



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y validación de un
soporte para bomba de
anticongelante**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero mecánico

P R E S E N T A

Jocelyn Espinoza Martínez

ASESOR DE INFORME

Ing. Ramón Flores Gómez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021.

Índice

| | |
|---|----|
| Objetivo..... | 4 |
| Introducción..... | 4 |
| Capítulo 1. La industria automotriz..... | 5 |
| La industria automotriz en México..... | 5 |
| La cadena de suministro automotriz en México..... | 6 |
| Impacto en la economía del país | 7 |
| Mi participación en la empresa..... | 8 |
| Capítulo 2. Antecedentes..... | 10 |
| Historia del desarrollo de los sistemas de enfriamiento | 10 |
| Tipos de sistemas de enfriamiento | 11 |
| Componentes del sistema de enfriamiento por agua | 11 |
| Funcionamiento del sistema de enfriamiento | 15 |
| Consideraciones de diseño de un sistema de enfriamiento..... | 17 |
| Consideraciones de ensamble de un sistema de enfriamiento | 17 |
| Capítulo 3. Diseño de soporte para bomba de anticongelante..... | 18 |
| A1. Análisis de empaquetamiento..... | 20 |
| A11. Identificación del espacio disponible | 20 |
| A12. Localización de puntos de fijación | 21 |
| A13. Definición de condiciones de frontera..... | 21 |
| A14. Documentación de información..... | 22 |
| A2. Generación y selección de conceptos | 23 |
| A21. Análisis de diseño comparativo con productos anteriores..... | 23 |
| A22. Lluvia de ideas con posibles soluciones | 24 |
| A23. Generación de conceptos a nivel CAD | 25 |
| A24. Elaboración de matriz de selección | 28 |
| A3. Diseño de detalle | 31 |
| A31. Selección de material..... | 31 |

| | |
|---|----|
| A32. Selección de tornillería | 32 |
| A33. Obtención de pesos y volúmenes líquidos..... | 33 |
| A34. Documentación de información en el modelo seleccionado. | 33 |
| A4. Validación CAE..... | 34 |
| A41. Mallado y asignación de material..... | 34 |
| A42. Análisis de modos..... | 35 |
| A43. Pruebas de fatiga..... | 36 |
| Capítulo 4. Resultados..... | 37 |
| Capítulo 5. Conclusiones..... | 38 |
| Bibliografía..... | 39 |
| Anexos..... | 40 |
| Anexo I. Glosario de abreviaturas por orden de aparición | 40 |
| Anexo II. Estándares citados en este trabajo | 41 |
| Ruteo de líneas y claros entre componentes..... | 41 |
| Desempeño de lámina de acero para aplicaciones automotrices. | 41 |
| Propiedades de anticongelante a utilizar. | 41 |
| Tornillería de acero roscada. | 42 |
| Parámetros para simulaciones de fatiga..... | 42 |
| Anexo III. Lista de figuras | 43 |

Objetivo

Presentar el proceso utilizado para el diseño por modelado 3D y validación, de un soporte para una bomba de anticongelante que resista las condiciones de trabajo de un vehículo de pasajeros de una empresa automotriz.

Introducción

En el presente trabajo muestro el proceso seguido para la generación de una propuesta de soporte para bomba de anticongelante que cumpla con los requerimientos de durabilidad y desempeño establecidos por la empresa. La necesidad surge a partir de la implementación de un nuevo tren motriz para la modernización del portafolio del producto.

Este proceso de diseño y validación del producto se realizó considerando las normas y mejores prácticas establecidas por la empresa, dentro del departamento de Sistemas de Motor, para el desarrollo de sus productos, así como las regulaciones estadounidenses de conformidad para el desempeño de vehículos de pasajeros.

La metodología de diseño y validación propuesta en este trabajo se modela en un diagrama IDEF0, donde muestro el desarrollo del caso de estudio, comprendiendo la bibliografía propuesta [1], estándares y regulaciones, así como las mejores prácticas y experiencia adquirida dentro de la empresa automotriz y por parte de proveedores dentro del ámbito.

Una vez identificada la bomba a sostener, se realizó un análisis de empaquetamiento utilizando herramientas de diseño asistido por computadora, *CAD*, para determinar el espacio disponible para la ubicación de la bomba, a partir de los requerimientos de separación e interacción entre componentes, en la parte frontal de la bahía del motor.

Después de definir la ubicación de la bomba en el vehículo, comenzó el modelado 3D de conceptos y la elección del mejor candidato a partir de los requerimientos y criterios de selección previamente definidos por las necesidades del sistema.

Una vez seleccionado el concepto se realizaron simulaciones computacionales con el método de análisis por elemento finito, *FEM*, de fatiga y vibraciones, con el fin de validar a nivel CAE, si la propuesta cumple con los requerimientos de desempeño preestablecidos por la empresa.

El resultado final de este trabajo es un conjunto de validaciones que se correlacionan con el modelo final y las condiciones de frontera a los que se somete el producto, sin comprometer el desempeño y/o durabilidad de este, así como la inclusión de la propuesta de manufactura.

Capítulo 1.

La industria automotriz.

Uno de los sectores productivos que más aporta a la economía y desarrollo tecnológico del país es el sector automotriz. A finales del año 2018, México registró ventas en el mercado automotriz de 1.4 millones de unidades¹, lo cual lo posicionó como el sexto productor mundial de automóviles y se estima que esta posición cambiará al quinto lugar en 2020. Esto es debido a una serie de apoyos gubernamentales conocidos como decretos automotrices, en los cuales se han establecido las regulaciones y prohibiciones que deben seguir las empresas automotrices para operar en México; entre las regulaciones establecidas se consideran la cantidad de empresas terminales y la inversión extranjera en las empresas automotrices. También incluyen regulaciones/prohibiciones como la importación tanto de vehículos como de partes producidas localmente y las cuotas aplicables a cada automóvil.

La industria automotriz en México

La historia de la industria automotriz en México comienza en los años 1920 cuando se inauguró la primera planta de ensamble en el país que pertenecía a Buick, en 1921. Más tarde, en esa década, Ford inauguró su propia planta en 1925, donde producía 100 vehículos diarios gracias a su sistema de producción en serie. Posteriormente, empresas como General Motors y Chrysler instalaron plantas de ensamble, en 1935 y 1938 respectivamente.

En 1948 Trailers Monterrey Freuhauf, S.A. inicio operaciones y en 1951 se crea Diésel Nacional, S.A. para la fabricación de vehículos mexicanos. Para mediados de 1960, Volkswagen y Nissan se instalaron en territorio nacional, en Puebla y Cuernavaca respectivamente.

Las empresas automotrices que ya tenían más tiempo en el país expandieron su presencia en el territorio nacional, de esta forma Ford, GM y Chrysler inauguran complejos de producción automotriz en el Estado de México, estas dos últimas empresas se ubicaron en la ciudad de Toluca entre 1964 y 1965, lugar donde conservan sus instalaciones en operación actualmente.

Veinte años después, la industria automotriz se expandió nuevamente, pero esta vez hacia el norte del país, donde GM y Chrysler inauguraron plantas de ensamble en Ramos Arizpe, Coahuila; Nissan se instaló en Aguascalientes y Ford inicio operaciones tanto en Chihuahua como en Hermosillo, Sonora para mediados de esta década.

¹ Hernandez. E.M. (2019). *40 años de la industria automotriz mexicana*. Recuperado de: <https://vanguardia.com.mx/articulo/40-anos-de-la-industria-automotriz-mexicana>

En la actualidad más de 13 empresas automotriz tienen instalaciones en México, ya sea plantas de ensamble, centros de diseño y la presencia de distribuidores y puntos de ventas, en la figura 1 se puede observar un mapa con la ubicación de las plantas de ensamble automotrices en el país.



Figura 1. Ubicación en México de plantas de ensamble automotriz.²

La cadena de suministro automotriz en México.

La presencia de plantas de ensamble, centros de diseño y demás instalaciones tecnológicas de las *OEMs* ha propiciado que empresas dedicadas a diferentes etapas del desarrollo automotriz decidan ubicar sus plantas, o locales en territorio nacional.

La cadena de suministro automotriz se puede dividir en 6 eslabones, que menciono a continuación:

- Primera fase: Industrias básicas de aluminio y siderúrgicas, donde se obtienen metales y materiales no ferrosos a partir de la materia prima correspondiente.

² Ruiz, C. (2016). *Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México*. Recuperado de: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13016.pdf>

- Segunda fase: Los materiales obtenidos en la etapa anterior son transformados en tubos, bombas, válvulas, tornillería y otros productos metálicos.
- Tercera fase: producción de autopartes y componentes centrales automotrices como motores, carrocería, así como componentes del tren motriz y el sistema de frenado.
- Cuarta fase: desarrollo de componentes complementarios de un automóvil, como son tuberías, pinturas, productos plásticos, etc.
- Quinta fase: Ensamblaje de partes y fabricación de llantas, donde las partes obtenidas en las fases anteriores son unidas para dar forma a un vehículo en específico que está listo para ser comercializado.
- Sexta fase: Venta al por mayor y unitaria de automóviles. Esta actividad se realiza por las *OEMs* a las agencias automotrices, las cuales después ponen los vehículos a disposición de clientes potenciales, o a compradores interesados en adquirir una gran cantidad de unidades.

Impacto en la economía del país

En la actualidad, el sector automotriz en México es el principal generador de divisas, superando a las obtenidas por el sector petrolero, remesas y turismos con una cifra de 118mil 6.2 millones de dólares, mientras la industria petrolera reportó 26 mil 7 millones de dólares en 2018³.

Con estas cifras el sector automotriz aporta el 3.2% del PIB nacional y, a su vez, representa el 18.3% dentro del sector manufacturero⁴. De igual manera, este es uno de los sectores que recibe mayor IED, ya que entre los años 2000 y 2018 recibió casi 66 mil millones de dólares, lo que representa el 12.5%⁵.

En el año 2013, el sector automotriz tuvo una participación de 54 mil unidades económicas, donde cada uno de los eslabones antes mencionados presenta la participación mostrada en tabla 1 e ilustrada en la gráfica 1.

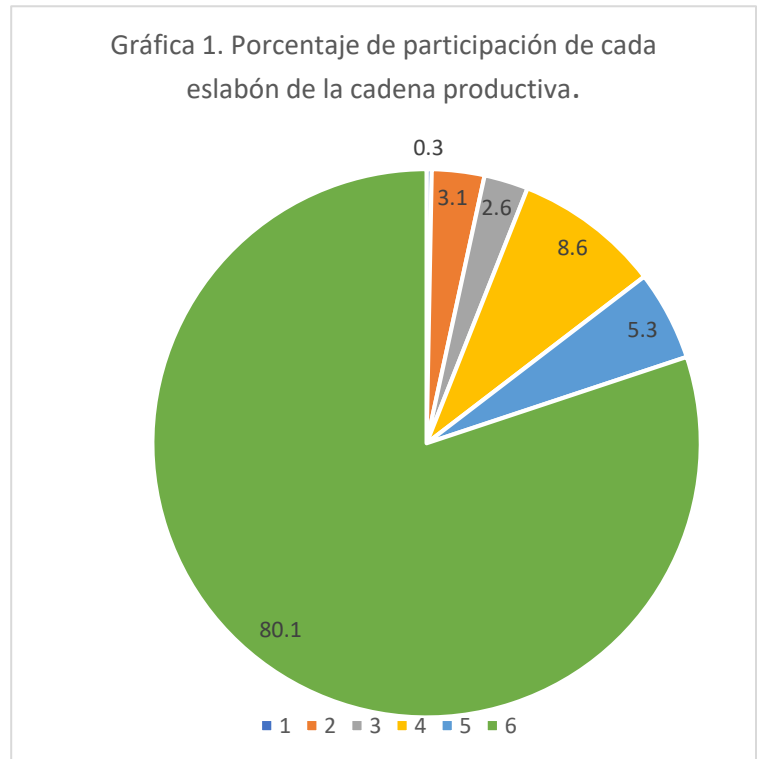
³ El universal. Cantera, S. (2018). *Sector automotriz se consolida en generar divisas*. Recuperado de: <https://www.eluniversal.com.mx/cartera/sector-automotriz-se-consolida-en-generar-divisas>

⁴ Istmo. León, M. (2016). *Industria automotriz mexicana. Una historia de éxito que debe mirar hacia delante*. Recuperado de: <https://www.istmo.mx/2016/09/01/industria-automotriz-mexicana-una-historia-de-exito-que-debe-mirar-hacia-delante/>

⁵ Vanguardia. Hernández, E. (2019). *40 años de la industria automotriz mexicana*. Recuperado de: <https://vanguardia.com.mx/articulo/40-anos-de-la-industria-automotriz-mexicana>

Tabla 1⁶. Porcentaje de participación de cada eslabón de la cadena de suministro automotriz.

| Fase | Total | Porcentaje [%] |
|------|-------|----------------|
| 1 | 180 | 0.30 |
| 2 | 1667 | 3.10 |
| 3 | 1409 | 2.60 |
| 4 | 4641 | 8.60 |
| 5 | 2841 | 5.30 |
| 6 | 43170 | 80.10 |



Mi participación en la empresa

Yo formé parte de esta empresa como becaria desde septiembre de 2018 hasta diciembre de 2019. Durante este tiempo realicé diversas actividades que me permitieron desarrollar las habilidades obtenidas a lo largo de mi etapa de estudiante para ingeniera mecánica y aprender nuevas habilidades propias de las actividades realizadas en la vida cotidiana de la industria automotriz.

Entre las principales actividades que desarrollé se encuentran las siguientes:

- Desarrollo de propuestas de diseño para diferentes componentes del sistema de enfriamiento a partir de los estándares internos y mejores prácticas de diseño y manufactura establecidas por la empresa.
- Elaboración de documentos para la identificación de los componentes (VBOM) de los sistemas de enfriamiento y combustible de las plataformas soportadas por el equipo de Santa Fe, México.

⁶ Ruiz, C. (2016). *Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México*. Recuperado de: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13016.pdf>

- Apoyo a ingenieros de productos en la revisión, modificación y publicación de componentes finales, así como revisión y gestión de garantías de plataformas soportadas por el equipo de Santa Fe.
- Soporte al equipo de Inventor en diferentes actividades para la gestión de ideas patentables dentro de la compañía.

Debido a la organización de la empresa y partiendo del concepto de ingeniería concurrente, cada departamento tiene funciones y responsabilidades específicas con la premisa de que cada uno de ellos tiene la misma información y se apoyan mutuamente para conseguir los objetivos comunes de la empresa ya sea en la interacción de componentes, necesidad de validaciones, modificaciones y pruebas físicas y decisiones administrativas.

Capítulo 2.

Antecedentes

En la actualidad, la mayoría de los vehículos comerciales utilizan motores de combustión interna para la obtención de energía mecánica a partir de la energía química. Dado a la naturaleza de los procesos realizados dentro de la cámara de combustión, se generan altas temperaturas, de 371° a 593°C para motores de gasolina y de 537° a 649°C⁷ para motores Diésel, las cuales pueden comprometer el desempeño de componentes internos del motor, tales como válvulas, rodamientos y pistones.

El porcentaje de calor transferido al ambiente por convección y radiación desde las paredes del motor es relativamente bajo, por lo que es necesario la implementación de un sistema que disipe el calor generado en el motor y reduzca la temperatura al interior de este. El sistema de enfriamiento, junto con el sistema de escape, transfiere calor desde el motor al ambiente, ya que el sistema de enfriamiento retira calor del motor a través del anticongelante y el sistema de escape retira calor a través de los gases de escape.

Historia del desarrollo de los sistemas de enfriamiento

Los primeros motores de gasolina de un cilindro utilizaban un sistema de enfriamiento compuesto por un balde abierto a la atmosfera lleno de agua, la cual debía remplazarse constantemente por la transferencia de calor que realizaba el sistema. Para finales de 1800, los automóviles utilizaban un sistema de enfriamiento cerrado basado en el fenómeno de termo sifón, el cual provoca movimiento dentro de un contenedor debido a la diferencia de densidad entre el mismo fluido provocada por la temperatura de cada región.

Fue hasta los años 40 cuando se implementaron los sistemas de enfriamiento presurizados en los vehículos, lo cual aumentaba el punto de ebullición del anticongelante y a su vez la tasa de remoción de calor y purga los gases presentes en el fluido de trabajo, provenientes en su mayoría del sistema de escape y que pueden provocar que el sistema de enfriamiento o el motor sean dañados⁸.

⁷ Puro Motores (2017). *Temperatura de los gases de escape gasolina vs diesel*. Recuperado de: <https://www.puromotores.com/13173900/temperatura-de-los-gases-de-escape-gasolina-vs-diesel>

⁸ Kargilis, A. (2008). *Design and Development of automotive engine cooling systems*. Estados Unidos. Alkar Engineering Company.

En la actualidad, los sistemas de enfriamiento han evolucionado con la mejora tanto de motores como de los caminos, tienen mayores solicitudes de desempeño, ya que se han agregado a los vehículos sistemas de aire acondicionado, transmisiones automáticas y otros accesorios, por lo que la calidad del diseño del sistema es de suma importancia.

Afortunadamente, con los avances tecnológicos en áreas como manufactura y diseño, las herramientas computacionales CAD, CAM y CAE predicen el comportamiento de los componentes para ahorrar recursos.

Tipos de sistemas de enfriamiento

Puede utilizarse agua o aire como fluido de trabajo en los sistemas de enfriamiento, aunque este último se utiliza en vehículos pequeños, ya que utiliza una gran cantidad de aluminio para disipar el calor. Los sistemas de enfriamiento con agua se utilizan actualmente tanto en vehículos de pasajeros como en vehículos de carga.

En los sistemas de enfriamiento de agua se agregan aditivos que aumenten el desempeño del líquido al mantener la misma fase en regiones con temperaturas extremas opuestas, suelen ser etilenglicol o propilenglicol en concentraciones que van del 30 al 50%⁹ para conseguir un rango de temperaturas de -40°C sin congelarse, a los 135°C¹⁰ para que comience a bullir. También se añaden líquidos anticorrosión y anticavitación como protección para los componentes del sistema.

Componentes del sistema de enfriamiento por agua

El sistema de enfriamiento se encuentra conformado, generalmente, por los siguientes componentes, dependiendo de la configuración del motor para el que se diseñó:



- Radiador: Intercambiador de calor compuesto por una serie de tubos y aletas que transfieren el calor del líquido anticongelante al ambiente consiguiendo reducir la temperatura de este. Un ejemplo ilustrativo de la estructura externa de un radiador se muestra en la figura 2.

Figura 2. Estructura externa de un radiador

⁹ Mollenhauer, K. Eitel, J. (2010). *Handbook of diesel engines*. Germany. Springer and Bosch.

¹⁰ Hoag, K. Dondlinger, B. (2015) *Vehicle engine design*. Estados Unidos. Springer.

Cuando el motor alcanza la temperatura de apertura del termostato, el líquido anticongelante ingresa de la botella al radiador, donde recorre un arreglo horizontal de tubos internos y aletas, donde se disipa calor desde el fluido al ambiente por medio de convección natural y, cuando las condiciones de funcionamiento lo requieren, forzada gracias al uso del ventilador.

Uno de los factores más influyentes en el desempeño del sistema de enfriamiento es el área frontal que ocupa el radiador, ya que esta, junto con la cantidad de aletas y espesor del radiador, pueden aumentar la eficiencia del componente.



Figura 3. Ventilador automotriz

- Ventilador: Compuesto de aspas, tolva e impulsado por un motor eléctrico o mecánico, se localiza en la parte anterior o posterior del radiador para poder aumentar el coeficiente de transferencia de calor entre el radiador y el ambiente, creando una corriente de aire fresco dirigido a la superficie del radiador cuando el vehículo no se encuentra en movimiento o cuando se encuentra en movimiento y las condiciones térmicas del motor lo requieren. En la figura 3 se muestra un ventilador donde se aprecian sus componentes principales.

Puede tener tres tipos de configuraciones: centrífugo, donde el flujo de aire se encuentra lejano al eje de rotación, axial donde el flujo es paralelo al eje de rotación, o mixto, una combinación de las configuraciones anteriores.

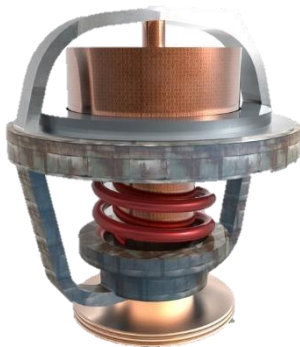


Figura 4. Termostato de funcionamiento mecánico

- Termostato: Este elemento monitorea la temperatura de operación del motor, cuando ésta alcanza una temperatura de diseño, llamada temperatura de inicio de apertura permite el flujo de anticongelante a través del motor e inicia la movilidad del fluido en el sistema de enfriamiento. En la figura 4 se muestra un termostato mecánico.

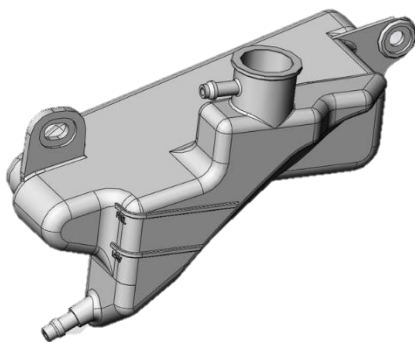
El flujo que recorre el radiador es controlado por la apertura del termostato, en caso de que la temperatura de trabajo en el motor no alcance la temperatura de apertura, el anticongelante se enviara de regreso directamente a la bomba de agua.

- Camisa de enfriamiento del motor: Estructura interna del motor rodeando los cilindros de los pistones por donde un flujo de anticongelante recorre la cámara de combustión y se realiza la transferencia de calor por convección entre el motor y el fluido. En la figura 5 se muestra una vista transversal de un motor de combustión interna donde se puede ver la camisa de enfriamiento.



Figura 5. Vista transversal de un motor donde se muestra la camisa de enfriamiento

Este flujo puede tener tres direcciones: Convencional, el fluido recorre la estructura interna desde el bloque hacia la cabeza del motor en canales paralelos, En serie o en una combinación de ambos. Inverso, el fluido entrada desde la cabeza hacia el bloque recorriéndolo de forma paralela, en serie o una combinación de ambos, o de manera combinada ya que en determinados pistones del motor el flujo es convencional mientras que en el resto de ellos tiene flujo inverso.



- Botella de refrigerante: Recipiente donde se almacena el líquido anticongelante al salir del motor donde se extraen gases de escape y aire del fluido refrigerante. En la figura 6 se muestra una botella de anticongelante.
-

Figura 6. Botella de anticongelante

Una vez realizado el recorrido del anticongelante por el motor, el exceso de líquido es expulsado a este contenedor donde es almacenado hasta que el termostato dé inicio al flujo en el sistema de nuevo. Permite que el líquido se expanda y contraiga.

- Bomba de anticongelante: Es la encargada de empujar y desplazar el fluido a través de la tubería y mangueras del sistema de enfriamiento en el vehículo, se encuentra ubicada a la salida del radiador, ya que envía el anticongelante nuevamente frío al motor cuando el termostato lo indica y también recircula el fluido que llega directamente a ella. En la figura 7 muestro una geometría habitual para este componente.

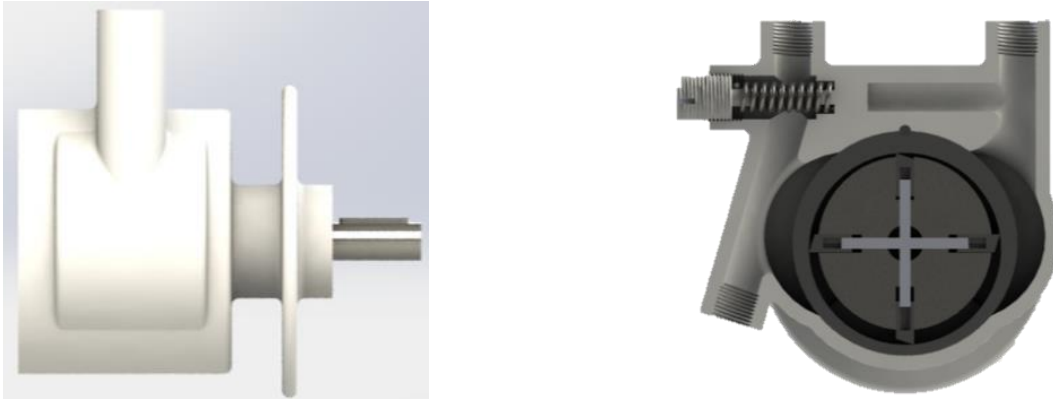


Figura 7. Vista lateral (izquierda) y corte transversal (derecha) de una bomba de aire



- Tuberías y mangueras: Componentes cuya función es conducir/transportar en su interior fluido de un lugar a otro. Los materiales utilizados para este tipo de componentes son EPDM y acero. En la figura 8 se muestra una manguera típica de EPDM.

Figura 8. Manguera de EPDM

- Juntas (Abrazaderas, Conectores rápidos): Elementos que aseguran la unión entre las tuberías y mangueras con las salidas de líquido entre los demás componentes del sistema de enfriamiento o entre ellas. En la figura 9 se muestra un conector rápido y una abrazadera, ambos componentes utilizados en el sistema del motor.

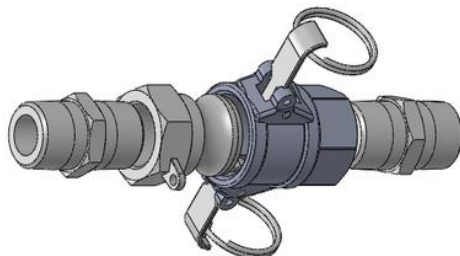
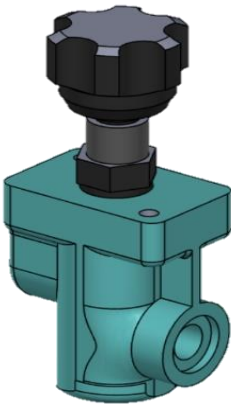


Figura 9. a) Conector rápido



b) Abrazaderas



- Válvulas de alivio: Liberan la presión, aire y gases de escape cuando esta alcanza el límite establecido por diseño del sistema. se pueden localizar en el radiador, botella de almacenamiento o en alguna sección entre mangueras del sistema. En la figura 10 se muestra de ejemplo de una válvula de alivio.

Figura 10. Válvula de alivio

Cuando la presión dentro del sistema aumenta, debido al incremento de temperatura del anticongelante, y alcanza una presión determinada por diseño, la válvula purga aire, gases de escape o anticongelante para mantener la presión del sistema bajo control.

Funcionamiento del sistema de enfriamiento

A continuación, muestro unos diagramas con los componentes básicos del sistema de enfriamiento y una breve explicación del funcionamiento del mismo. En la figura 11, explico el funcionamiento cuando la temperatura del anticongelante es menor a los 90°C.

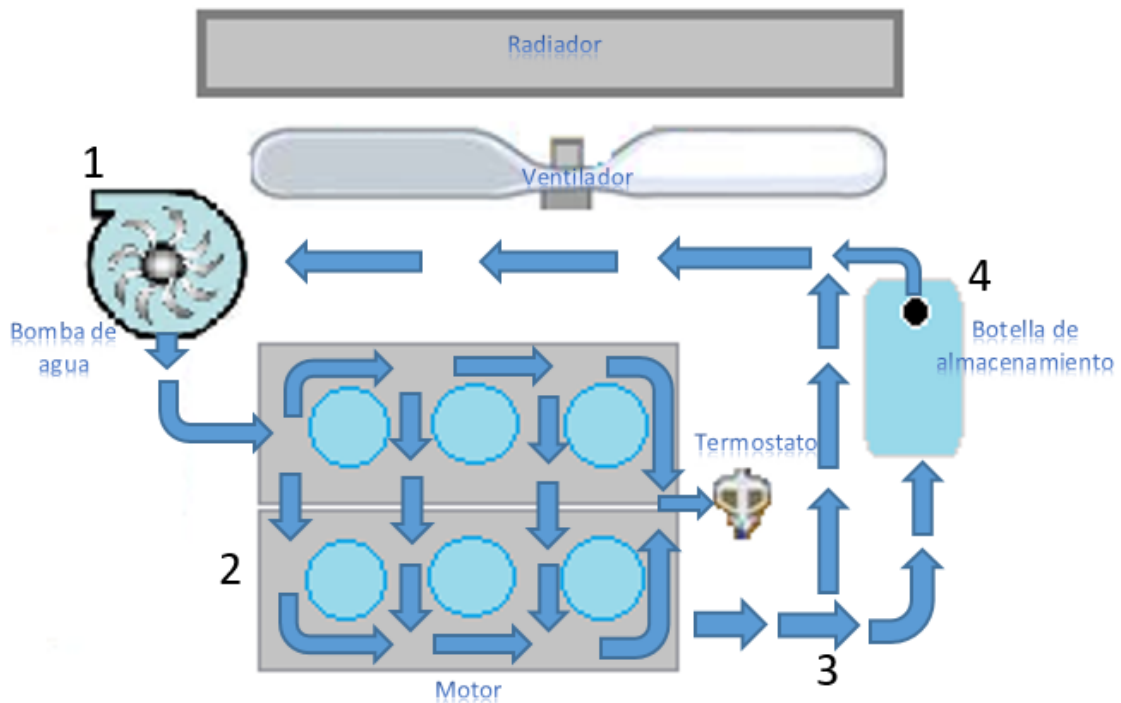


Figura 11. Funcionamiento del sistema de enfriamiento a bajas temperatura, menor a 90 C.

1. El anticongelante inicia su recorrido al ser impulsado por la bomba de agua.
2. Ingresa al motor y recorre la camisa del motor; el termostato monitorea la temperatura del anticongelante, pero no se abre, ya que ésta no alcanza la temperatura de inicio de apertura.
3. El anticongelante sale del motor y se divide, una parte regresa a la bomba de agua y otra se almacena en la botella.
4. El anticongelante almacenado en la botella puede regresar a la bomba de agua cuando sea necesario.

En la figura 12 que se muestra a continuación, muestro el funcionamiento del sistema de enfriamiento a temperaturas mayores a 90°C. Esta temperatura es de referencia, ya que puede variar dependiendo las especificaciones del vehículo y las características del termostato.

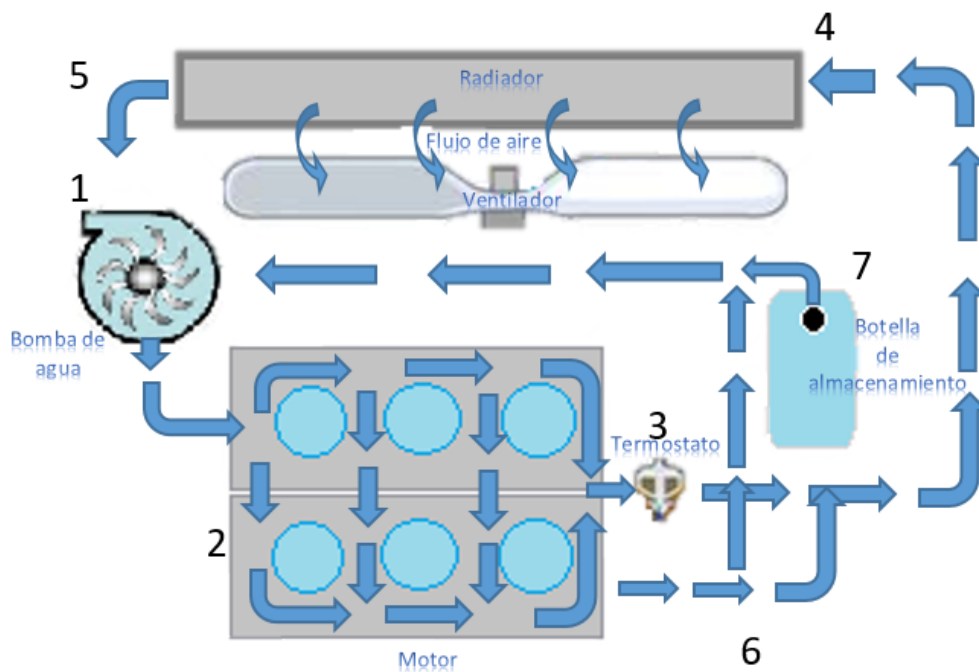


Figura 12. Funcionamiento del sistema de enfriamiento a altas temperatura, mayor a 90 C.

1. El anticongelante inicia su recorrido al ser impulsado por la bomba de agua.
2. Ingresa al motor y recorre la camisa del motor.
3. El termostato monitorea la temperatura del anticongelante y se abre, ya que alcanzo la temperatura de inicia de apertura, permitiendo que anticongelante fluya hacia la entrada del radiador.
4. El anticongelante ingresa al radiador donde se disminuye su temperatura, por medio de convección entre el ambiente y el arreglo de aletas y tubos al interior del radiador.

5. Una vez terminado el recorrido del anticongelante por el radiador, este regresa a la bomba de agua.
6. El anticongelante sale del motor y se divide, una parte regresa a la bomba de agua y otra se almacena en la botella.
7. El anticongelante almacenado en la botella puede regresar a la bomba de agua cuando sea necesario.

El ventilador se activa cuando la temperatura del anticongelante rebasa la temperatura de diseño que suele estar sobre 130 °C para conseguir una convección forzada con el ambiente y obtener un mayor intercambio de temperatura, ya sea que el vehículo se encuentre estático o en movimiento.

Consideraciones de diseño de un sistema de enfriamiento

Una de las consideraciones más importantes cuando diseña un sistema de enfriamiento es que el espacio disponible para posicionar los componentes se encuentra en una zona reducida cuya temperatura es muy alta debido a su cercanía con el motor, por lo que un diseño eficiente debe considerar las geometrías de los componentes del propio sistema y de otros componentes cercanos a los propios.

Consideraciones de ensamble de un sistema de enfriamiento

De igual manera, es importante conocer los métodos de sujeción y proceso de ensamblaje en el vehículo para garantizar la eficiencia del diseño y el máximo aprovechamiento del espacio disponible, ya que un mal posicionamiento de los componentes afecta la aerodinámica del vehículo al reducir el flujo de aire en la parte inferior del vehículo.

Capítulo 3.

Diseño de soporte para bomba de anticongelante

El proceso de diseño que presento en este trabajo lo sintetizó, por cuestiones de confidencialidad con la empresa, utilizando la metodología IDEF0, con la idea de que el lector pueda tener un panorama general del procedimiento utilizado en mi caso de estudio, mismo que se muestra en la actividad A0 de la figura 13.

El diagrama IDEF0 describe un proceso de “Diseño y validación CAE de un soporte para bomba de anticongelante” declarando entradas, salidas, controles y mecanismos que utilice durante el proceso de diseño y que presento a continuación:

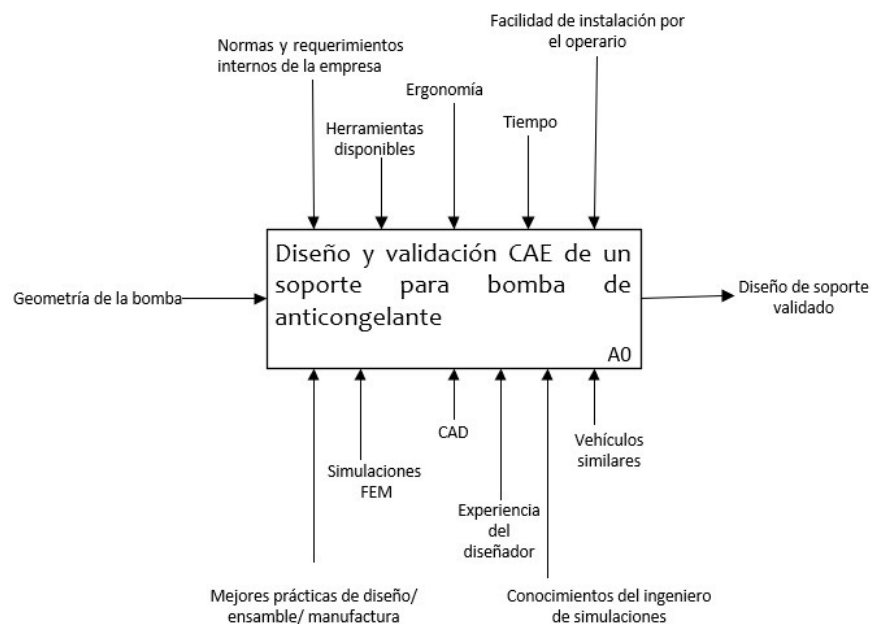


Figura 13. A0. Diseño y Validación CAE de un soporte para bomba de anticongelante

Entradas: Geometría de la bomba de anticongelante, misma que se obtiene de una propuesta por parte de proveedor.

Salida: Propuesta a nivel CAD de un soporte para bomba de anticongelante validado a nivel CAE, según los estándares de diseño y calidad de la empresa.

Controles: las normas y requerimientos internos de la empresa, el tiempo que toma todo el proceso de diseño, las herramientas disponibles para instalación en planta, la ergonomía del componente y la facilidad de instalación por parte de los operarios técnicos en la planta de ensamble al momento de la instalación.

Mecanismos: programas CAD, vehículos de familias similares, simulaciones FEM, las mejores prácticas de diseño, manufactura y ensamble manejadas internamente en la empresa, el catálogo de materiales y tornillería de la empresa y finalmente la experiencia tanto del diseñador como del ingeniero de simulaciones.

En la figura 14 se muestran las actividades A1, A2 A3 y A4 realizadas para llevar a cabo en su totalidad el proceso definido en el nivel A0. En los siguientes capítulos se explicaré a detalle la forma en que lleve a cabo cada actividad.

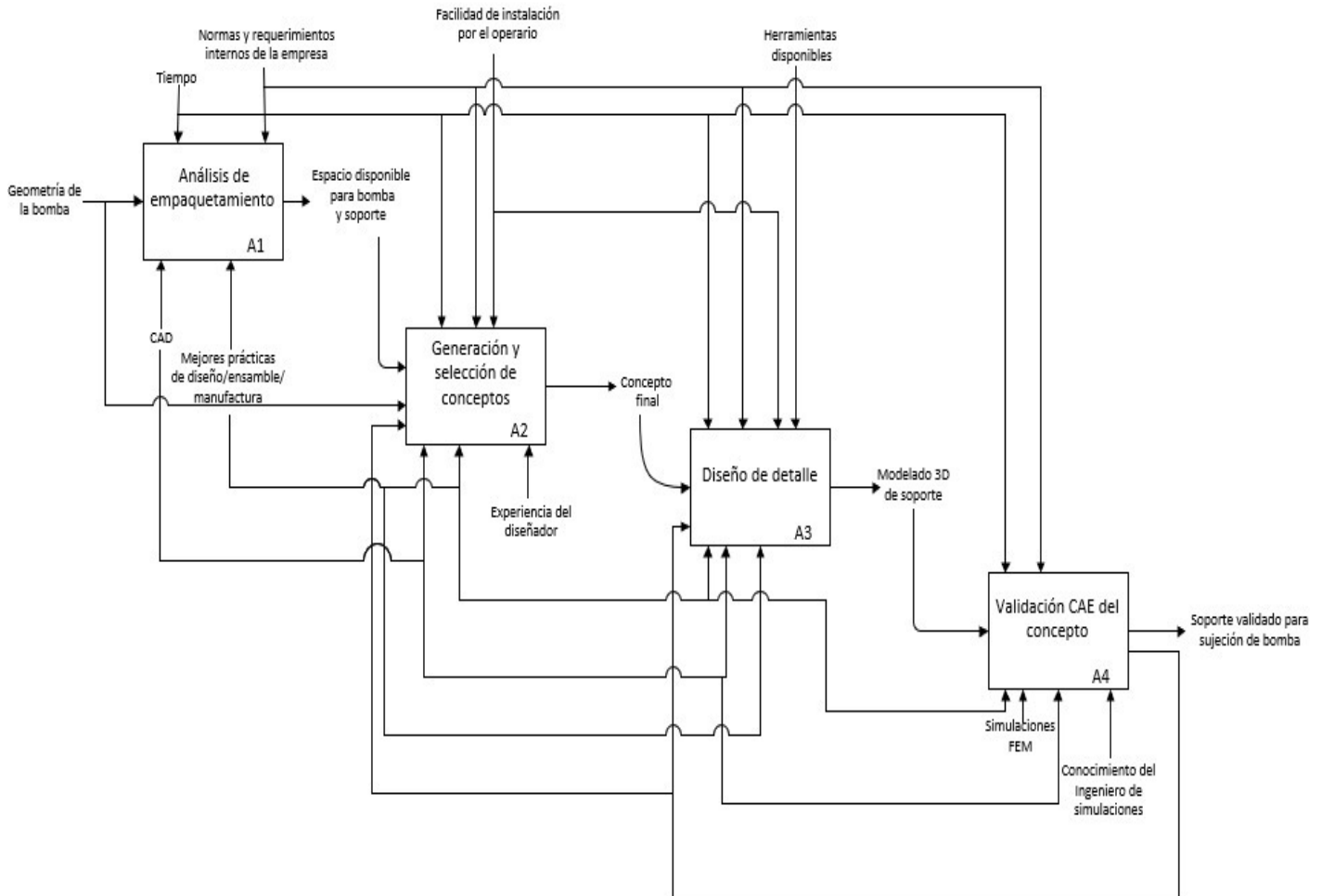


Figura 14. Subprocesos A1, A2, A3 y A4 en que se dividió el proceso de *Diseño y validación de soporte para bomba de anticongelante*.

A continuación muestro el propósito y punto de vista para el IDEF0 que presento en este trabajo:

- Propósito: Modelo tridimensional con uso de herramientas computacionales y validación por medio de elemento finito de soporte para bomba de anticongelante.
- Punto de vista: Equipo de sistemas de enfriamiento del motor.

A1. Análisis de empaquetamiento

En este subcapítulo, detallo el proceso de análisis de empaquetamiento, el cual es fundamental en el proceso de diseño de componentes, ya que me permitió conocer la ubicación más conveniente para la bomba en el vehículo y los componentes cercanos al soporte que diseñé y así, conseguir un diseño eficiente para el sistema. En la figura 15 se muestra el diagrama del subproceso bajo el nivel A1.

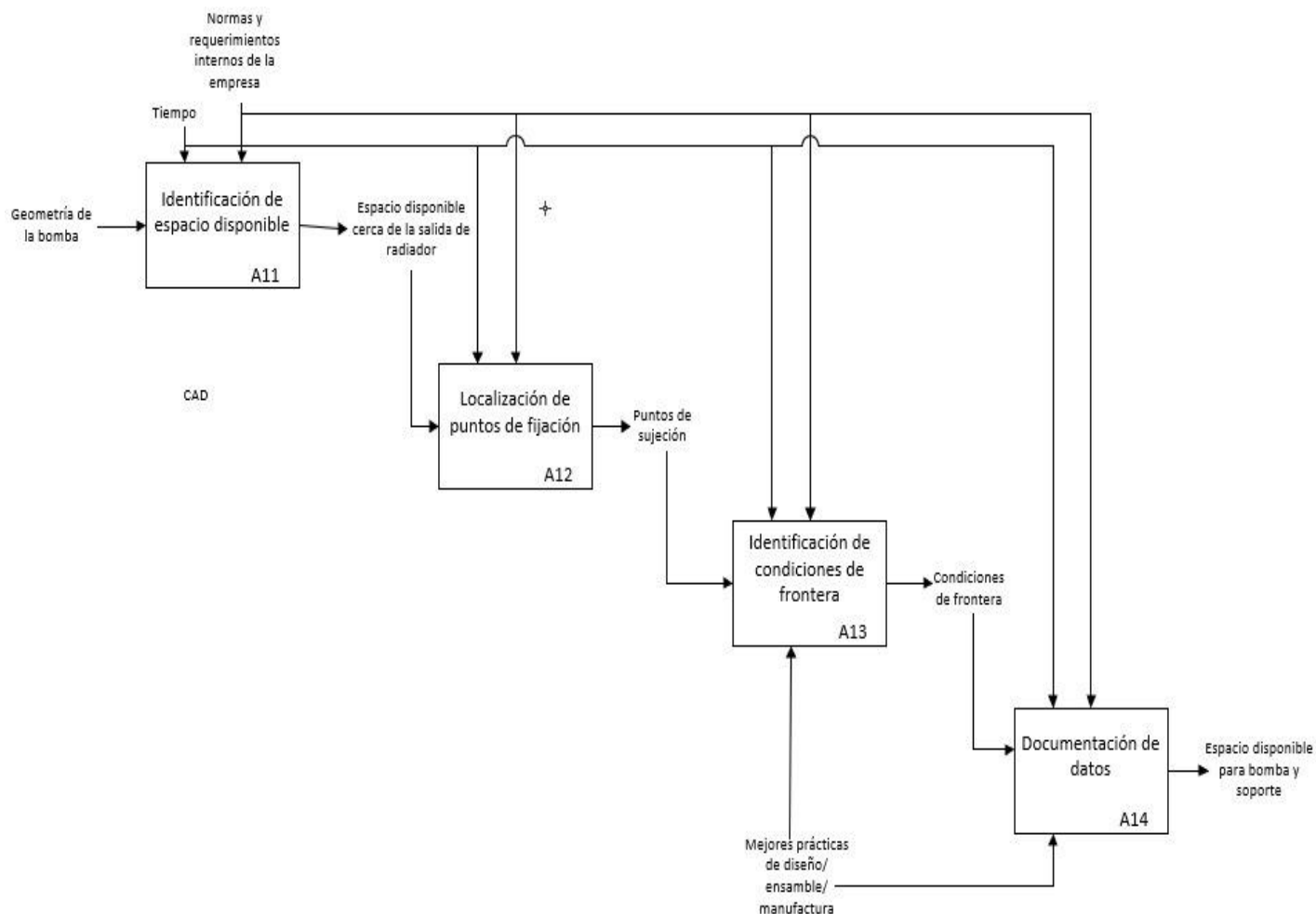


Figura 15. Diagrama IDEF0 en nivel A1 *Análisis de empaquetamiento*.

A11. Identificación del espacio disponible

Para poder determinar la posición óptima para la bomba en el vehículo, el equipo de Sistemas de Enfriamiento y Empaquetamiento realizamos un análisis del espacio disponible en el habitáculo del motor, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Encontrar un espacio libre de componentes para poder ubicar la bomba.
- Que este espacio disponible se encuentre lo más cercano a la salida del radiador.

- Que se encuentre en una región donde puedan evitarse colisiones, debido al movimiento del motor, y condiciones extremas, tales como fuentes de calor o contacto con diferente tipo de sustancias.

Por recomendación del equipo de Empaquetamiento, escogí la mejor zona para la localización de la bomba cercana a la salida del radiador; posteriormente procedí a la identificación de los componentes más cercanos de esta zona/área con la ayuda de un software CAD para la visualización y manipulación de ambiente tridimensionales, entre los cuales se encuentran las mangueras del radiador, la tolva, el ventilador y el miembro cruzado frontal del chasis, así como las mangueras del motor hacia la bomba.

Además, para definir la posición y orientación final de la bomba, hice uso de los estándares internos de enrutamiento de mangueras y ductos, así como de las mejores prácticas de diseño y ensamble internos; el resultado fue la ubicación final, cumpliendo con todos los requerimientos de distancias entre componentes para evitar proximidades y/o contactos entre ellos.

A12. Localización de puntos de fijación

Una vez que definí la posición de la bomba, el miembro cruzado me pareció el lugar con más posibilidades para sujetar el soporte de la bomba, debido a la rigidez del componente y el espacio libre en sus alrededores.

Para la localización de puntos de fijación, realicé una inspección visual, utilizando las herramientas mencionadas, para poder identificar las superficies planas cercanas a la zona donde se debía ubicar la bomba, con la idea de evitar geometrías complicadas del soporte. El resultado de esta actividad fue la definición de los puntos de fijación del soporte.

A13. Definición de condiciones de frontera.

Es importante considerar las condiciones físicas a las cuales estará expuesta la parte, ya que estas definirán requerimientos adicionales a los definidos para el correcto funcionamiento del sistema, en la figura 16 muestro los componentes cercanos a la bomba y su soporte.

El soporte estará ensamblado/alojado en la zona frontal e inferior del chasis, por lo que puede considerarse ensamblado/unido a una parte fija del vehículo, sin embargo, las cargas de camino se transmiten al componente por medio de vibraciones, lo que se traduce a frecuencias mínimas, para evitar resonancia, la cual se presenta después de 30 Hz.

Referente a las fuentes de calor más cercanas, se encuentran el ventilador, el motor y los tubos de escape que conectan al convertidor catalítico. Así mismo, por la naturaleza del componente y zona de

ensamble, este se encuentra sujeto a condiciones del camino de manera directa como topes y baches, y puede estar en contacto con sustancias tales como agua, aceite, tierra, lodo y otros, por lo que debe ser resistente a estas condiciones para asegurar la vida útil del producto la cual se establece como 5 vidas según estándares internos de la empresa.

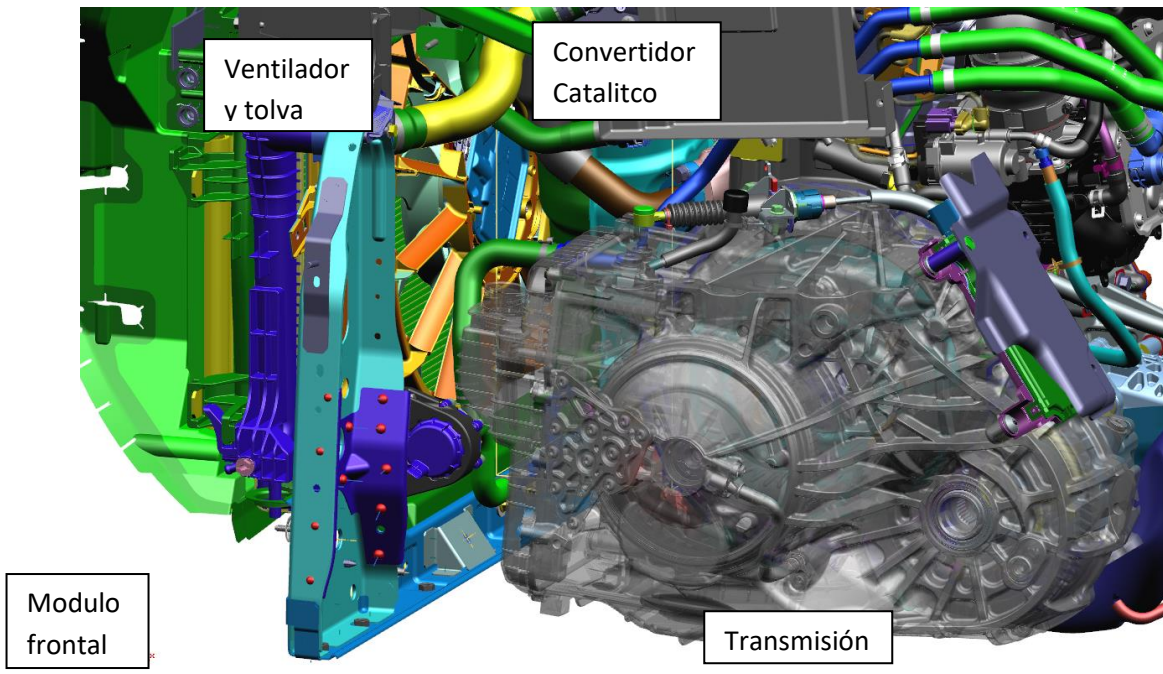


Figura 16. Componentes cercanos a la bomba y su soporte.

A14. Documentación de información

Una vez definidos los puntos de fijación del soporte para la bomba y las condiciones de frontera, recopilé y analicé la información necesaria para la *Generación y selección de conceptos* (A2). Con lo anterior, di por finalizado el subproceso de diseño *Análisis de empaquetamiento* (A1), obteniendo el espacio disponible para la bomba y soporte considerando la localización en el habitáculo del vehículo.

A2. Generación y selección de conceptos

En esta actividad mi objetivo principal fue obtener un concepto final modelado tridimensional que cumpliera los requerimientos establecidos por la empresa, para esto seguí la metodología planteada en *Diseño y desarrollo de productos* por Ulrich & Eppinger. En la figura 17 se definen las actividades realizadas para la culminación de esta actividad.

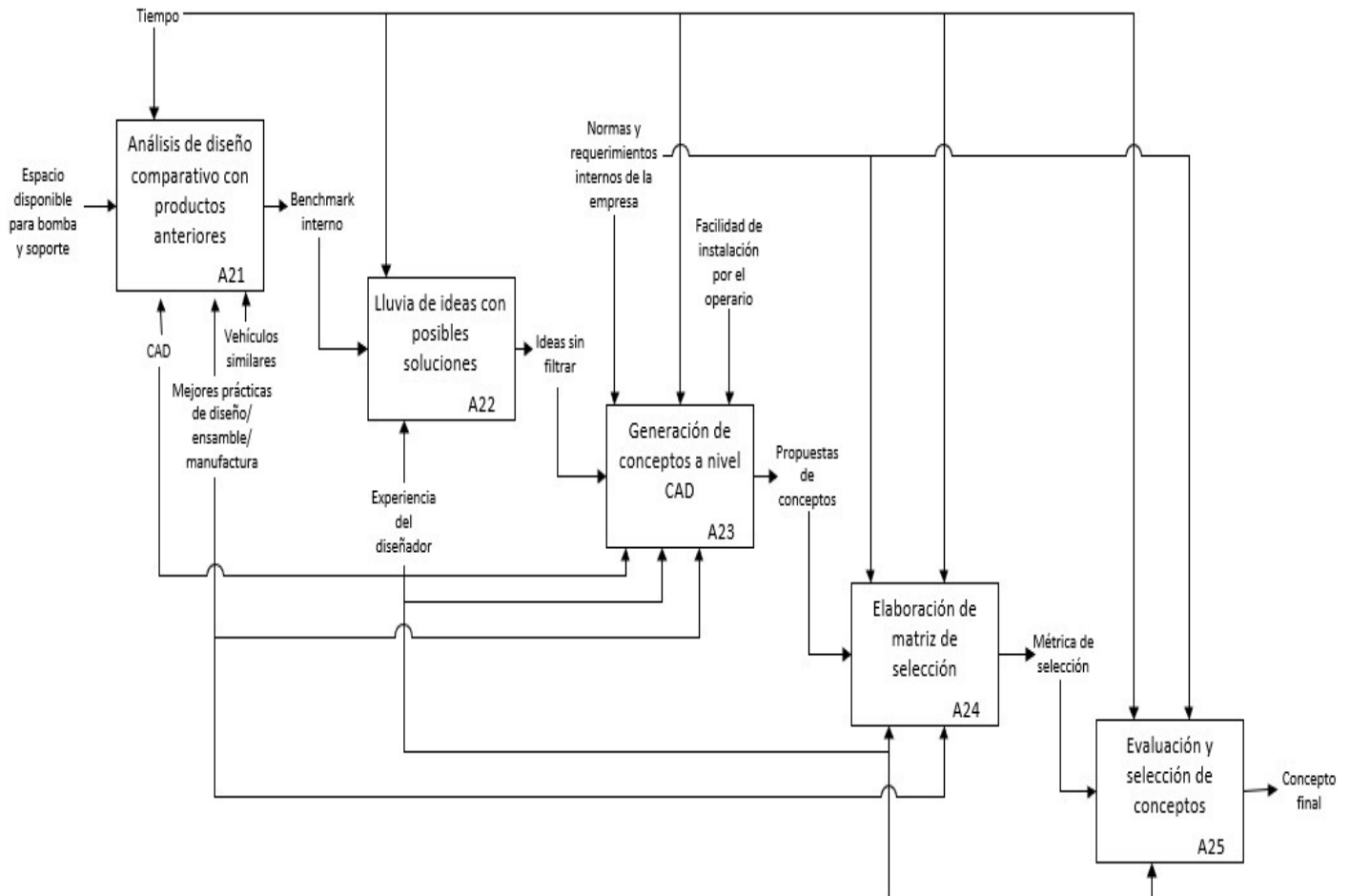


Figura 17. Diagrama IDEF0 en nivel A2. *Generación y selección de conceptos.*

A21. Análisis de diseño comparativo con productos anteriores

Comencé por realizar una comparativa interna entre vehículos de diferentes familias vehiculares para identificar características y elementos funcionales de cada uno de ellos, de esta manera obtuve un primer concepto para el soporte (Ejemplo A), propuesto por la contraparte del equipo de Sistemas de Enfriamiento de la sede de Michigan, Estados Unidos, el cual consistía en un soporte formado por dos cuerpos soldados entre sí, mostrado a continuación en la figura 18.

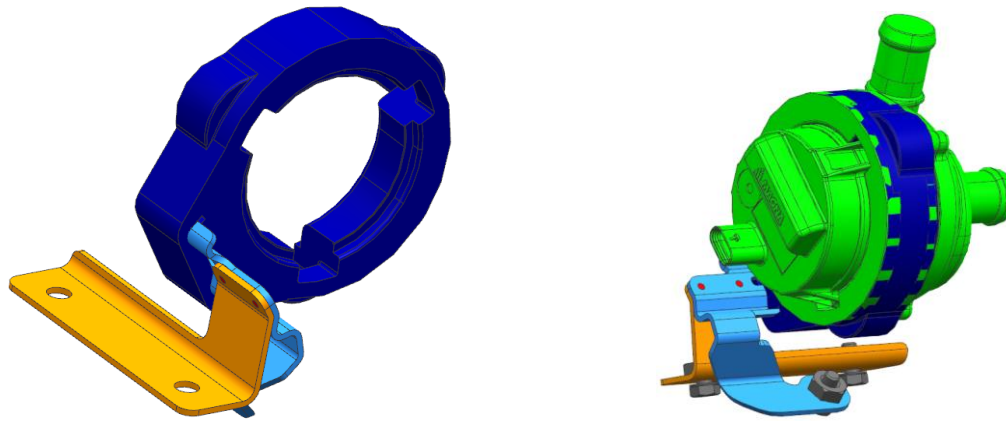
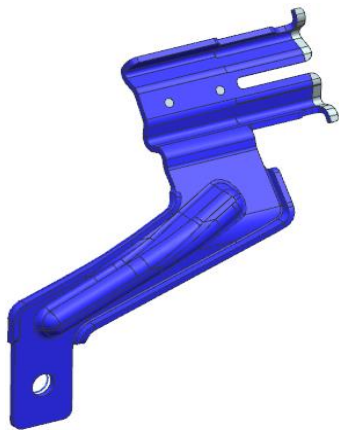


Figura 18. Ejemplo A, obtenido por una propuesta del equipo de Michigan.



Otro de los ejemplos que encontré entre las propuestas anteriores para este vehículo fue un soporte para bomba de anticongelante para un vehículo asiático, que consistía en un solo cuerpo con una serie de dobleces en la parte vertical del soporte para añadir rigidez al cuerpo, que definí como Ejemplo B, mostrado en la figura 19.

Figura 19. Ejemplo B, obtenido de un vehículo de la misma familia.

A22. Lluvia de ideas con posibles soluciones

Una vez identificados estos dos ejemplos, realicé una lluvia de ideas donde propuse modificaciones a los modelos antes mencionados, así como diseños híbridos entre los ejemplos antes mencionados. Durante este proceso, ninguna de las ideas que tuve fue rechazada, simplemente guardé registro de ellas para poder escoger posteriormente. Entre ellas se encuentran las siguientes:

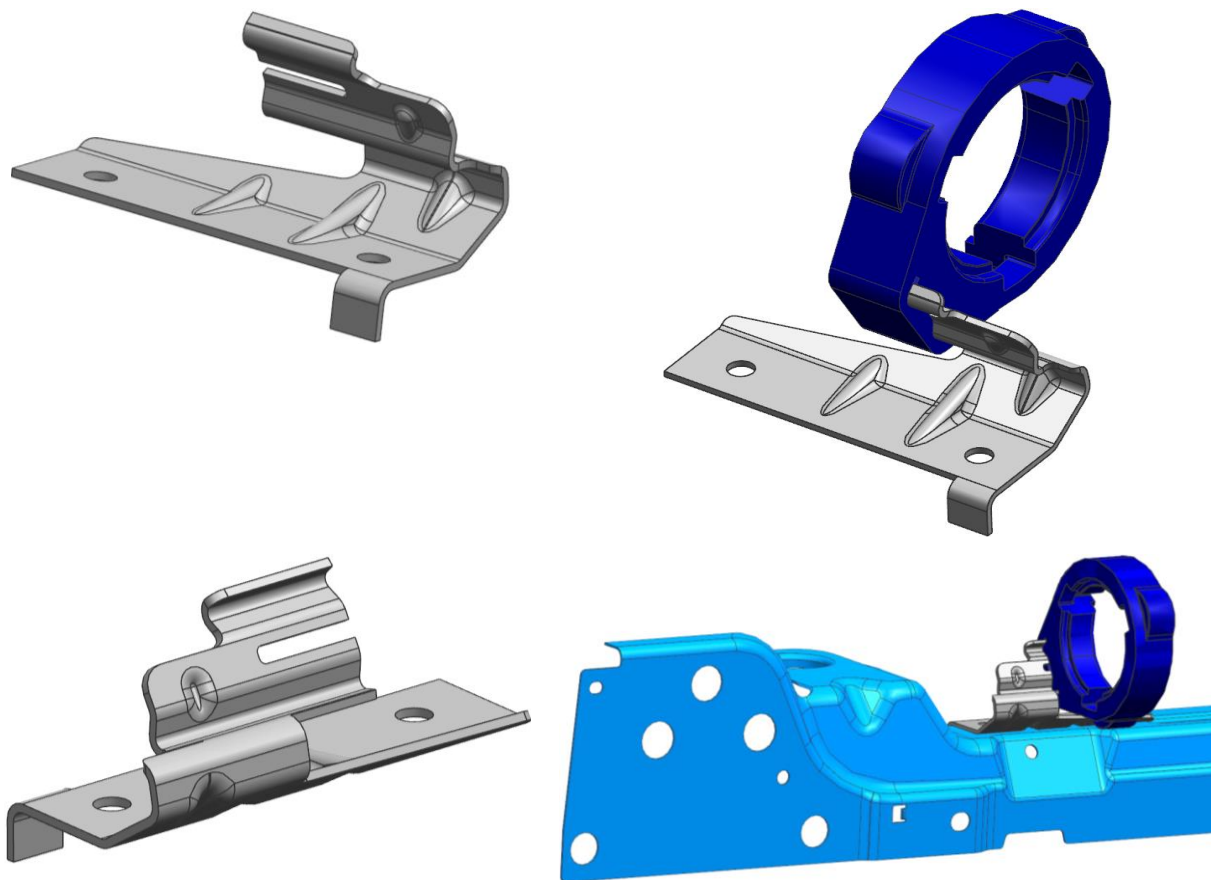
- Eliminar cuerpos del Ejemplo A.
- Modificar los dobleces del Ejemplo B.
- Agregar dobleces a la estructura vertical del Ejemplo A.
- Cambiar la forma de la base de los Ejemplo A y B.
- Agregar refuerzos en las esquinas de los dobleces de los Ejemplos A y B.
- Agregar refuerzos en la parte interna de la lámina en las zonas planas.
- Agregar refuerzos sobre los bordes externos de la lámina.
- Adaptar el Ejemplo B a la estructura vehicular del mercado americano.
- Colocar elementos a prueba de error en zonas externas de la lámina.
- Modificar la geometría de las regiones planas verticales de los Ejemplo A y B.
- Modificar el ángulo respecto a la horizontal de las regiones planas verticales o casi verticales.

A23. Generación de conceptos a nivel CAD

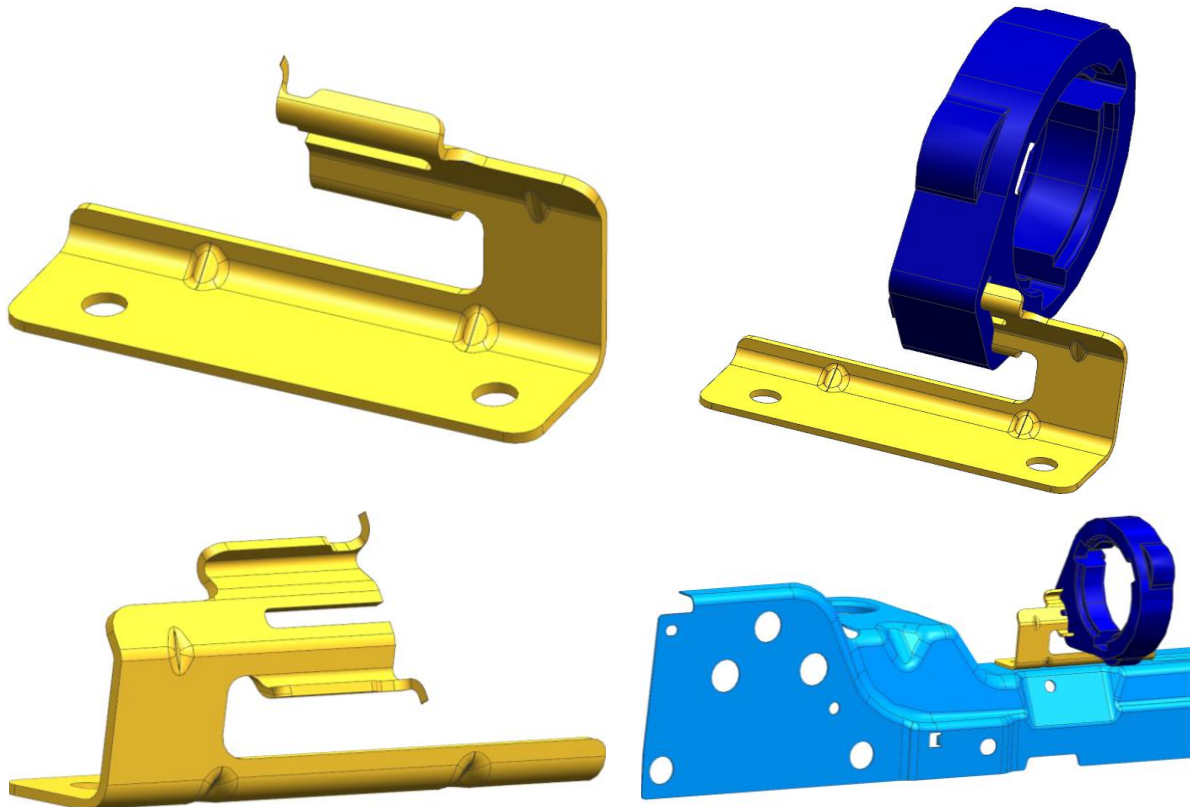
A partir de la generación de ideas en la actividad anterior, comencé con la generación de conceptos, entre los cuales figuró agregar el concepto dobleces al Ejemplo B para agregar rigidez en la región plana, adaptar el Ejemplo A nuestra estructura vehicular, agregar costillas a las regiones con un doblez para aumentar la resistencia a la torsión en esa zona, cambiar la localización de los puntos de fijación en el miembro cruzado como una primera consideración al proceso de armado en planta, y una mezcla iterativa entre las anteriores.

De lo anterior obtuve los siguientes conceptos:

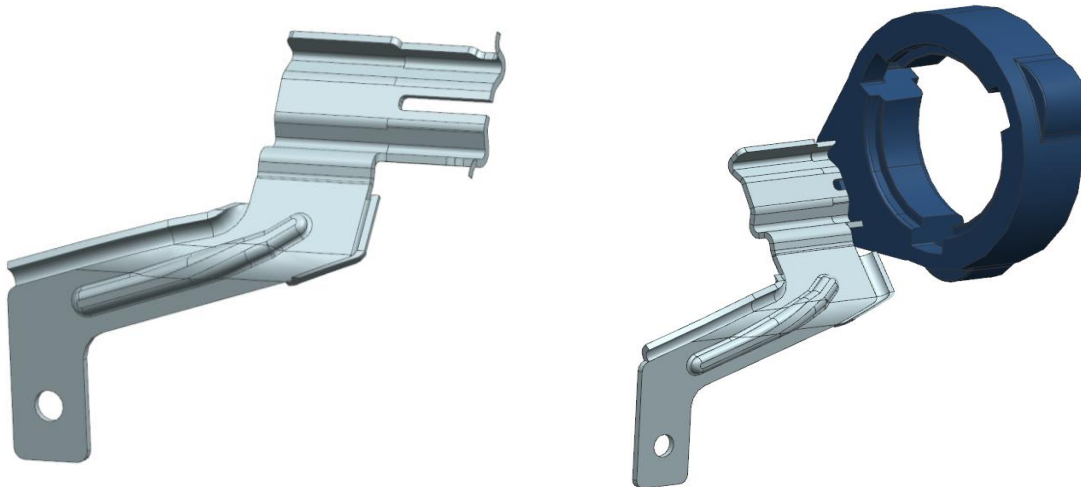
Concepto A

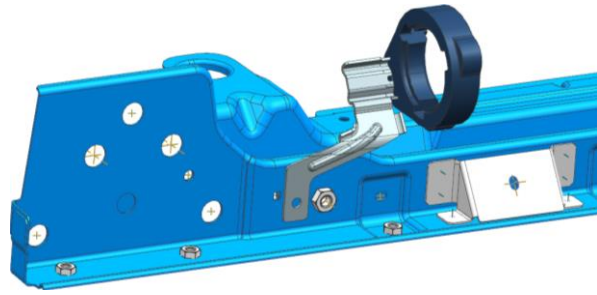
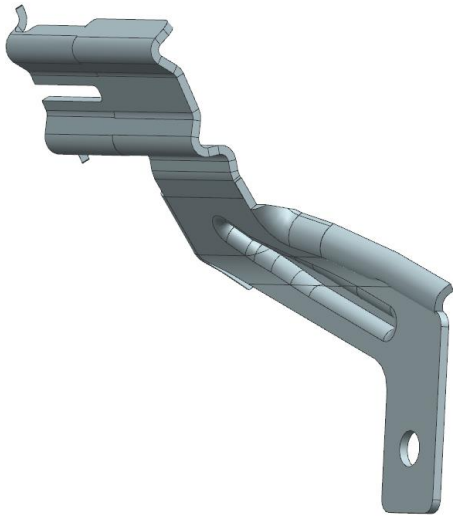


Concepto B

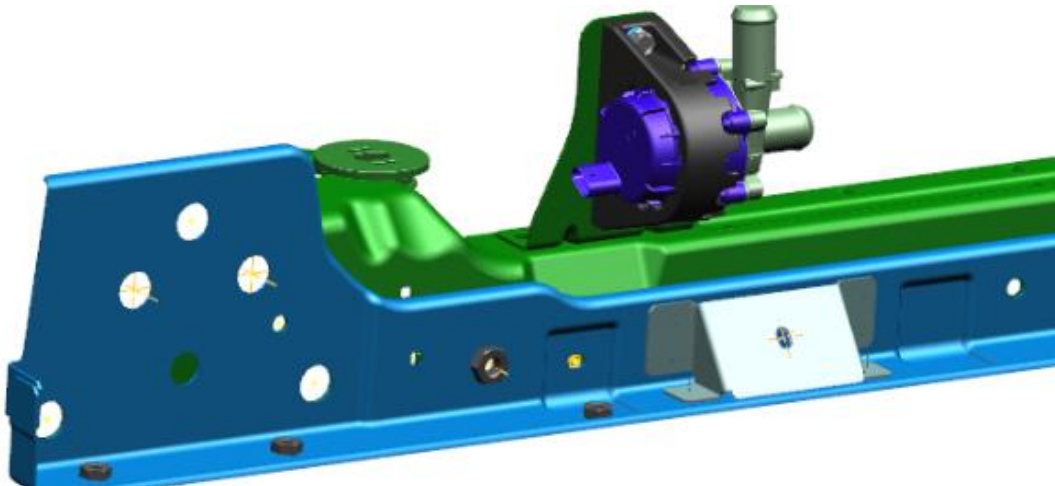
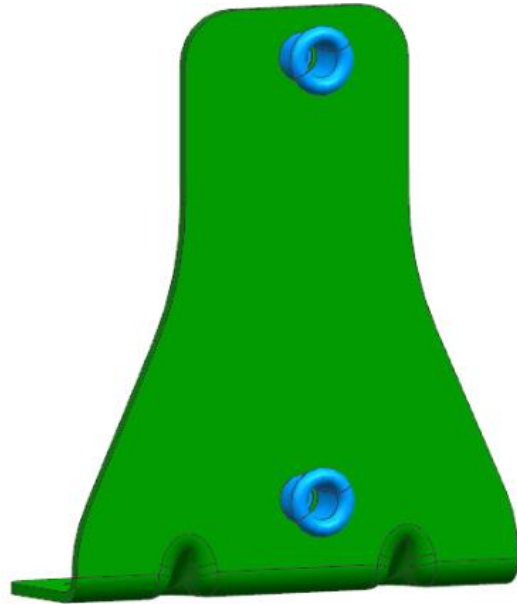
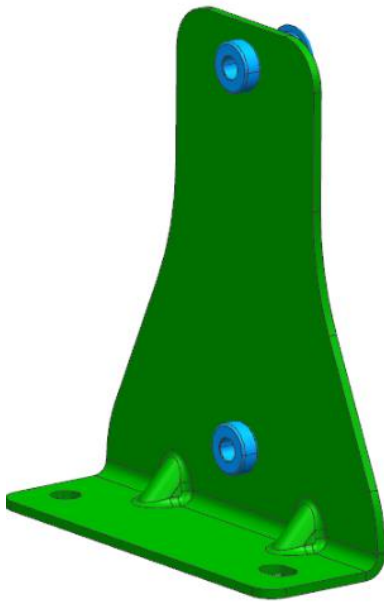


Concepto C





Concepto D



A24. Elaboración de matriz de selección

Para la selección del concepto final, elaboré una matriz de selección en donde consideré aquellos criterios que afectan, en mayor medida, el desempeño del concepto final, así como una ponderación a cada criterio, dependiendo de la importancia que podría tener en el desempeño del componente, así como su ensamble y manufactura, para lo cual me apoye de la experiencia del equipo de enfriamiento.

Los criterios de selección son los siguientes:

- **Facilidad de ensamble:** Dado a que este diseño será ensamblando en un vehículo real por un operario en planta, en estaciones de trabajo acondicionadas para la instalación de diferentes componentes, las cuales cuentan con herramienta específica y espacio limitado, se considera la ubicación de los puntos de fijación y la posibilidad de interferencia para la instalación. Entre más difícil sea, menor calificación obtuvo el concepto.
- **Peso:** Un peso excesivo puede afectar el desempeño general del vehículo y/o de las partes que se encuentren en contacto directo con él. Para evaluar este concepto considere que, si el material fuera el mismo para todos los modelos, el volumen del diseño influiría en el peso. Entre mayor peso, la calificación obtenida sería menor.
- **Presencia de elementos a prueba de error:** ya que son necesarios durante el proceso de ensamble para evitar retrabajos y por ende mermas de tiempo y recursos humanos durante la instalación. La ausencia de estos provocaba una calificación baja y entre más claros eran estos, la calificación obtenida fue mayor.
- **Rigidez:** Los parámetros que utilice para esta evaluación fue la presencia de refuerzos como costillas, cartabones, escudetes y pestañas, para lo cual, utilice la experiencia que poseo, ya que las pruebas de durabilidad y fatiga se realizaron en la actividad *A4. Validación CAE*.
- **Facilidad de manufactura:** Para evaluar este concepto, considere la complejidad de la geometría propuesta, entre más alta era esta, menor era la calificación obtenida en este rango. Este parámetro también fue evaluado con base en mi experiencia y las mejores prácticas de diseño y manufactura de la empresa, ya que los alcances del proceso que se presenta en este trabajo no llegan a la etapa de manufactura y maquinado.
- **Asegurar la posición:** Este criterio se relaciona estrechamente con el número de puntos de fijación que tiene un componente con su entorno, siguiendo las mejores prácticas de diseño y ensamble internas de la empresa, el número mínimo debe ser dos.

En la figura 20 muestro la matriz de selección con los criterios antes planteados, la calificación asignada a cada uno de ellos y la evaluación correspondiente para las propuestas de diseño que presente anteriormente.

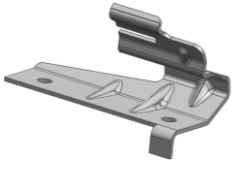
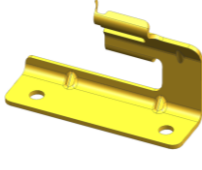

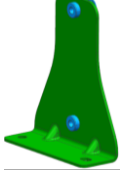
| Concepto | |  |  |  |  | | | | |
|--|----------|---|---|---|---|--------------|----------------------|--------------|----------------------|
| | | A | B | C | D | | | | |
| Criterio de selección | Peso (%) | Calificación | Evaluación ponderada | Calificación | Evaluación ponderada | Calificación | Evaluación ponderada | Calificación | Evaluación ponderada |
| Facilidad de ensamble | 20 | 4 | 0.8 | 1 | 0.2 | 3 | 0.6 | 4 | 0.8 |
| Peso | 5 | 3 | 0.15 | 4 | 0.2 | 3 | 0.15 | 2 | 0.1 |
| Presencia de elementos a prueba de error | 10 | 4 | 0.4 | 1 | 0.1 | 4 | 0.4 | 3 | 0.3 |
| Rigidez | 35 | 4 | 1.4 | 3 | 1.05 | 3 | 1.05 | 3 | 1.05 |
| Facilidad de manufactura | 20 | 3 | 0.6 | 4 | 0.8 | 2 | 0.4 | 5 | 1 |
| Asegurar la posición | 10 | 2 | 0.2 | 2 | 0.2 | 1 | 0.1 | 4 | 0.4 |
| Total puntos | | 20 | 3.55 | 15 | 2.55 | 16 | 2.7 | 21 | 3.65 |
| Lugar | | | 2 | | 4 | | 3 | | 1 |

Figura 20. Matriz de selección utilizada para la evaluación de los conceptos generados.

La métrica que utilice para asignar calificación según el criterio para cada concepto propuesto fue la planteada por los autores en la bibliografía antes mencionada al comienzo de este capítulo, que muestro en la Tabla 3, donde la referencia considerada es la propuesta inicial que he mencionado como Ejemplo A anteriormente en este trabajo:

Tabla 3. Métrica para evaluación de conceptos

| Desempeño relativo | Calificación |
|-------------------------------|--------------|
| Mucho peor que la referencia | 1 |
| Peor que la referencia | 2 |
| Igual que la referencia | 3 |
| Mejor que la referencia | 4 |
| Mucho mejor que la referencia | 5 |

En la Figura 21 muestro porque se asignó esa calificación a cada concepto:

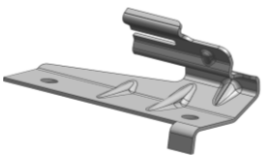
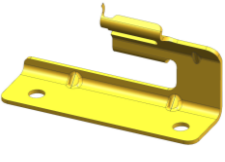

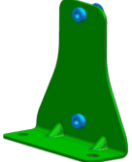
| Concepto |  |  |  |  |
|--|--|---|---|--|
| | A | B | C | D |
| Criterio de selección | Calificación | Calificación | Calificación | Calificación |
| Facilidad de ensamble | Puntos de fijación verticales, por lo que la herramienta puede alcanzarlos sin problemas. | Puntos de fijación verticales, por lo que la herramienta puede alcanzarlos sin problemas. | Punto de fijación horizontal, por lo que es necesario realizar maniobras con la herramienta. | Puntos de fijación verticales, por lo que la herramienta puede alcanzarlos sin problemas. |
| Peso | 13470.221107312 mm ³ | 10234.298948317 mm ³ | 11412.624589390 mm ³ | 17904.540938911 mm ³ |
| Presencia de elementos a prueba de error | La pestaña en el extremo derecho coincide con el borde del miembro cruzado. | No tiene elementos a prueba de error, la pieza se puede instalar rotada de la posición correcta. | El único punto de fijación sirve como elemento a prueba de error, así como el resto de la geometría del bracket. | La cara vertical coincide con el borde hacia el motor del miembro cruzado, por lo que sirve como elemento a prueba de error. |
| Rigidez | La presencia de costillas en los diferentes dobleces, así como el tamaño del mismo aumentan el momento de inercia de la pieza. | El tamaño de las costillas es limitado, por lo que no ayudan a reforzar el momento de inercia en la sección. | La geometría del refuerzo interno en el doblez y los flancos en los bordes del concepto ayudan al momento de inercia. | La forma en que se encuentran doblados las laterales aumentan la rigidez del concepto. |
| Facilidad de manufactura | Debido a la cantidad de elementos geométricos en el diseño, se requeriría mayor número de pasos de troquelado. | Los elementos sencillos de esta geometría requerirían menor cantidad de pasos de troquelado. | La geometría del concepto es compleja por lo que se requeriría una mayor cantidad de pasos de troquelado. | Se requerirían unos cuantos pasos de doblado secuenciales para manufacturar este concepto. |
| Asegurar la posición | Cumple con los 2 puntos de sujeción establecidos en las mejores prácticas de diseño y ensamble de la empresa. | Cumple con los 2 puntos de sujeción establecidos en las mejores prácticas de diseño y ensamble de la empresa. | Sólo tiene un punto de sujeción, por lo que no cumple con las mejores prácticas de diseño y ensamble de la empresa. | Cumple con los 2 puntos de sujeción establecidos en las mejores prácticas de diseño y ensamble de la empresa. |

Figura 21. Evaluación para cada concepto según el criterio de la matriz de selección.

Al finalizar este proceso, el resultado fue la selección de un concepto que destacaría entre las otras propuestas por los criterios de evaluación establecidos, sin embargo, este subproceso es iterativo dentro de las etapas de diseño, sobre todo durante la *Validación CAE (A4)*, ya que afectaría directamente la calificación asignada a rigidez a partir de las simulaciones CAE.

A3. Diseño de detalle

En esta actividad describo el proceso de diseño de detalle donde la entrada es el concepto final que asigne en la actividad anterior A2, la geometría de la bomba, el espacio disponible para la bomba y el soporte, así como las condiciones de frontera, adicionalmente se agrega como entrada una retroalimentación de la etapa siguiente de Validación CAE para las iteraciones posteriores. En la Figura 22 muestro las actividades realizadas en este nivel del proceso.

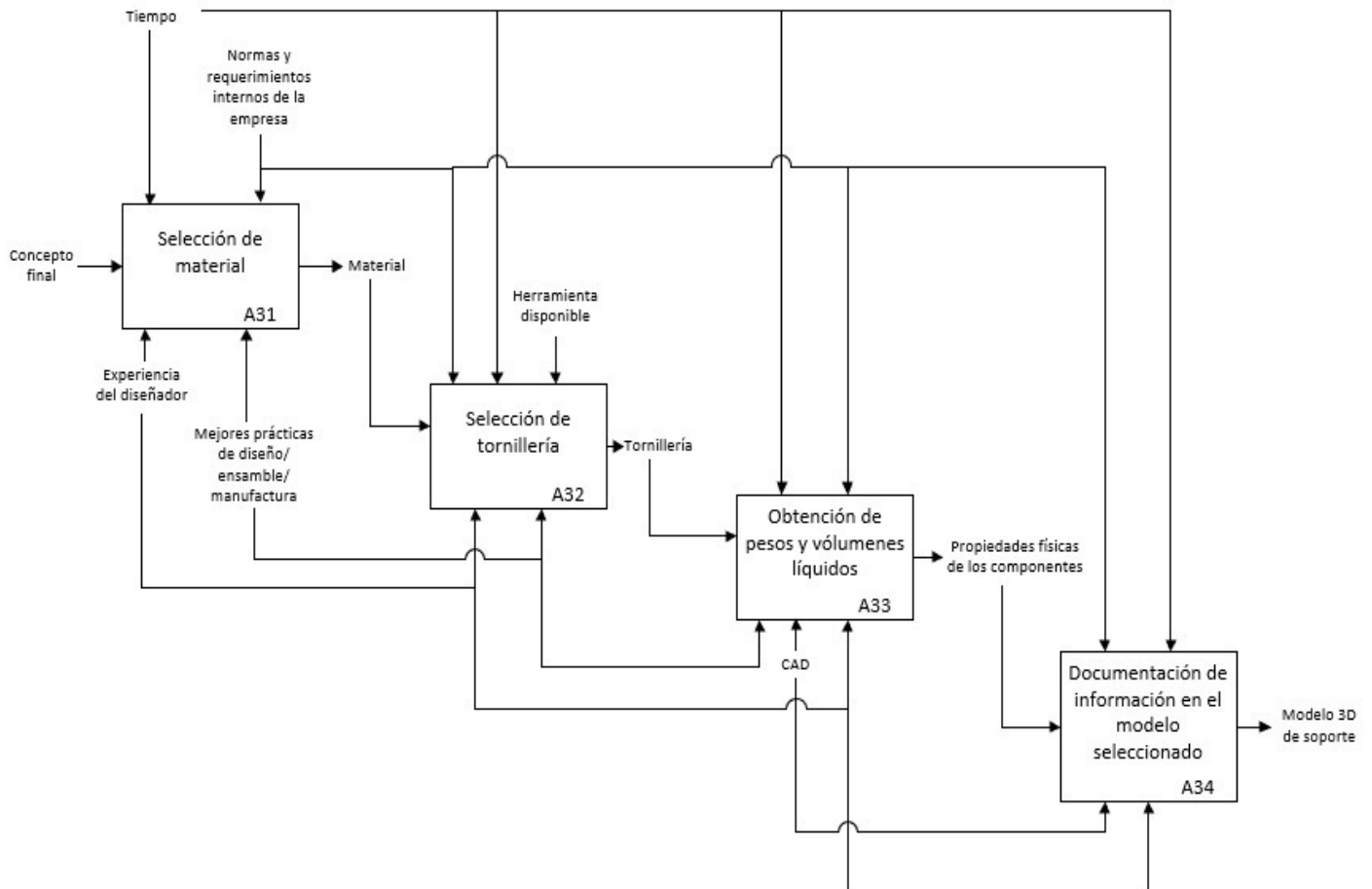


Figura 22. Diagrama IDEF0 en nivel A3. *Diseño de detalle.*

A31. Selección de material

Para dar inicio a la selección de material, revisé un estándar interno de la empresa donde se establecen los requerimientos que debe cubrir la lámina metálica cuando se utiliza en la industria automotriz, el cual se basa en los estándares citados en el Anexo II en el apartado *Desempeño de lámina de acero para aplicaciones automotrices*, Decidí utilizar lámina de acero gracias a las recomendaciones de proveedor.

Es importante obtener las siguientes propiedades del material que seleccioné, así como de los componentes cercanos con los cuales tiene interacción directa, ya que son necesarios para que el equipo Virtual pueda realizar simulaciones, estos datos se muestran en la Tabla 4:

- Módulo de Young [E].
- Densidad [Ton/mm³].
- Relación de Poisson.
- Esfuerzo de cedencia [MPa].
- Esfuerzo último [MPa].

Tabla 4. Propiedades mecánicas de los componentes que interactúan con la propuesta.

| Componente | Módulo de elasticidad [MPa] | Relación de Poisson | Densidad [Ton/mm ³] | Esfuerzo de cedencia [MPa] | Esfuerzo último [MPa] |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Soporte inferior | 195000 | 0.3 | 7.8e-9 | 340 | 410 |
| Soporte para bomba de anticongelante | 195000 | 0.3 | 7.8e-9 | 340 | 410 |
| Mangueras de anticongelante | 50 | 0.49 | 2.3e-9 | --- | --- |
| Aislante de bomba | 1.3 | 0.499 | 1.42e-9 | --- | --- |
| Bomba | 10500 | 0.4 | 1.65e-9 | --- | --- |

A32. Selección de tornillería

Posteriormente, revise un estándar interno de la empresa donde se indica los requerimientos que debe cumplir un tornillo para ser aceptado y en qué condiciones debe operar, el cual se encuentra basado en el conjunto de estándares citados en el Anexo II en el apartado *Tornillería de acero roscada*, para llevar a cabo la selección de tornillería.

De igual manera, fue necesario considerar con qué herramienta cuentan los operadores de planta para la instalación de tornillería, ya que en caso de escoger algún componente que necesite una herramienta espacial, y que no se encuentre a disposición de los operarios, se hubiera generado un costo adicional de herramental.

Una vez revisado el estándar y considerando el punto anterior, revisé que tornillos utilizaban en vehículos diferentes y escogí los que se utilizaron para el modelo vehicular anterior, ya que las exigencias del ensamble eran similares y con esto aseguré que la planta contaba con el herramental necesario para instalar los componentes.

A33. Obtención de pesos y volúmenes líquidos.

Para llevar a cabo las simulaciones computacionales, es necesario obtener otros datos tales como la masa de los componentes sólidos y la masa que los líquidos en las mangueras aportan al ensamble completo.

Para obtener esta información utilicé las herramientas de Nx, con las cuales es posible medir modelos tridimensionales; para la obtención de la masa aportada al sistema, medí el volumen que debía ocupar el anticongelante en las mangueras, utilizando la función de Nx que mencione antes, y fue necesario obtener la densidad del anticongelante del estándar interno de la empresa basado en los estándares citados en el Anexo II en la sección *Propiedades de anticongelante a utilizar*. Estos datos se muestran en la tabla 5.

A34. Documentación de información en el modelo seleccionado.

Para finalizar esta etapa, registré todos los datos que obtuve en las actividades anteriores en un documento que envié al equipo Virtual para que ellos pudieran llevar a cabo las simulaciones necesarias sin atrasos debido a la falta de datos del ensamble final.

De igual forma generé un archivo CAD donde coloqué la propuesta de soporte para bomba, los tornillos seleccionados y los componentes mencionados en la tabla 4 en posición vehicular, mismo que envié al equipo de virtual para que tuvieran el ensamble completo y no hubiera condiciones no consideradas en la simulación debido a la falta de algún componente.

A4. Validación CAE

En esta etapa, el objetivo final fue obtener una confirmación confiable de que el modelo que diseñé cumple con los requerimientos que la empresa establece para este tipo de componente, para lo cual me comuniqué con el departamento de simulaciones virtuales para que se encargaran de las pruebas necesarias.

A continuación, describo brevemente los pasos que el equipo de simulaciones siguió para poder determinar si el riesgo de que el componente propuesto falle es alto o bajo, acabe aclarar que estas simulaciones no garantizan que el componente diseño no presentará ninguna prueba, si no que ayudan a identificar el riesgo de que se presente una falla bajo las condiciones de trabajo a las cuales estará sometida. En la figura 23 muestro las actividades realizadas por el equipo Virtual de manera condensada.

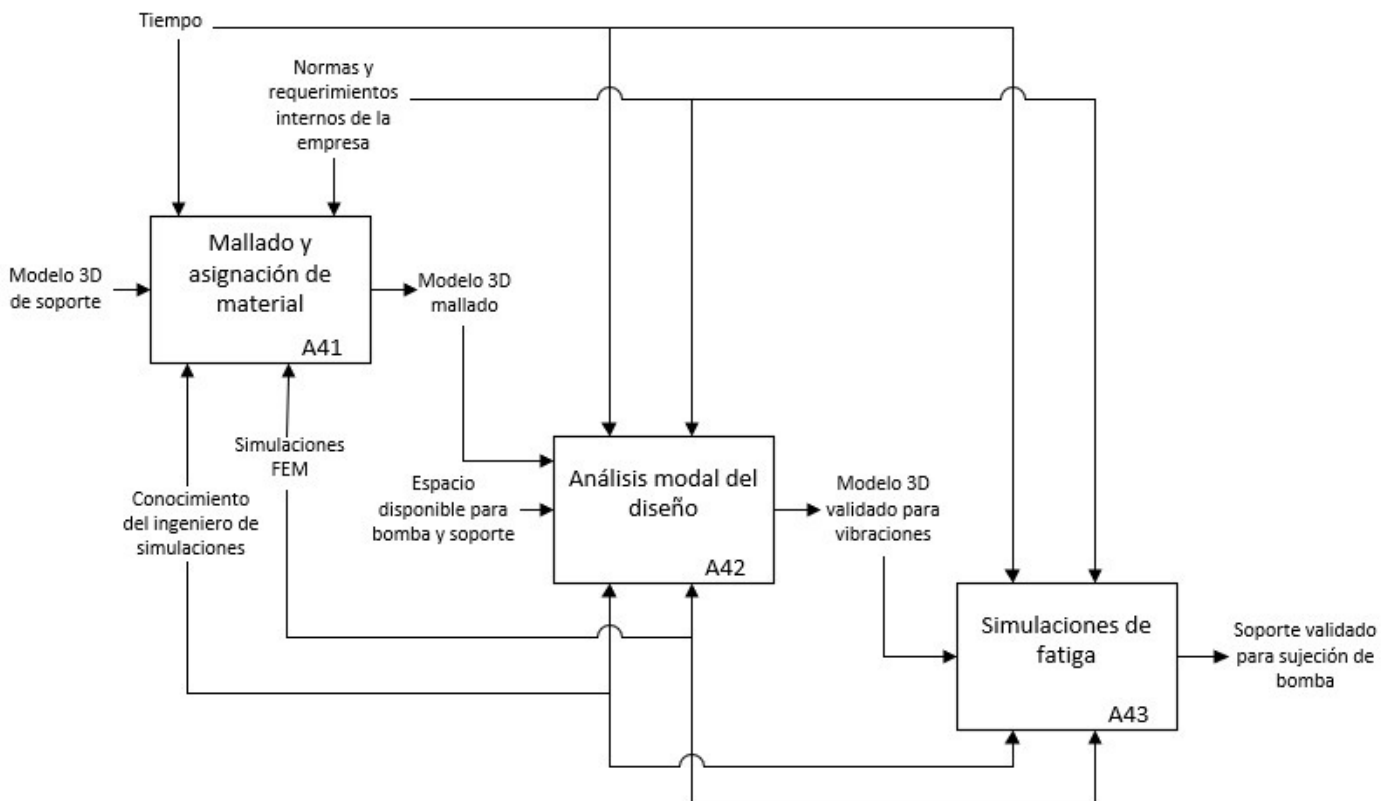


Figura 23. Diagrama IDEF0 en nivel A4. Validación CAE.

A41. Mallado y asignación de material.

En esta actividad, el ingeniero encargado de las simulaciones para el modelo que envié, realizó un análisis visual de la geometría del modelo para escoger el tipo de malla a utilizar, se puede escoger entre dos tipos de mallas: malla 2D y malla 3D. Posteriormente se selecciona el tamaño de elemento, el cual depende de la complejidad de la geometría a analizar y/o de la precisión que se desea obtener.

Para utilizar una malla 2D, la geometría de interés debe presentar secciones transversales constantes, ya que en este tipo de malla primero se realiza una cuadrícula sobre una de las caras del modelo, a la cual se le asigna un volumen posteriormente.

Una malla 3D es recomendada para cuerpos con geometrías que presenten secciones transversales no constantes. Para este tipo de malla, el software utilizado, tiene unos elementos volumétricos ya definidos, como elementos tetraédricos o hexaédricos.

El resultado de esta actividad es una malla adecuada al modelo que envié y para los componentes que se encuentran en contacto directo a él.

A42. Análisis de modos.

Para realizar el análisis modal de la pieza, el ingeniero de simulaciones definió las condiciones de frontera, considerando las uniones y sujeciones reales respecto al chasis y elementos adyacentes, definiéndolas como puntos fijos. En el caso del modelo que propuse, se definieron 6 puntos fijos, mismos que muestro en la figura 24:

- A) Entre la manguera al motor y la manguera inferior.
- B) Sujeciones del soporte inferior al miembro inferior cruzado.

Para asignar el material, el ingeniero de simulaciones registró en el software los datos que previamente le proporcioné para definir las propiedades mecánicas del material de todos los componentes cercanos al modelo propuesto. En este caso son las mangueras, abrazadera, bomba, y miembro cruzado inferior.

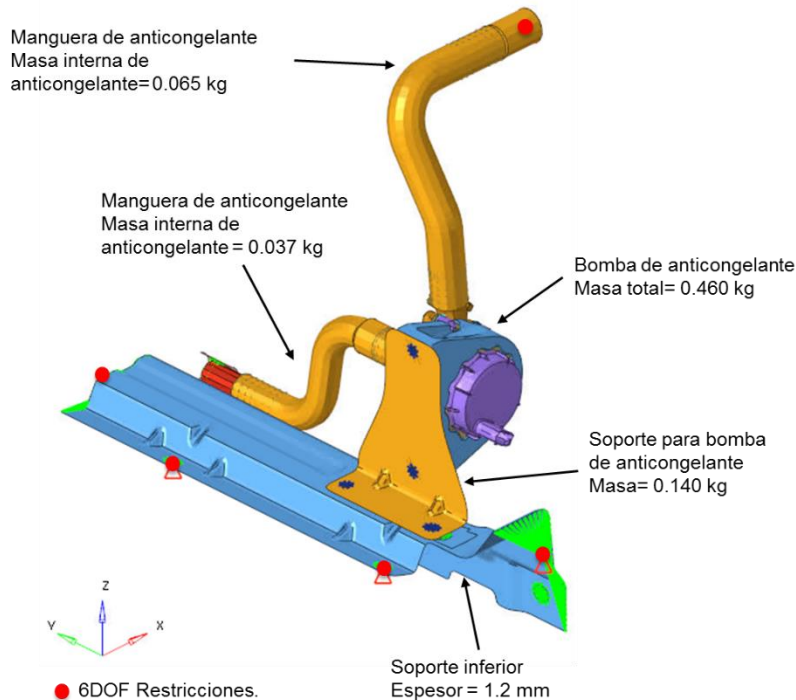


Figura 24. Ubicación de los puntos de frontera y masa de los componentes del ensamblaje.

Para que la propuesta cumpla con los requerimientos de la empresa el primero modo de vibración del soporte debe presentarse a los 30 Hz o después, para el modelo que envié, el primero modo en el ensamble se presenta a los 23 Hz en las mangueras, el segundo modo se presenta a los 30 Hz en el soporte, por lo que se concluye que la propuesta cumple con los estándares de la empresa.

A43. Pruebas de fatiga.

Para llevar a cabo esta simulación, el ingeniero de simulaciones define nuevas condiciones de frontera como puntos de excitación y puntos unitarios. Para la propuesta que envié se definieron 2 puntos de excitación y 4 puntos fijos, los cuales se muestran en la figura 25:

- Los puntos de excitación en cada uno de los extremos libres de la manguera.
- Los puntos fijos en las uniones con el chasis.

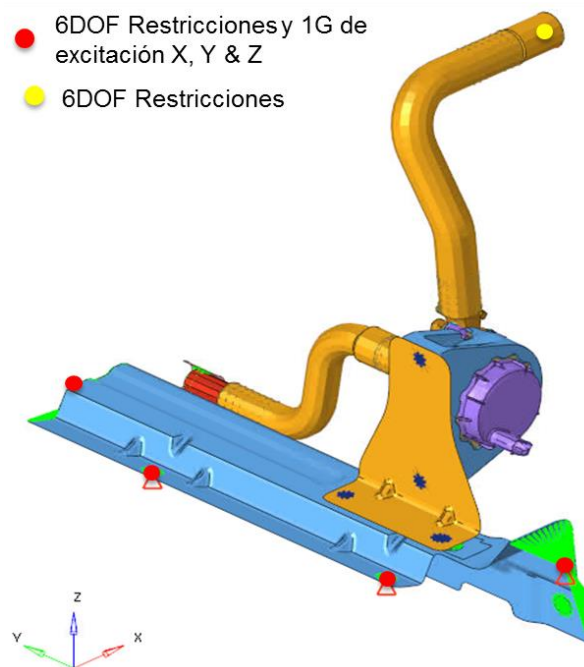


Figura 25. Ubicación de los puntos de frontera para las pruebas de fatiga

Para obtener los resultados de esta prueba, el modelo debe someterse a diferentes ciclos de fatiga que se encuentran establecidos en un estándar que define las frecuencias, condiciones de temperatura y cargas a aplicar en los diferentes componentes de un vehículo, Basado en los estándares citados en el Anexo II en la sección *Parámetros para simulaciones de fatiga*. En este estándar se establece la duración del producto en 5 vidas, la cual se define como el inverso de 0.2 del módulo de Young.

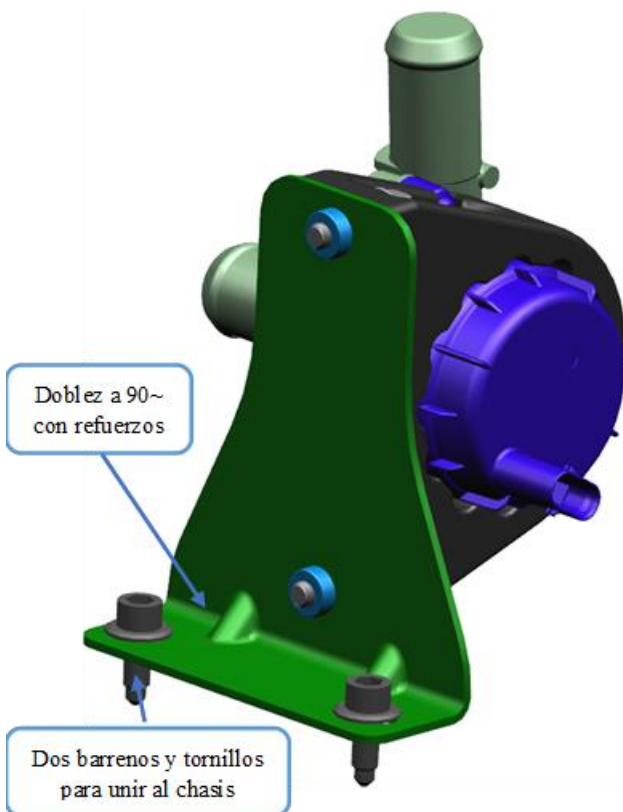
Al final esta simulación, se obtuvo que el máximo esfuerzo presente en el modelo es de $0.98e-6$ MPa, lo cual es equivalente a más de 5000 vidas, por lo que se concluyó que el riesgo de que la propuesta presente fallas es baja ya que cumple con los estándares de durabilidad para este componente.

Capítulo 4. Resultados

El resultado que obtuve al finalizar este estudio, y siguiendo los pasos que redacté con anterioridad, es el modelo tridimensional de un soporte para bomba de anticongelante que fue sometido a simulaciones computacionales utilizando el método por elemento finito y gracias a las cuales puedo asegurar que cumple con los estándares establecidos por la empresa para la cual se realizó el diseño.

En la figura 26 muestro el diseño que seleccioné entre las propuestas que realicé, este modelo tiene las siguientes características:

- Un solo cuerpo sólido para ser fabricado en lámina de acero ya sea por troquelado u otro proceso propuesto por proveedor.
- Un único doblé a 90° respecto a la horizontal, que cuenta con elementos de refuerzo para reducir el momento en la zona de doblé del componente.
- Se espera que presente una masa de 0.140 kg con el material seleccionado.
- Dos barrenos inferiores para asegurar la posición del soporte respecto al chasis con el uso de tornillos hexagonales de acero.



- Utiliza tornillería que ya ha sido utilizada con anterioridad en la planta de ensamble correspondiente para este vehículo, ya cuentan con la herramienta necesaria para la instalación.
- Debido a la geometría del soporte, es sencillo identificar la orientación del componente en el vehículo, por lo que los operarios pueden instalar con facilidad y sin equivocaciones el soporte.
- El ensamble del soporte, bomba y mangueras presentan resonancia con el entorno a los 23 Hz en las mangueras y a los 30 Hz en el soporte para bomba, por lo que el riesgo de que el soporte entre en resonancia con el entorno y esto provoque una falla en él es bajo.
- El componente tiene más de 5 vidas útiles por lo que puede ser utilizado en el vehículo y resistir las cargas de camino a las que se enfrenta el vehículo.

Figura 26. Soporte y bomba de anticongelante.

Capítulo 5.

Conclusiones

- Gracias a la enseñanza de un proceso estructurado en la Facultad de Ingeniería me fue posible realizar con rapidez el proceso de diseño de un componente de manera organizada y rápidamente en el sector industrial.
- Los conocimientos adquiridos durante diferentes clases de material y manufactura me dieron un panorama general amplio sobre algunos procesos de maquinado que tuve que considerar para poder obtener el producto final que presenté en este trabajo.
- La enseñanza de normas y estándares durante mi educación superior es uno de los temas que más relevancia tuvo durante el desarrollo de este trabajo, ya que el uso de ellos en un diseño agrega calidad al producto.
- A pesar de que no realicé las simulaciones de elemento finito, los conocimientos adquiridos en la facultad sobre este método y los conceptos teóricos de fatiga me permitieron comprender el trabajo que realizó el equipo Virtual.
- Pude comprobar que mantener una comunicación continua con otros equipos dentro de la empresa es importante, ya que cada uno de nosotros tiene responsabilidades diferentes para conseguir un fin común.
- Las mejores prácticas que la empresa ha adoptado permiten resolver y prevenir consideraciones tanto para el diseño, manufactura y ensamble de los componentes, que los estándares no consideran por tratarse de cuestiones/situaciones que se presentan instantáneamente y que se basan en la experiencia de ingenieros, técnicos y especialistas de manufactura.
- Durante mi estancia como becaria en la empresa tuve que interactuar con otras personas en el idioma inglés, mismo que, aunque se solicita como requisito de titulación, es poco frecuentado en la Facultad de Ingeniería, por lo que lo considero una gran área de oportunidad.

Bibliografía

- Hernandez. E.M. (2019). 40 años de la industria automotriz mexicana. Recuperado de: <https://vanguardia.com.mx/articulo/40-anos-de-la-industria-automotriz-mexicana>.
- Ruiz, C. (2016). Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México. Recuperado de: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13016.pdf>.
- El universal. Cantera, S. (2018). Sector automotriz se consolida en generar divisas. Recuperado de: <https://www.eluniversal.com.mx/cartera/sector-automotriz-se-consolida-en-generar-divisas>.
- Itsmo. León, M. (2016). Industria automotriz mexicana. Una historia de éxito que debe mirar hacia delante. Recuperado de: <https://www.istmo.mx/2016/09/01/industria-automotriz-mexicana-una-historia-de-exito-que-debe-mirar-hacia-delante/>.
- Vanguardia. Hernández, E. (2019). 40 años de la industria automotriz mexicana. Recuperado de: <https://vanguardia.com.mx/articulo/40-anos-de-la-industria-automotriz-mexicana>.
- Mollenhauer, K. Eitel, J. (2010). Handbook of diesel engines. Alemania. Springer and Bosch.
- Hoag, K. Dondlinger, B. (2015). Vehicle engine design. Estados Unidos. Springer.
- Ulrich, K.T. & Eppinger, S. (2013). Diseño y desarrollo de productos. México. Mc Graw Hill.

Anexos

Anexo I. Glosario de abreviaturas por orden de aparición

GM: *General Motors*.

OEM: *Original Equipment Manufacturer*.

IDEF0: *Integrated DEFinition*.

CAD: *Computer Aided Design*. Diseño Asistido por Computadora.

FEM: *Finite Element Method*. Método de Elemento Finito

FEA: *Finite Element Analysis*. Analisis por Elemento Finito.

CAE: *Computer Aided Engineering*. Ingeniería Asistida por Computadora.

VBOM: *Visual Bill of Materials*. Lista de componentes.

CAM: *Computer Aided Manufacturing*. Manufactura Asistida por Computadora.

EPDM: Etileno Propileno dieno tipo M.

ASTM: *American Society for Testing and Materials*.

SAE: *Society of Automotive Engineers*.

EN: *European Standards*.

DVP&R: *Design Verification Plan & Report*. Plan de verificación de producto.

Anexo II. Estándares citados en este trabajo

Ruteo de líneas y claros entre componentes.

Parámetros internos establecidos por la empresa.

Desempeño de lámina de acero para aplicaciones automotrices.

| NÚMERO DE DOCUMENTO | Título original del documento |
|----------------------------|--|
| ASTM A 370 | Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. |
| ASTM A513M | Standard Specification for Electric-Resistance-Welded Carbon and Alloy Steel Mechanical Tubing. |
| ASTM A 512 | Standard specification for Cold-Drawn Buttweld Carbon Steel Mechanical Tubing. |
| ISO 1460 | Hot Dip Galvanized Coating on Ferrous Materials. |
| ISO 10113 | Metallic Materials – Sheet and Strip – Determination of Plastic Strain Ratio |
| ISO 10275 | Metallic Materials- Sheet and Strip- Determination of Tensile Strain Hardening Exponent. |
| EN 10325 | Steel – Determination of yield strength increase by the effect of heat treatment (Bake- Hardening- Index). |

Propiedades de anticongelante a utilizar.

| NÚMERO DE DOCUMENTO | Título original del documento |
|----------------------------|--|
| ASTM 1122 | Standard Test Method for Density or Relative Density of Engine Coolant Concentrates and Engine Coolants by The Hydrometer. |
| ASTM D1287 | Standard Test Method for pH of Engine Coolants and Antirusts. |
| ASTM D1121 | Standard Test Method for Reserve Alkalinity of Engine Coolants and Antirusts. |
| ASTM D1177 | Standard Test Method for Freezing Point of Aqueous Engine Coolants. |

ASTM D1120 | Standard Test Method for Boiling Point of Engine Coolants.

Tornillería de acero roscada.

| NÚMERO DE DOCUMENTO | Título original del documento |
|----------------------------|---|
| ASTM F606M | Standard Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, and Rivets (Metric) |
| ASTM G44-99 | Standard Practice for Exposure of Metals and Alloys by Alternate Immersion in Neutral 3.5 % Sodium Chloride Solution |
| ISO 898-1 | Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel |
| SAE J121M | Decarburization in Hardened and Tempered Metric Threaded Fasteners |
| SAE J238 | Nut and Conical Spring Washer Assemblies |
| SAE J1199 | Mechanical and Material Requirements for Metric Externally Threaded Steel Fasteners |
| SAE USCAR-8 | Grain Flow Pattern for Bolts and Screws |

Parámetros para simulaciones de fatiga

Parámetros internos establecidos por la empresa.

Anexo III. Lista de figuras

1. Figura 1. Ubicación en México de plantas de ensamble automotriz: Ruiz, C. (2016). *Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México*. Recuperado de: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13016.pdf>
2. Figura 2. Estructura externa de un radiador: <https://grabcad.com/library/radiator-61>
3. Figura 3. Ventilador automotriz: <https://grabcad.com/library/radiator-fan-cover-1>
4. Figura 4. Termostato de funcionamiento mecánico: <https://grabcad.com/library/thermostat-switch-1>
5. Figura 5. Vista transversal de un motor donde se muestra la camisa de enfriamiento: <https://www.pruebaderuta.com/las-camisas-y-cilindros-del-motor.php>
6. Figura 6. Botella de anticongelante: <https://grabcad.com/library/yamaha-trx-850-coolant-reservoir>
7. Figura 7. Vista lateral (izquierda) y corte transversal (derecha) de una bomba de aire: <https://grabcad.com/library/airbus-water-pump-2>
8. Figura 8. Manguera de EPDM: <https://grabcad.com/library/flexible-rubber-hose>
9. Figura 9. a) Conector rápido: <https://grabcad.com/library/fitting-quick-connector-3-4-inch>
b) Abrazaderas: <https://grabcad.com/library/hose-clamps-assortment-1>
10. Figura 10. Válvula de alivio: <https://grabcad.com/library/dpr-6-polyhydron-relief-valve-1>