de evitar la descomposición de fuerzas para no ralentizar el movimiento las ruedas.

**Rotulas.** La rotula (o *ball joint*) es un elemento propio del sistema de suspensiones; consiste en una articulación con tres grados de libertad, la cual permite la rotación de las flechas o ejes unidos a la misma. Al analizar el vehículo BAJA 2019 se identificó que tanto en la rótula inferior (de carga) como en la rótula superior se presentó un juego con respecto al balero. Por lo que se propone analizar, comparar y seleccionar un *ball joint* de mejor calidad, con mayor resistencia mecánica, así como rediseñar lo necesario para una correcta instalación. Esto permitirá tener una alineación apropiada en las horquillas con su eje de rotación respecto a la jaula antivuelco.

## 2. Antecedentes

En el año 2015, estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana de la carrera de ingeniería mecánica automotriz; Christian Andrés Caraguay Correa y Santiago Javier Caraguay Correo, diseño y construyeron del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza para la competencia Formula Student 2015 [4].

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. Se tomará la información para el diseño de la suspensión del vehículo BAJA SAE UAM 2022 [5].

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 [6].

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 [7].

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 [8].

Los antecedentes anteriores contribuyen como base para considerar los desarrollos ya alcanzados en los vehículos anteriores de BAJA SAE UAM, y así poder realizar un rediseño bajo un enfoque que logre disminuir el peso de los sistemas de dirección y suspensión, contribuyendo así a disminuir el peso del vehículo. En este sentido, se retomarán las geometrías que se han propuesto en los trabajos antes citados, para realizar simulaciones en ANSYS con la licencia proporcionada por la empresa Grupo SSC que pudieran validarse con el vehículo 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. Por supuesto, 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 [9]. 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. En primera instancia se busca que los elementos suspendidos no lleguen a resonancia; lo cual ocurre siempre que la frecuencia natural de la vibración de una máquina o de 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 [10]. Para el análisis de los amortiguadores del vehículo se considerará evitar esta condición.

Si no se pierde o disipa energía por fricción u otra resistencia durante la oscilación, la vibración se conoce como vibración no amortiguada. Sin embargo, si se pierde energía se llama vibración amortiguada. De tal forma que la consideración del amortiguamiento se vuelve extremadamente importante al analizar sistemas vibratorios próximos a la resonancia [10]. Para cualquier sistema amortiguado, la relación de amortiguamiento $\zeta$ se define como la relación de la constante de amortiguamiento a la constante de amortiguamiento crítico [10]. La relación de amortiguamiento nos

va a permitir seleccionar el amortiguador idóneo para el proyecto BAJA, como se logra apreciar la siguiente Figura 3; que conforme la relación de amortiguamiento sea más grande, la propagación de la vibración será menor y por ende se evitará cualquier caso de resonancia.

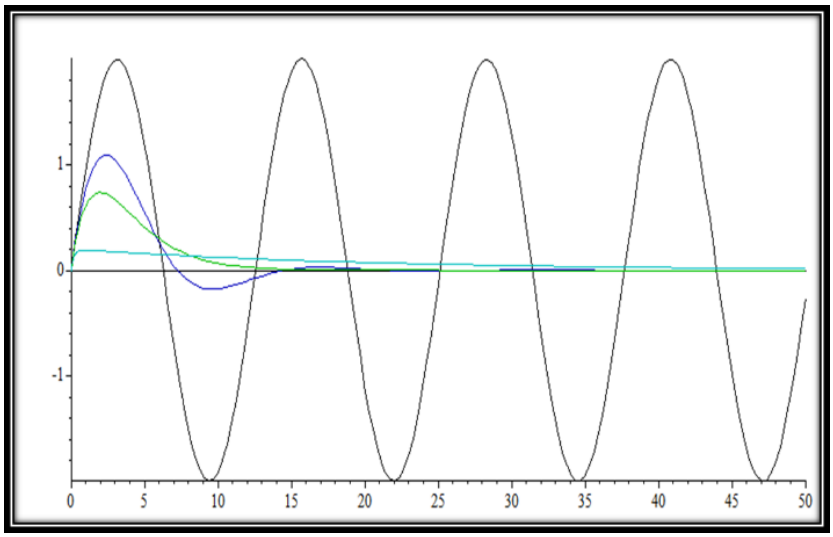


Figura 3. Graficas de movimiento de sistemas vibratorio x [m] vs t [s].

*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 rediseño 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

Recolectar y analizar datos obtenidos de las pruebas dinámicas internas, realizadas al vehículo BAJA SAE UAM 2019.

Diseñar y simular tanto estructuralmente como dinámicamente los elementos que componen el sistema de suspensión en conjunto con el de dirección.

Seleccionar los materiales adecuados, a través de un análisis de sus propiedades mecánicas.

Gestionar los recursos económicos necesarios, a través de diferentes patrocinios.

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

Participar con el vehículo en la competencia BAJA SAE México 2022.

## 5. Descripción Técnica

Los parámetros y consideraciones 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 270kg

Peso promedio de los pilotos: 80 kg

Carrera de los amortiguadores delanteros: 100 mm

Carrera de los amortiguadores traseros: 120 mm

Inclinación máxima de los amortiguadores delanteros: 15.3°

Inclinación máxima de los amortiguadores traseros: 10.7°

Tipo de dirección: piñón cremallera.

Distancia del piso al centro de gravedad: 508 mm

Tipo de horquillas: doble A.

Tipo de suspensión: independiente en las cuatro ruedas.

Toe out estático suspensión delantera: 1.5°

Toe in estático suspensión trasera: 1°

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

Distancia entre ruedas (*track*): max. 1620 mm

Tanto para el sistema de suspensión como para el de dirección se tendrá en consideración el *wheelbase* y *track.* Debido a que conforme a mayor sean las distancias del *wheelbase* y *track*; mayor será su estabilidad; sin embargo, se perderá maniobrabilidad. Para así de esta forma conseguir una relación optima del w*heelbase* y *track*; que nos proporciones una estabilidad eficiente sin afectar gravemente la maniobrabilidad.

Para esto se propone diseñar horquillas delanteras de tipo doble A y una horquilla de 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. Debido a que conforme entre mayor sea la distancia entre CG y RC mayor será la posibilidad de desestabilizarse en una curva. Se analizará tanto la ubicación como la inclinación del amortiguador y 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 de resorte del amortiguador. Para realizar un código y simular el comportamiento vibratorio y oscilatorio del vehículo; logrando así encontrar la configuración correcta para evitar vibraciones excesivas y estados resonantes.

Finalmente considerar un material más ligero tanto para las suspensiones delanteras como traseras y en conjunto con la distribución correcta de masa del vehículo evitar implementar la barra estabilizadora; ya que esta agrega un peso extra al vehículo y se puede evitar si se determinan de forma correcta los aspectos anteriores.

## 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 | Realizar pruebas al vehículo BAJA SAE UAM 2019 | X | | | | | | | | | | | |
| 2 | Investigar el reglamento y especificaciones de la competencia BAJA SAE México relacionadas al área de suspensión y dirección | X | | | | | | | | | | | |
| 3 | Establecer, recolectar y analizar los datos obtenidos de las pruebas dinámicas internas realizadas al proyecto BAJA SAE UAM 2019. | X | | | | | | | | | | | |
| 4 | Dibujar y simular concentradores de esfuerzos y fuerzas mediante CAD/CAE de los sistemas de suspensión y dirección para BAJA 2019. | | X | X | | | | | | | | | |
| 5 | Examinar y proponer áreas de mejora con base a las pruebas BAJA 2019. | | X | X | | | | | | | | | |
| 6 | Establecer esquemas y simulaciones matemáticas de supresión de vibraciones en las masas suspendidas. | | X | X | X | | | | | | | | |

| | Actividades del trimestre 22 P | Semana | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 7 | Sustentar y realizar la primera iteración del rediseño mediante simulaciones y modelados tanto dinámicos como estáticos en CAE, considerando los esfuerzos y las vibraciones presentes. | | | | X | X | | | | | | | |
| 8 | Sustentar y realizar la segunda iteración del rediseño mediante simulaciones y modelados tanto dinámicos como estáticos en CAE, considerando los esfuerzos y las vibraciones presentes. | | | | | X | X | | | | | | |
| 9 | Determinar los recursos, necesarios para los sistemas de suspensión y dirección. | | | | | | X | X | | | | | |
| 10 | Maquinar, fabricar y/o elaborar los componentes del sistema de suspensión y dirección del vehículo | | | | | | | | X | X | X | | |
| 11 | Realizar el ensamble con las demás áreas del vehículo | | | | | | | | | | X | X | |
| 12 | 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 | Realizar las modificaciones pertinentes tanto en el área de suspensión como de dirección con base al resultado de las pruebas | X | X | X | | | | | | | | | |
| 2 | Participar en la competencia Baja SAE México 2022. | | | X | X | | | | | | | | |
| 3 | Analizar y concluir los datos recolectados de las pruebas realizadas en la competencia Baja SAE México 2022. | | | | | X | X | | | | | | |
| 4 | Elaborar y entregar el reporte final. | | | | | | 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] Singiresu S. Rao, 2012, “Vibraciones Mecánicas”, Ed. Pearson, Quinta edición, pp. 19-22.

[3] RO-DES, 2021, El sistema de dirección ¿qué es y cómo funciona?, Disponible en https://www.ro-des.com/mecanica/sistema-de-direccion-que-es/

[4] 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.

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

[6] 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

[7] 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.

[8] 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.

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

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

## 10. Terminología

No es necesaria.

## 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.