



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Procesamiento de modelos
de elemento finito para
análisis de ruido y vibración**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Enrique Reyes Flores

ASESOR DE INFORME

Dr. Álvaro Ayala Ruiz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Índice general

Capítulo 1 *Ford Motor Company*

1.1 Historia.....	2
1.2 Misión.....	4
1.3 Visión.....	4
1.4 Valores.....	4
1.5 Principios.....	4
1.6 Filosofía <i>One Ford</i>	5
1.7 Organigrama.....	5
1.8 Descripción del puesto de <i>Trainee</i> de desarrollo del producto.....	7
1.8.1 Descripción general y perfil del empleado	7
1.8.2 <i>Vehicle Engineering / NVH CAE Trainee</i>	7
1.8.3 Responsabilidades.....	7

Capítulo 2 Descripción de la herramienta de análisis.....8

2.1 Análisis de vibración libre.....	10
--------------------------------------	----

Capítulo 3 Caso de estudio.....12

Resultados	22
-------------------------	----

Conclusiones	23
---------------------------	----

Bibliografía	24
---------------------------	----

Capítulo 1

Ford Motor Company

Es una de las empresas manufactureras más importantes del mundo, tanto en capital, como en personal y capacidad productiva. Fue fundada el 16 de junio de 1903 por once inversores, siendo Henry Ford uno de ellos.

El primer modelo lanzado por la compañía fue el Modelo T (figura 1). Modelo con el cual se introdujo la producción en cadena y la popularización de la adquisición de los automóviles. El modelo era característico por ser de bajo costo y cómodo. Todo esto se logró gracias a la política de producción de Henry Ford: la cadena de montaje.



Fig1. Ford Modelo T de 1903[1]

Actualmente *Ford Motor Company* tiene presencia en los 5 continentes, operando con 12 plantas de transmisiones, 35 plantas de ensamble, 5 plantas de fundición y forjado, 5 plantas de estampado y 21 plantas de motores (figura 2).

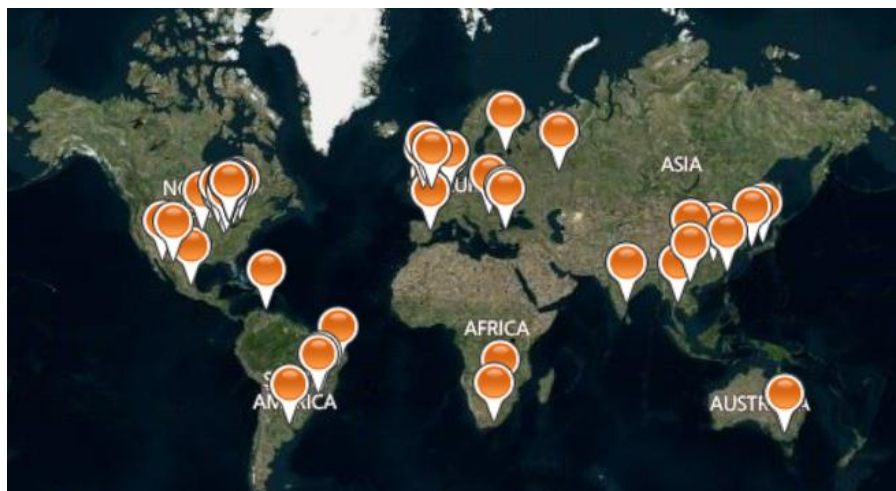


Fig2. Presencia de Ford Motor Company alrededor del mundo. [1]

Ford de México

La historia de Ford en México empieza el 23 de junio de 1925, consolidándose como la primera empresa automotriz en el país. En el año de 1930 se inicia la construcción de la primera armadora en el país. En ese entonces en México se contaba con una oficina y una planta de montaje con una capacidad productiva de 25 unidades por día., ambas ubicadas en la ciudad de México [1].

En la década de los años 60, Ford construyó una planta en Cuatitlán. Dicha planta en un principio estaba destinada para la construcción de motores, sin embargo, al final se tomó la decisión de que sólo iba a ser destinada para la construcción de camiones. En 1975, en la planta de Cuatitlán, se construyó el modelo Ford Galaxy, siendo este la unidad número 725 000 [1].

Para 1983 se inaugura la planta se produce el primer motor en dicha planta. Tres años más tarde, con una inversión de 6500 millones de pesos, Ford inicia la construcción de la planta de ensamble en Hermosillo, Sonora [1].

Para la década de los años 90, se inicia en México la comercialización de modelos Lincoln, siendo los modelos *Contour* y *Mystique* los primeros automóviles producidos por Ford en el país [1].

En el año 2010 Ford reinaugura la planta de Cuatitlán, con el fin de iniciar la producción del modelo Fiesta, siendo vigente hasta estos días dicha producción.

Actualmente Ford cuenta con 4 armadoras y un corporativo en el país.

- CSAP (*Cuatitlan Stamping and Assembly Plant*): unidad en la cual se produce el Ford Fiesta.
- HSAP (*Hermosillo Stamping and Assembly Plant*): unidad donde se producen los modelos Ford Fusión y Lincoln MKZ, así como sus versiones híbridas.
- CHEP (*Chihuahua Engine Plant*): unidad donde se produce el motor *Diesel Power Stroke 6.7L V8* y el Diesel 4.4.
- Irapuato *Transmission Plant*: en construcción.
- Corporativo Ford de México: oficinas centrales ubicadas en Guillermo González Camarena 1500.

En este año Ford anunció que invertirá la cantidad de 1600 millones de dólares en una nueva planta en San Luis Potosí. La construcción inicia en el verano del 2017 para que en 2018 entre en producción.

1.2 Misión

Mejorar continuamente nuestros productos y servicios a fin de satisfacer las necesidades de nuestros clientes, lo que nos permite prosperar como negocio y proporcionar utilidades razonables a nuestros accionistas quienes son propietarios de nuestro negocio [2].

1.3 Visión

"Una buena compañía ofrece excelentes productos y servicios, una gran empresa, además, se preocupa por hacer nuestro mundo un mejor lugar donde vivir". William Clay Ford JR [2].

1.4 Valores

La manera como cumplimos nuestra misión es tan importante como la misión misma. Los siguientes valores básicos son fundamentales para el éxito de la Compañía.

- Gente - Nuestra gente es la fuente de nuestra fuerza. Ellos proporcionan nuestra inteligencia corporativa y determinan nuestra reputación y vitalidad. El involucramiento y el trabajo en equipo son la esencia de nuestros valores humanos.
- Productos - Nuestros productos son el resultado final de nuestros esfuerzos, y deben ser los mejores para servir a nuestros clientes en todo el mundo. Así como nuestros productos son vistos, así somos vistos nosotros.
- Utilidades - Las utilidades son la medida final de cuán eficientes somos al proveer a nuestros clientes con los mejores productos para satisfacer sus necesidades. Las utilidades son necesarias para sobrevivir y crecer.
- Los concesionarios y los proveedores son nuestros socios - La compañía debe mantener relaciones de mutuo beneficio con distribuidores, proveedores y con nuestros demás asociados comerciales.
- La integridad nunca es comprometida - La conducta de nuestra compañía alrededor del mundo debe seguirse de una manera que sea socialmente responsable, requiriendo respeto por su integridad y por sus contribuciones positivas a la sociedad. Nuestras puertas están abiertas para hombres y mujeres de la misma manera sin discriminación y sin considerar origen étnico o creencias personales [2].

1.5 Principios

- La calidad es lo primero - Para lograr la satisfacción de nuestros clientes, la calidad de nuestros productos y servicios debe ser nuestra prioridad número uno.
- Los clientes son el centro de todo lo que hacemos - Nuestro trabajo debe estar hecho pensando en nuestros clientes, proporcionando mejores productos y servicios que nuestra competencia.
- El mejoramiento continuo es esencial para nuestro éxito - Debemos esforzarnos por la excelencia en todo lo que hacemos: en nuestros productos, en su seguridad y valor, y en nuestros servicios, nuestras relaciones humanas, nuestra competitividad y nuestra rentabilidad.
- El involucramiento del personal es nuestra forma de vida - Somos un equipo. Debemos tratarnos unos a otros con confianza y respeto [2].

1.6 Filosofía One Ford

La filosofía de la empresa se basa en tres principales conceptos propuestos por Alan Mulally, ex CEO de *Ford Motor Company*, dichos principios son:

- *One Team* (un equipo).
- *One Plan* (un plan)
- *One Goal* (una meta)

1.7 Organigrama

En la figura.3 se muestra parte del organigrama de Ford de México, siendo desarrollo del producto el que se desplegó con mayor detalle debido a que es el área en la cual laboro. Como se puede ver existen diferentes áreas dentro de Ford México que desarrollan diferentes funciones.

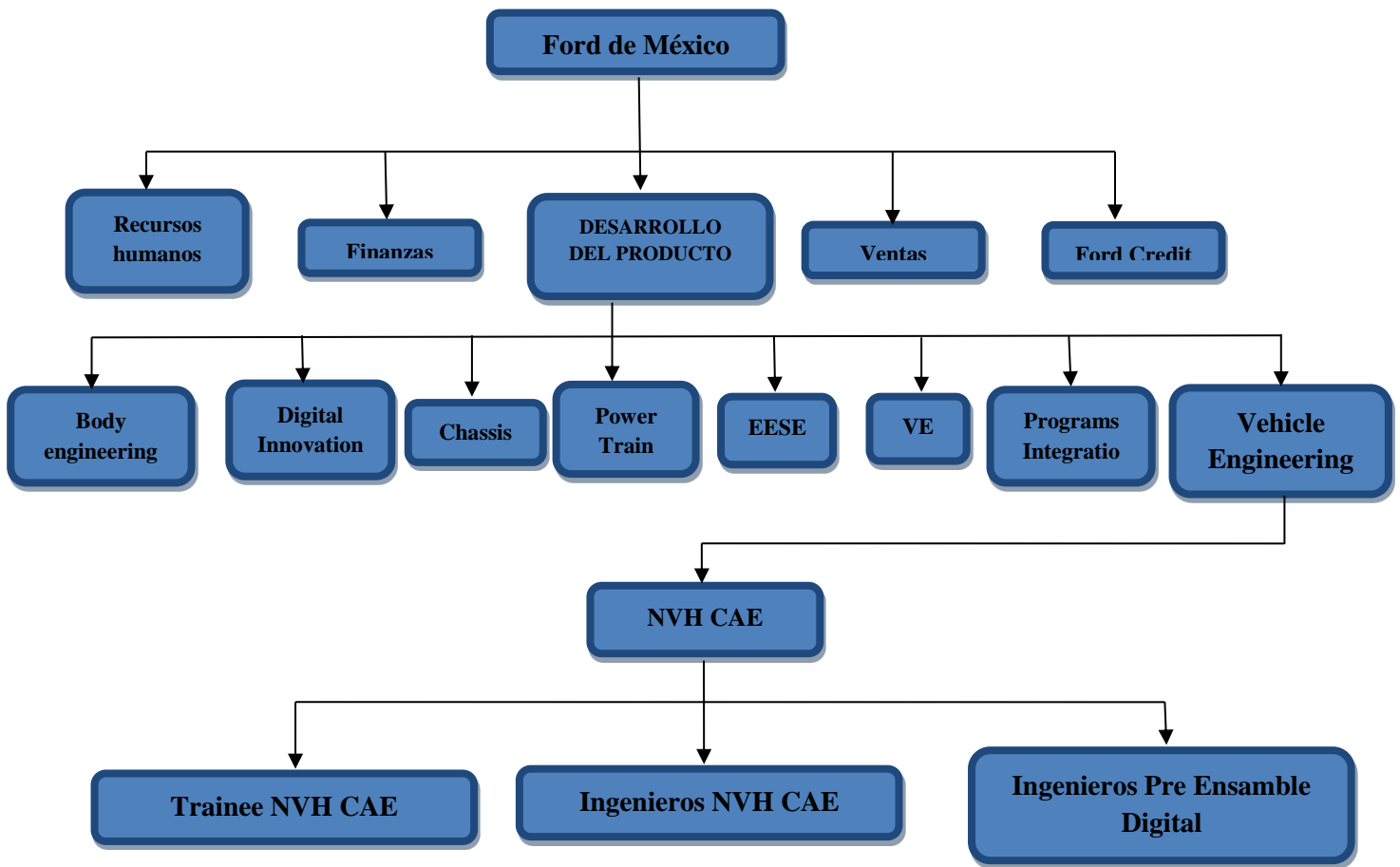


Figura 3 Organigrama Ford México

Del área de desarrollo del producto dependen diversas áreas primordiales, tales como:

- *Body engineering* (interior): encargada de desarrollar sistemas de interiores con el fin de mejorar la experiencia del cliente a través de diversos componentes tales como, volante, consola central, cinturones de seguridad y asientos
- *Body engineering* (exterior): es un área encargada de desarrollar e integrar sistemas de carrocería externa, con el fin de superar las expectativas del cliente. Entre estos sistemas de carrocería se puede mencionar la estructura y pilares del auto, faros, emblemas, fascias y limpiadores.
- *Digital Innovation*: ingeniería de detalle de modelos en 2 y 3 dimensiones de componentes del auto. Abarca desde el diseño conceptual y forma del producto al diseño de procesos de manufactura del mismo.
- *Chassis*: busca mejorar la calidad y reducir costos en componentes de seguridad del vehículo, tales como sistema de suspensión, frenos y dirección.
- *Power train*: Desarrolla, mejora y crea ventajas competitivas de nuestros los productos de la compañía a través del motor y sus componentes, con el fin de mejorar la experiencia del cliente.
- *EESE (Electric electronic systems engineering)*: Encargada de proveer al cliente una satisfacción en su experiencia con las partes eléctricas del vehículo, tales como tablero, medidores, sistemas inteligentes, por emcnionar algunos.
- *VEV (Vehicle evaluation and verifcaction)*: Evalúa los productos desarrollados por medio de pruebas físicas y virtuales, dentro de las cuales están las que se realizan en pista así como pruebas con *dummys*.
- *Programs Integration*: también conocida como *Program and engineering services*, es el área encargada de coordinar la planeación de recursos del área de Desarrollo del producto para todos los programas nuevos. Dirige la implementación de sistemas de diseño.
- *CAE*: se enfoca en la validación virtual del producto. Tiene el fin de ahorrar tiempo y dinero a la hora de manufacturar un producto, debido a que se pueden detectar fallas en él en una etapa muy temprana del proceso de diseño. También busca oportunidades de ahorro de costo en materiales y geometría del diseño.

Vehicle Engineering es el área encargada de análisis de ingeniería del vehículo, así como el desarrollo de atributos. También es responsable del desarrollo de prototipos de vehículos, incluyendo las pruebas de evaluación objetiva y subjetiva. Todo esto traduciéndose en tendencias competitivas y expectativas del cliente en el desempeño del vehículo.

NVH CAE es el área encargada de controlar sistemas del vehículo, tales como tren motriz, carrocería, chasis, entre otros componentes, a través del análisis estructural.

1.8 Descripción del puesto de *Trainee* de desarrollo del producto

1.8.1 Descripción general y perfil del empleado

El perfil que debe cubrir el aspirante a dicho puesto es:

- Formación académica: Ingenierías Eléctrica, Electrónica, Mecánica, Mecatrónica o Aeronáutica.
- Experiencia laboral: no requerida.
- Software: CATIA, ANSYS, NX, ABACUS, HyperMesh, ANSA, NASTRAN, Matlab, RADIOSS, *HyperWorks*.
- Excelencia funcional y técnica: conocer a detalle de la industria Automotriz, para estar alineado a las estrategias de la organización.
- Trabajo en equipo: compartir cargas de trabajo para lograr un mejor resultado en menos tiempo, fomentando el compañerismo.
- *One Ford*: tomar buenas decisiones en situaciones imprevistas, siempre dar servicio al cliente con buena actitud.
- Orientación a resultados: actuar con velocidad y sentido de urgencia para resolver alguna situación imprevista o problemática.

1.8.2 *Vehicle Engineering / NVH CAE Trainee*

Dentro de las responsabilidades están:

- Seguir el entrenamiento diseñado por el equipo de NVH CAE, con una duración aproximada de un mes o un mes y medio.
- Una vez terminado el entrenamiento de NVH CAE, colaborar en los distintos programas (modelos) que se tienen dentro del área.
- Procesamiento de modelos CAE.
- Colaborar con otras actividades del área.

1.8.3 Responsabilidades

- Recibir los cursos básicos sobre NVH.
- Seguir entrenamiento NVH CAE
 - Aprender a usar software CAE para fines de NVH (mallado en 2D y 3D, cavidades acústicas).
 - Comprender el lenguaje de NASTRAN, solución 103.
 - Ejecutar análisis modal de los componentes que se requieran.
- Colaborar con el equipo de ingenieros de NVH en los programas de Ford Europa y Ford Norteamérica.
- Aprender a usar el software de administración de datos del producto (*Teamcenter*), con el fin de apoyar en las tareas de CAE y Pre-ensamble digital.
- Aprender e investigar con los recursos que cuenta la empresa, nuevas técnicas o análisis que requiera el equipo de NVH CAE.

Capítulo 2 Descripción de la herramienta de análisis

A los modelos de elemento finito que llegan al área de NVH CAE hay que procesarlos con el fin de ejecutar un análisis modal, dicho análisis tiene como objetivo calcular las frecuencias naturales y los diferentes modos de vibrar que tiene la estructura del cuerpo del vehículo durante vibración libre. Para realizar este análisis modal es necesario el uso de herramientas del método de elemento finito (FEA, por sus siglas en inglés).

Es necesario el uso de software de CAE, tales como Altair Hypermesh, Hyperview, ANSA, SFE Akusmode y MSC Nastran.

Software para análisis de elemento finito

Es un software de elemento finito que se utiliza actualmente y fue originalmente desarrollado por la NASA en la década de los años 60. Es usado en el campo de ingeniería para realizar análisis estático, dinámico y térmico a través de los dominios lineales y no lineales, complementado con la optimización estructural, análisis de fatiga.

Los ingenieros usan este software con el fin de asegurarse que los sistemas estructurales tienen la resistencia, rigidez y durabilidad necesarias para evitar la falla (exceso de esfuerzo, resonancia, pandeo o deformaciones) que puede comprometer la funcionalidad y seguridad del sistema que se está analizando. También es usado con el fin de mejorar la economía de los diseños estructurales, así como el confort que proporcionan al usuario.

Las diferentes áreas de CAE que existen en la empresa, aprovechan el enfoque multidisciplinario en varios puntos del proceso del desarrollo del producto, tales como:

- Prototipado virtual en el proceso de diseño, lo cual se puede traducir al ahorro de costos asociado con los prototipos físicos.
- Solucionar los problemas estructurales que se pueden producir durante la operación del producto, con lo que se puede ahorrar dinero y tiempo.
- Optimizar el rendimiento de los diseños ya existentes, lo que lleva a ventajas competitivas en la industria.

Dentro del área de CAE de la empresa, las ventajas que ofrece el software son:

➤ *Análisis estructural multidisciplinario*

Las soluciones analíticas estructurales están dedicadas a una o pocas áreas de análisis. Para desarrollar un nivel global de capacidad de análisis ingenieril, se deben adquirir múltiples soluciones de software y por ello los usuarios deben ser capacitados por cada nueva herramienta. El software ofrece diferentes áreas de análisis, lo cual permite a los clientes una solución de análisis estructural para una amplia gama de problemas de ingeniería.



Figura 4. Modelo de elemento finito de una estructura

➤ *Modelo de ensamble estructural.*

No siempre se analiza de manera independiente un miembro de la parte de una estructura. Los sistemas estructurales consisten de numerosos componentes y deben ser analizados como uno solo. Tal y como sucede en los componentes de un automóvil debido a la cantidad de componentes que lo conforman. El software cuenta con diferentes métodos para unir varios componentes para realizar el análisis estructural a nivel sistema.

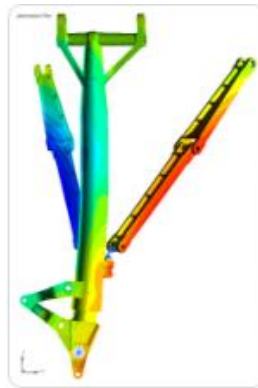


Figura 5. Análisis de elemento finito de un ensamble

➤ *Optimización estructural automatizada*

La optimización de diseño es un elemento importante en el desarrollo de productos, sin embargo, esta parte suele ser muy iterativa. Se cuenta con algoritmos de optimización que buscan de manera automática las configuraciones óptimas en un espacio de diseño permitido.



Figura 6. Ejemplo de optimización. A la izquierda se muestra el diseño antes de optimizar y a la derecha después de la optimización.

Para realizar el análisis modal de las piezas o estructuras de ensamble que se procesan dentro del área, se hace a través de la solución de modos normales. Dicha solución tiene como fin, calcular las frecuencias naturales de la estructura o componente que se está procesando. Se hace uso de esta solución debido a que muchos componentes del vehículo se modelan como cuerpos flexibles y al modelarlos como tal, es necesario el uso de la solución 103 para calcular las frecuencias naturales.

2.1 Análisis de vibración libre

Los modelos que me entregan son modelos de elemento finito que ya están mallados, en el caso del cuerpo de un vehículo, el ensamble contiene asientos, panel de instrumentos, carrocería interna, carrocería externa, chasis y *subframes*. Dichos modelos de malla son los que envían los departamentos de CAE y son los que tengo procesar para la solución de modos normales y que sirven para los análisis que se hacen dentro del área de NVH CAE. No solo se trata del cuerpo del vehículo, también hay que procesar otros componentes como la unidad de tren motriz o componentes suspensión.

Normalmente el primer paso para realizar un análisis dinámico es determinar las frecuencias naturales y los modos de vibración de la estructura. Lo que da como resultado el comportamiento dinámico de la estructura e indica cómo se comportará la estructura a una carga dinámica.

Frecuencias Naturales

Las frecuencias naturales de una estructura son las frecuencias a las cuales la estructura tiene a vibrar si es sometida a una perturbación. Otros nombres con los que se les conoce a las frecuencias naturales son: frecuencia característica, frecuencia de resonancia y frecuencia normal [3].

Modos de vibrar

La deformación de la estructura a una específica frecuencia natural de vibración es llamada modo normal de vibración. Cada modo de vibración está asociado con una frecuencia natural específica [3].

Las frecuencias naturales y los modos de vibrar son función de las propiedades de la estructura y las condiciones de frontera. Un ejemplo que se puede usar para ver esto es el de una viga en voladizo, dicha barra tiene un cierto número de frecuencias naturales, así como modos de vibrar asociados. Si las propiedades de la estructura cambian, entonces las frecuencias naturales cambiarán, pero los modos de vibrar no necesariamente tendrán que cambiar. Ahora, si la viga se fija por los extremos, las frecuencias naturales y los modos de vibrar cambiarán [3].

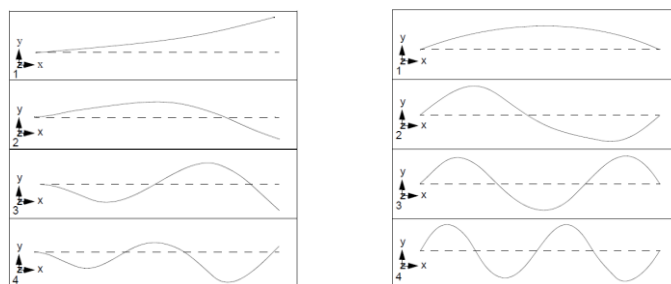


Figura 7. Primeros cuatro modos de vibrar de una viga en voladizo (izquierda) y una viga soportada de los extremos (derecha).

Los modelos y piezas de elemento finito que hay que procesar, son a los que se les hace análisis de modos normales, esto a través del análisis de elemento finito e ingeniería asistida por computadora.

La razón por la cual hay que realizar esto es para evaluar la interacción dinámica entre componentes. Un ejemplo claro sobre este análisis dinámico se puede ver en una máquina rotatoria, como un ventilador, si dicho ventilador va a ser instalado en la estructura del edificio es necesario determinar si la frecuencia de operación del ventilador es cercana a las frecuencias naturales de la estructura del edificio. Si las frecuencias son cercanas, la operación de dicho ventilador hará que se dañe o que falle la estructura del edificio.

Los resultados de los análisis dinámicos, en su mayoría, son comparados con los resultados de pruebas físicas.

Capítulo 3 Caso de estudio

Como se puede ver en la figura 8, el trabajo inicia con una orden de trabajo, esto es cuando llegan nuevos componentes a los cuales hay que procesar para después introducirlos en un software, tales componentes pueden ser desde piezas del sistema de suspensión, tren motriz, escape hasta el cuerpo completo del auto (carrocería, asientos, puertas vidrios, etc). Existen diferentes configuraciones para cada modelo y cada uno con sus subsistemas (tren motriz y suspensión), por lo cual aumenta la cantidad de análisis por hacer y carga de trabajo. Es por ello que se requiere colaborar con los ingenieros de NVH, quienes son los que notifican que hay que hacer el procesamiento de dichas piezas para resolver el análisis.

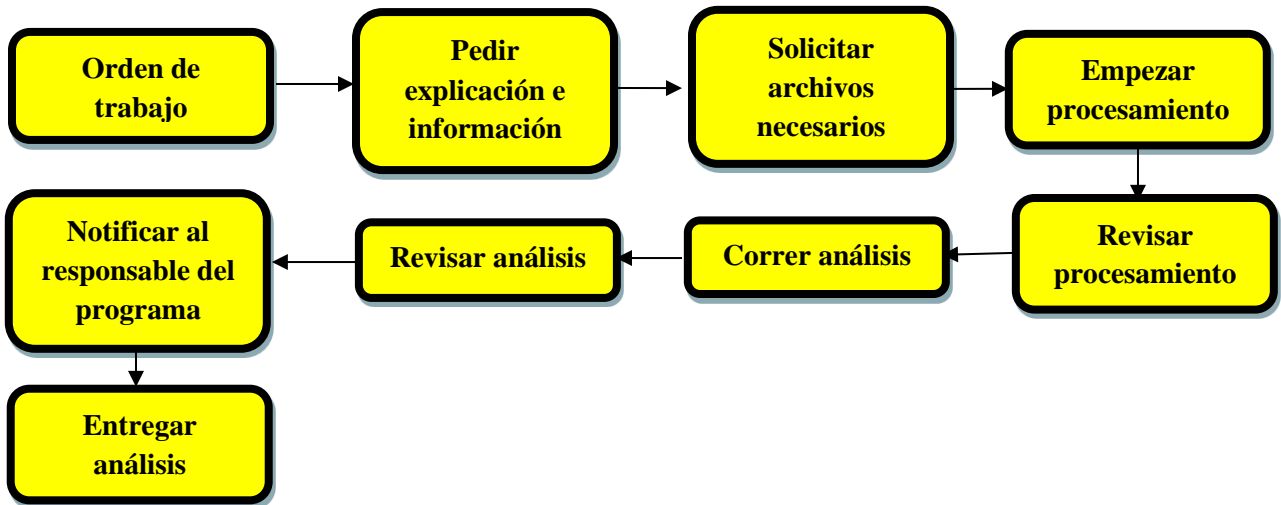


Figura 8. Diagrama de procedimiento

3.1 Explicación e información

Una vez que me es notificado que han llegado nuevos componentes, el siguiente proceso es pedirle al Ingeniero de NVH cuál es el componente por procesar. Para iniciar el caso de estudio hablaré del cuerpo del auto (*Trimmed body*), dicho modelo contiene asientos, tanque de combustible, puertas, panel de instrumentos, vidrios, paneles internos y externos, chasis, carrocería interna y carrocería externa.

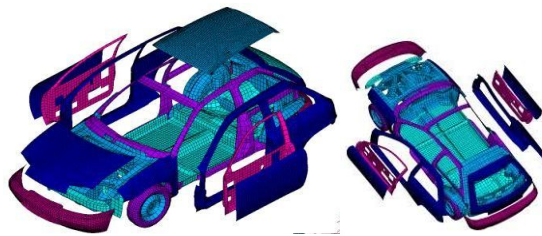


Figura 9. Ejemplo de un modelo de CAE del cuerpo de un carro.

El procesamiento del trabajo que se me solicita consta de tres partes principales, la realización de la cavidad acústica que sirve para pedir respuesta en puntos de referencia y el procesamiento del cuerpo del carro que consiste en mover, reemplazar o crear puntos que sirven de conexión con otros sistemas y ejecutar el análisis de vibración libre.

3.2 Solicitar archivos necesarios

Los archivos o modelos a procesar se guardan en carpetas compartidas, por lo que tengo que pedirle al ingeniero de NVH cuál es el nombre del programa que debo procesar, así como su ubicación la carpeta de archivos compartidos. Una vez que me notifica de dónde puedo seleccionar los archivos, los paso a mi computadora para empezar con el procesamiento.

3.3 Empezar procesamiento

El siguiente paso que realizo es abrir el archivo en *Hypermesh* y empezar el procesamiento del cuerpo del vehículo. Lo primero que debo hacer es una cavidad acústica, lo cual consiste en un modelo acústico del vehículo, dicho modelo es utilizado para conocer respuesta acústica en una futura etapa del análisis.

Para la realizar dicha cavidad necesito ocultar diferentes componentes del ensamble del vehículo, tales como estructuras de la parte frontal y trasera del auto, paneles de las puertas, etc.

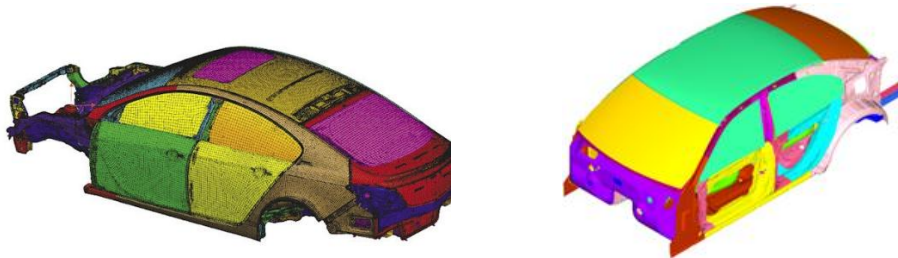


Figura 10. Modelo completo del vehículo (izquierda), modelo para cavidad acústica (derecho).

Realizado el procedimiento anterior llego a un modelo para cavidad acústica, el cual se debe exportar a otro software en donde se mallará el espacio con elementos 3D con criterios adecuados de malla, con este modelo de malla se obtiene un modelo 2D (cascarón). Este modelo 2D servirá como base para crear otra malla 3D, la cual contemplará la cavidad de los asientos y el acoplamiento.



Figura 11. Cavidad acústica para el cuerpo completo de un vehículo.

Paralelo a esto también necesito hacer la cavidad acústica que corresponde a la cajuela del auto, se hacen por separado para después acoplar las dos cavidades (principal y cajuela) y asientos.

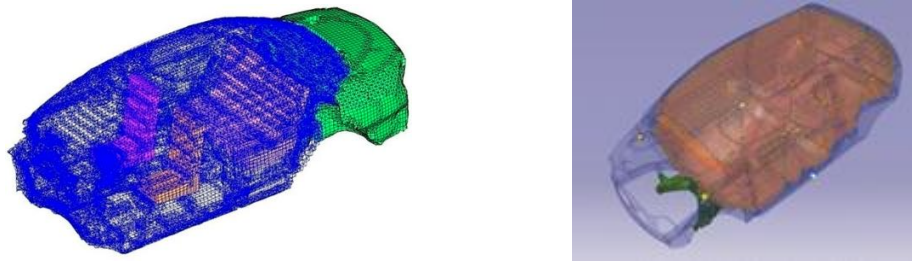


Figura 12. Cavity principal y cajuela (izquierda) cavity completa (derecha)

También existen cavidades acústicas para las puertas (figura 13), sin embargo, no es muy común que se estudien debido a que esto se realiza para otro tipo de análisis que consiste en la calidad de sonido que emite la puerta al cerrarse.

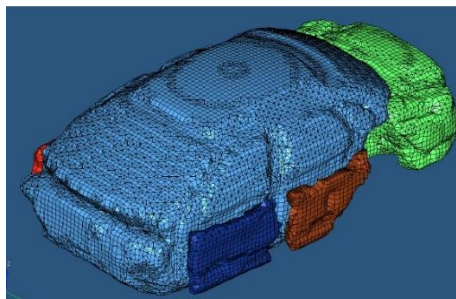


Figura 13. Cavity acústica principal, cajuela y puertas.

Por último, debo poner y nombrar puntos de referencia, pues en un futuro análisis se pedirá respuesta acústica. Estos puntos van ubicados aproximadamente a la altura de los oídos de los ocupantes del vehículo.

Lo que tengo al final de este proceso es un modelo de cavity acústica, el cual está listo para mandar a resolver la solución de modos normales, esto se hace de manera remota.

Los archivos necesarios para mandar a resolver son la cavity y un archivo de texto. Este archivo de texto contiene los parámetros necesarios tales como el tipo de solución que se va a hacer, frecuencia a la cual se va a resolver, así como algunas tolerancias geométricas de malla.

Si el modelo es correcto y el archivo de texto también, el software lo debe resolver sin problema alguno. Una vez que tengo la solución, reviso los archivos para ver que ha corrido bien. Los resultados se visualizan en *Hyperview* (figura 14).

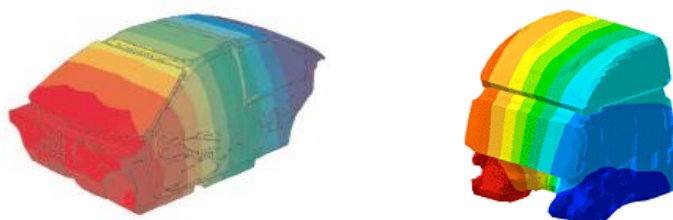


Figura.14 Ejemplo de visualización en Hyperview.

Visualizo los resultados y verifico que los modos de vibrar sean correctos. (modo rígido, lateral, longitudinal y flexibles) así como la forma de desplazarse y un rango de frecuencia asociado. Esto de acuerdo a criterios adecuados que se tienen para las cavidades acústicas. Los rangos de frecuencia asociados varían dependiendo del tamaño de la cavidad, que depende del tipo de vehículo.

Al terminar, proceso el modelo del cuerpo del vehículo, dicho modelo consiste en toda la estructura del vehículo, incluyendo consola de instrumentos, asientos y vidrios, principalmente. La unidad de tren motriz se procesa por separado.

El modelo a procesar debe ser el mismo con el cual se hizo la cavidad acústica, debido a que los archivos arrojados por la solución de la cavidad serán ocupados en un futuro análisis que involucra el ensamble de todo el vehículo.

Procesar un modelo consiste en verificar y agregar puntos que sirven de conexión con otras partes del vehículo como el motor, transmisión, diferencial trasero y delantero, suspensión y sistema de escape. Estos puntos tienen un nombre y coordenada específicos de acuerdo a procedimientos internos que se tienen. También existen puntos que sirven de lectura, estos puntos también tienen un nombre y coordenada asignados, sin embargo, no son tan estrictos como los de conexión.

Los puntos de conexión son importantes debido a que deben tener misma coordenada y mismo nombre, se usará como ejemplo la figura 15.

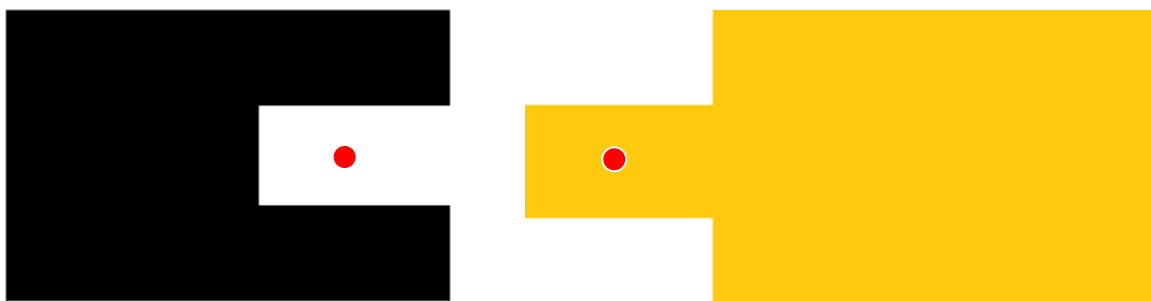


Figura 15. Sistema A (izquierda) sistema B (derecha).

Suponiendo que la figura del lado izquierdo es el sistema A y la figura del lado derecho es el sistema B, el punto en rojo en ambas figuras sería el punto de conexión, el cual deberá tener la misma coordenada y nombre en los dos sistemas. Esto se hace debido a que después de procesar las piezas o modelos serán introducidos a otro software donde se hará todo el ensamble del vehículo para su posterior análisis.

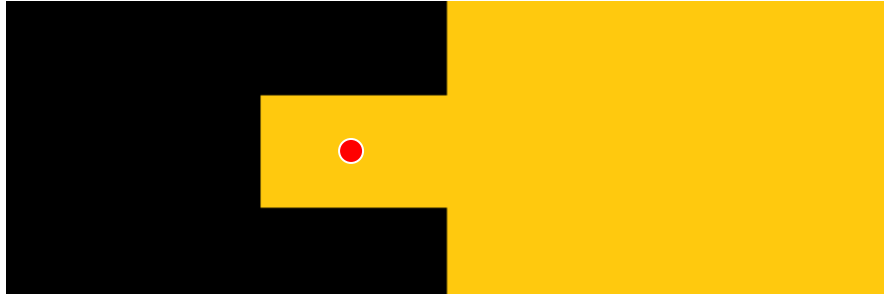


Figura 16. Sistema A y sistema B ensamblados.

Para hacer esto a los modelos a procesar abro el archivo de Nastran en *Hypermesh*, abierto el modelo se verifica que los puntos existentes tengan las coordenadas y nombres correctos, si faltan puntos por hacer se tendrán que crear. Los puntos deben estar fijos a elementos rígidos (RBE2) o a malla, los puntos no pueden quedar sin agarrarse a nada debido a que se pierden al hacer otro procedimiento del cual se hablará más adelante.

Los puntos de conexión que reviso primero son los que van ubicados en sitios donde se ensambla otro componente, tales como el radiador, monturas de motor, elementos de suspensión (delantera y trasera), *subframe* (delantero y trasero) y *hangers* del sistema de escape. Estos puntos se revisan con modelos anteriores a los cuales ya se les hizo el análisis en etapas previas o bien, con ayuda de una lista que contiene las coordenadas donde debe ir el punto, el nombre que debe tener el punto se toma del modelo anterior.

En ocasiones los puntos en el nuevo modelo no están donde deberían, es decir, las coordenadas no son las correctas y por lo cual debo de reubicarlos. Esto puede corregirse de diferentes maneras, una de ellas es creando un nodo con las coordenadas correctas y luego conectar los rígidos que deben de ir a ese nuevo nodo creado. Otra manera de corregir los puntos es con la herramienta de *Hypermesh*, “*translate*”, con esta herramienta sólo se resta la diferencia en cada coordenada (X,Y,Z), esa diferencia será la cantidad a trasladar en cada coordenada.

En esta etapa del proceso debo elegir entre dos maneras de realizar el procedimiento, a continuación, se explicarán las dos maneras de realizarlo:

Método 1

El proceso que realizo es el siguiente:

1.- Creo un nodo temporal con la herramienta de “*nodes*” en *Hypermesh* se crea un nodo, introduciendo las coordenadas correctas (figura 17).

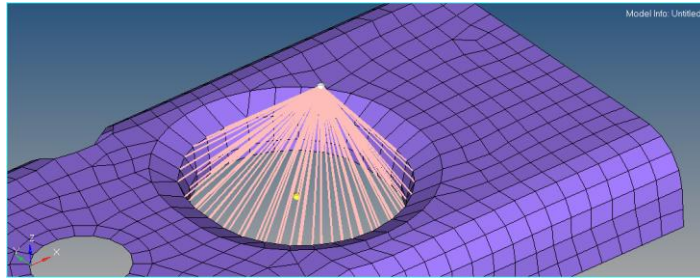


Figura 17. Nodo incorrecto (gris) nodo correcto (amarillo).

2.- Actualizo los rígidos a los cuales se encuentra conectado: los nodos están conectados a elementos rígidos o a malla, al crear el nuevo nodo, este se debe conectar correctamente tal y como estaba en el modelo anterior después de eliminar el nodo temporal (figura 18).

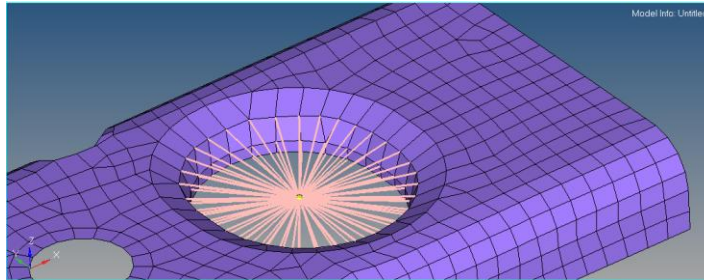


Figura 18. Elemento rígido actualizado.

3.- Nombro al nuevo nodo creado se le debe asignar el mismo nombre que el anterior (figura 19).

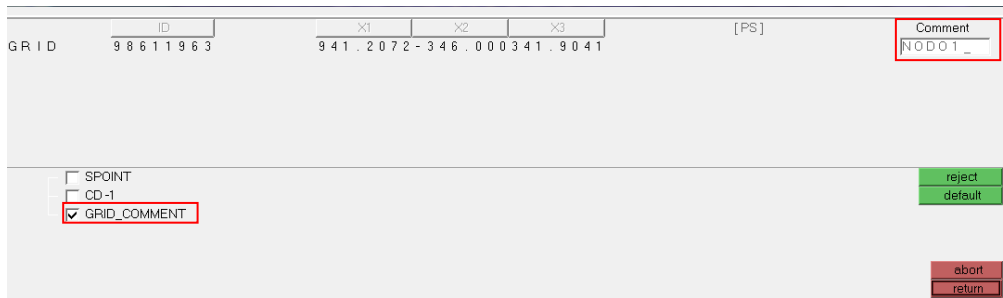


Figura 19. Nombre para el nodo creado.

4.- Elimino el nodo que no está correcto, esto se hace eliminando el nombre de la etiqueta.

5.- Lo anterior es para los nodos que estén mal ubicados o los que tenga que crear, acabando con todos los puntos necesarios del modelo entonces está listo para ser exportado y continuar.

Método 2

El proceso que realizo es el siguiente:

1.- Veo cuáles son las coordenadas actuales del punto a modificar y comparo con las coordenadas que están correctas (figura 20). Por ejemplo, supongamos que las coordenadas del punto a evaluar son (951, -340, 355) y las coordenadas correctas de dicho punto son (941.20, -346, 341.90).

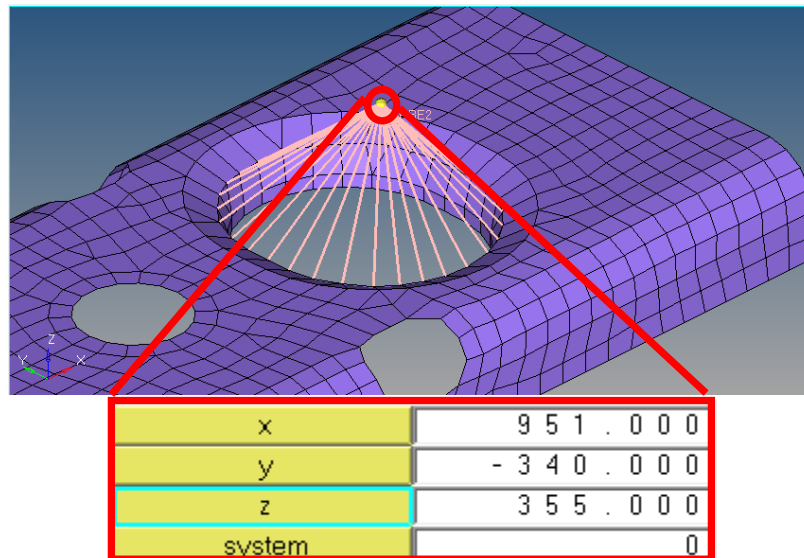


Figura 20. Coordenadas del punto a modificar.

2.- Checo la diferencia en las coordenadas. Para X hay una diferencia de 9.8, en Y de 6 y en Z de 13.1.

3.- Realizo la traslación del nodo a las coordenadas correctas. El nodo con las coordenadas incorrectas se va a trasladar 9.8 en X, -6 en Y y -13.1 en Z. Esto lo hago con ayuda de la herramienta “*translate*”, poniendo la cantidad que se va a trasladar y en que eje (X,Y o Z). Quedando finalmente en donde debe ir (figura 21).

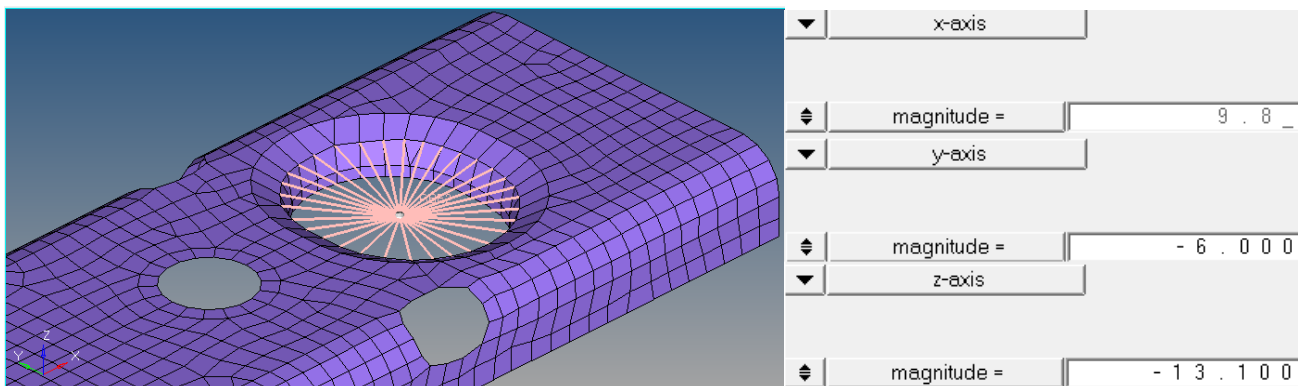


Figura 21. Traslación del nodo en cada eje.

La mejor manera que yo decido hacer esta parte del proceso es mediante el segundo método, debido a que no es necesario crear nuevas entidades (nodos, rígidos, etc), lo cual es bueno debido a que esto no causa problemas a la hora exportar el modelo. A diferencia de que en el método uno hay que crear nuevas entidades y lo cual causa problemas cuando tengo que exportar el modelo.

Después de revisar los puntos necesarios y ubicarlos donde deben de ir, se tienen que unir con elementos 1D llamados “*plotels*”. El propósito que tienen estos elementos 1D es unir los puntos con el fin de que no se borren o se pierdan cuando se realiza el siguiente paso, que consiste en crear una malla de todos los elementos del modelo, dicha malla es de elemento más grande.

3.4 Revisar procesamiento.

Cuando termino de unir los puntos, existe otro breve paso que me sirve para hacer un chequeo general del modelo. Este procedimiento lo hago por medio de una “macro” en *Hypermesh* que tiene como función checar que no haya puntos o nodos libres y que estén conectados a algún elemento tal como rígido, malla, *plotel*, etc., todos estos chequeos se deben mostrar en color verde.

3.5 Correr análisis

Acabando con los chequeos, exporto el modelo en formato .nas y se continua con el siguiente proceso. Este proceso consiste en crear un modelo llamado “*coarsen mesh*”, el cual sirve para obtener respuesta solo en algunos nodos del modelo y no en todos, lo cual aumentaría el tiempo de la corrida de la solución y también el tamaño de los archivos que muestran el resultado. Este modelo es una representación de entre el 1 y 2% del modelo detallado.

Para realizar un “*coarsen mesh*” es necesario tener el modelo original. Una vez que se tiene el modelo en “*Hypermesh*”, se va a la pestaña *Mesh > Create > Coarsen mesh*, aquí se nos desplegará una ventana en la cual se seleccionarán los componentes a mallar y los diferentes parámetros para realizar la malla.

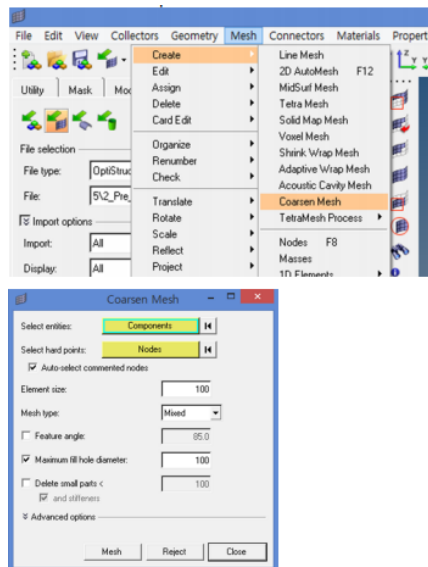


Figura 22. Procedimiento en *Hypermesh* para la creación del *coarsen mesh*.

Los tamaños de malla del *coarsen mesh* varían de acuerdo al componente al que se le va a hacer este proceso, es decir, se usa un tamaño de malla de acuerdo al subsistema (cuerpo del vehículo, suspensión, escape, flechas, diferenciales, etc). Estos criterios de malla se usan de acuerdo a especificaciones internas.

Cuando se termina de realizar el ”*coarsen mesh*”, hago una inspección visual, revisando que el modelo tenga una forma aceptable, es decir que no se haya deformado demasiado y además se cuento el número de nodos que quedaron. El número de nodos depende también de cada subsistema y se establece un rango, esto de acuerdo a los criterios que se tienen.

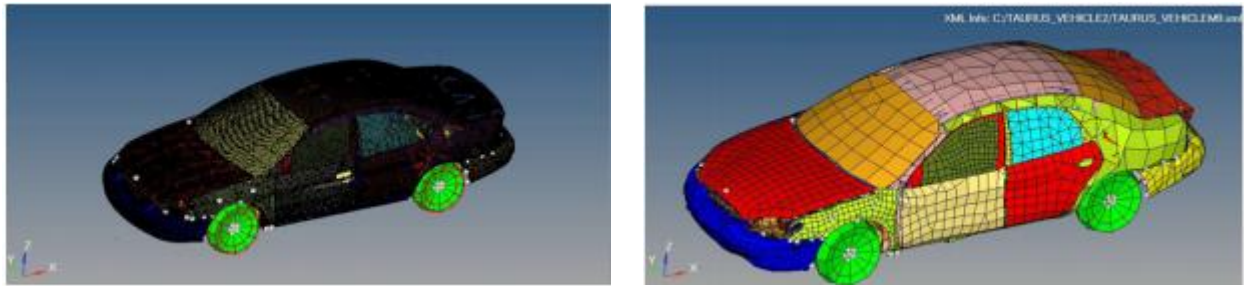


Figura 23. Modelo antes (izquierda) y después (derecha) del procedimiento de *coarsen mesh*.

Con la realización de todos estos procedimientos el modelo está listo para mandar a resolver y obtener la solución de modos normales. Para esto debemos tener los archivos necesarios: modelo completo de Nastran, modelo de *coarsen mesh*, cavidad acústica y un archivo de texto llamado “*deck*”, el cual contiene los parámetros necesarios para la solución.

En el archivo de texto de la figura 24 se especifica la solución que se va a usar (103), tolerancias geométricas de la malla, parámetros para definir instrucciones adicionales, puntos de lectura y los archivos que se deben incluir (modelo completo, *coarsen mesh* y cavidad).

```

$ NASTRAN input file created by the MSC MSC.Nastran input file
$ Normal Modes Analysis, Database
SOL 103
$ Direct Text Input for Executive Control
CEND
ECHO = NONE
$ Direct Text Input for Global Case Control Data
MEFFMASS(ALL)=YES
SUBCASE 1
$ Subcase name : _EIGENFREQUENCY
SUBTITLE= _EIGENFREQUENCY
METHOD = 1
SPC = 3
VECTOR (PLOT, SORT1, REAL) = ALL
BEGIN BULK
PARAM POST 0
PARAM AUTOSPC YES
PARAM PRTMAXIM YES
EIGRL 1 20 0 MASS
$ Begin Bulk Data

```

Figura 24. Ejemplo de archivo de texto para solución 103.

Con todos los archivos ya listos mando a resolver la solución de modos normales, esto a través de una computadora de alto rendimiento (HPC, por sus siglas en inglés). Subo los archivos necesarios y el tiempo de espera para obtener los resultados de la solución 103 está en un intervalo de 40 minutos a 2 horas y media. Esto varía de acuerdo al modelo que se esté analizando debido a que cambian de dimensiones, número de componentes, tamaño de malla, etc.

3.6 Revisar análisis

Terminada la simulación, copio los archivos a la computadora local para visualizarlos en *Hyperview*. Antes de abrir el archivo de visualización abro un archivo de texto, el cual contiene toda la información de la solución de modos normales, aquí se verifico que no haya un error en la simulación o alguna advertencia que haya surgido durante la solución. Desde este archivo también puedo ver los modos de vibrar y el valor de frecuencia que tiene. Los primeros seis modos (modos rígidos) se

caracterizan por el valor de la frecuencia que debe ser del orden de e-03. Los modos flexibles debo revisarlos en el archivo de visualización.

Al abrir el archivo en *Hyperview* (figura 25), reviso es que los modos y frecuencias de vibración estén dentro de los rangos aceptables y que las formas de vibración sean las correctas. Cuando se revisa un modelo del cuerpo del auto se debe verificar que sean 6 modos rígidos, es decir, tres rotaciones (X, Y y Z) y tres traslaciones de los planos formados por los ejes (XY, XZ y YZ). Los modos de vibrar que siguen son los flexibles y en estos se debe checar que el modo de vibración corresponda al componente que debe, por ejemplo, el séptimo modo es del volante, el octavo de los asientos, el noveno del cofre y así sucesivamente.

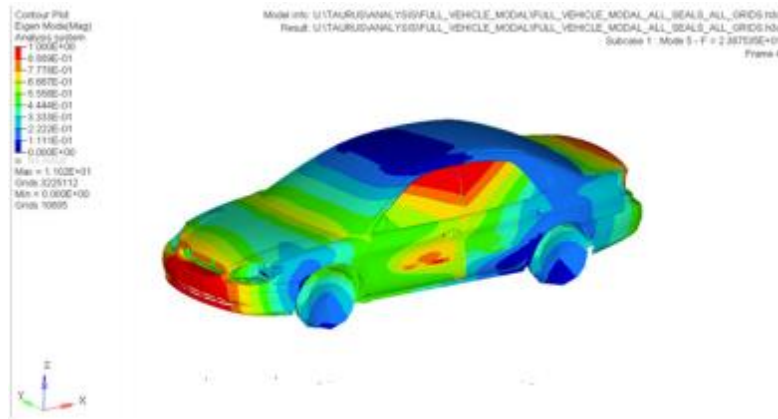


Figura 25. Ejemplo de visualización de resultados en Hyperview.

3.7 Notificar y entregar análisis

Una vez que visualizo los resultados y verifico que estén en orden, doy el aviso de que la tarea asignada se ha finalizado. Copio los archivos necesarios a una carpeta de disco compartido con el fin de que la persona que me hizo la solicitud de trabajo o el programa, pueda usar los archivos para los siguientes análisis y procesamientos por hacer.

Resultados

Dentro del área de NVH CAE se procesan diferentes componentes: unidad de tren motriz, suspensión, chasis, cuerpo del vehículo, etc.), así como diferentes modelos. Algunos programas tienen configuraciones diferentes (modelos de control), por lo que hay que trabajar con un cierto ritmo de rapidez con el fin de no retrasar la fecha de entrega. En un día lograba procesar tres modelos, lo cual ayuda bastante para la liberación del programa y evitar retrasos en la entrega semanal.

Los primeros modelos que entregué eran realizados también por otro ingeniero de NVH CAE, con el objetivo de comparar mis entregas y así poder evaluar mi desempeño dentro del área. Al inicio los modelos que entregaba me los regresaban debido a que los resultados no concordaban con lo que hacía el ingeniero de NVH CAE, esto cambió al paso de aproximadamente dos meses debido a que el equipo ya confiaba en mi trabajo, la retroalimentación que recibía del equipo sobre mis entregas era buena y no me regresaban ningún modelo. Esto también ayudaba a que el ingeniero encargado del programa podía realizar otros procedimientos para otros programas mientras que yo procesaba los modelos, reduciendo la cantidad de trabajo y así poder ir de acuerdo al calendario de entregas que se revisaba semana a semana.

Los modelos que realicé cumplían con los estándares internos que tenía el equipo y que además eran mostrados a equipos de Estados Unidos, es decir eran aprobados por los ingenieros de NVH de Estados Unidos que trabajan en conjunto con el equipo.

Conclusiones

Ford Motor Company es una empresa con más de 90 años en el país y una de las empresas más grandes en el ámbito automotriz. Su interés en que los jóvenes mexicanos recién egresados se integren a la industria es muy grande debido a que brindan oportunidades de iniciar una carrera sin experiencia necesaria, pero al mismo tiempo asignándoles tareas de gran compromiso y alto impacto en los equipos que se integren.

Gracias al entrenamiento recibido por parte del equipo de ingenieros de NVH CAE pude realizar satisfactoriamente las tareas que me fueron asignadas. Las tareas que se me fueron asignadas en un principio eran supervisadas por alguien más, al paso del tiempo estas tareas ya no eran supervisadas por nadie y el equipo ya confiaba en mi trabajo, esto debido al desempeño mostrado.

Las habilidades adquiridas durante mi formación académica en la Facultad de Ingeniería fueron la parte importante para poderme desarrollar profesionalmente dentro del área. La materia optativa de análisis de elemento finito fue una parte muy importante debido a que aprendí las bases de la ingeniería asistida por computadora. Otra parte importante de mi formación son las habilidades de comunicación, liderazgo y toma de decisiones que adquirí como experiencia de los proyectos que realicé en la Facultad aportaron esa parte que también es importante desarrollar en el ámbito laboral.

Además del conocimiento ingenieril adquirido durante los proyectos en los que colaboré también contribuyeron en gran parte a mi formación personal. En la vida profesional se adquieren habilidades personales que es un poco difícil adquirir en la formación académica. Aprendí a entregar en fechas establecidas, de manera formal y a exponer mi trabajo desarrollado.

Por último, me di cuenta de que hay ciertas áreas de oportunidad que podemos mejorar en la etapa de la formación académica y que me gustaría compartir con mis compañeros que se encuentran en esta etapa. La principal área de oportunidad que me parece que es de suma importancia es la de aprender el idioma inglés, es muy importante que al concluir la carrera los egresados cuenten con este idioma debido a que es determinante en un proceso de selección para la búsqueda de un empleo. Otra área de oportunidad que me parece interesante es la de expresión oral, no basta con tener las ideas, hay que expresarlas y de manera clara debido a que en la vida laboral nos enfrentaremos a diferentes problemas en los que tenemos que dar nuestros puntos de vista o soluciones.

Haberme incorporado a una empresa líder en el área automotriz fue una de las mejores experiencias que he tenido, me dio la oportunidad de ver lo grande que es esta industria, el proceso del desarrollo de un producto y al mismo tiempo creciendo de manera profesional y personal.

Bibliografía

- [1] Consultorio Automotor. Historia de Ford de México, a su 85 aniversario mantiene su enfoque estratégico en el país. (21 de noviembre de 2010). Recuperado el 20 de agosto de 2016, de: <http://www.consultorioautomotor.com/2010/11/historia-de-ford-en-mexico-a-su-85-aniversario-mantiene-su-enfoque-estrategico-en-el-pais/>.
- [2] Ford México. Acerca de la compañía (s.f). Recuperado el 12 de agosto de 2016, de: <http://www.ford.mx/acerca/compania>
- [3] MSC Nastran. Advance dynamic analysis user's guide (2012). Recuperado el 27 de agosto de 2016, de: https://simcompanion.mscsoftware.com/resources/sites/MSC/content/meta/DOCUMENTATION/1000/DOC10002/~secure/msc_nastran_2012_dynamics_guide.pdf?token=bqi9gzA7P0hCpLEr2tS5CB9b6ZukFajd00FwyQaFUjxVFY9RLpbJMdzAKTxQoTmQ1FoqkgnB7OAbmMjjo6evMV55AA9QNvaBtQfKRCH4kgHDcWDBmBdFIUgpqVwrBcM1T8Ar7Oa074fKRCpW9O6O7cneQ2evCqh8sXav88IuS zJthxqI4BuMII9yX6dz7PXQ!ZgXu4xon4ZNTavFiWI6rVzk36uEVSy9Sj4Y2GQuCEM5TcRjrviewv95h7nUsJ9vc.
- [4] Rodríguez Ramírez, Francisco. “*Dinámica de sistemas físicos*”. (1986). Recuperado el 23 de agosto de 2016.
- [5] MSC Nastran. Nastran quick reference guide (2013). Recuperado el 27 de agosto de 2016, de: http://www.afs.enea.it/software/msc/nastran_docs/nastran_2013.1_doc_quick_reference.pdf.
- [6] Electronic engineering times. Acoustic software streamlines truck cabin noise mitigation (9 agosto 2011). Recuperado el 30 de agosto de 2016 de: http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279062.
- [7] Altair HTC 2012 NVH Training: An Innovative Solution for True Full Vehicle NVH Simulation [Diapositivas]. Recuperado el 3 de septiembre de 2016 Obtenido de: <http://www.slideshare.net/altairhtcus/altair-htc-2012-nvh-training>.
- [8] Altair Hyperworks. HyperWorks Tips + Tricks (2014), Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de: <http://insider.altairhyperworks.com/wp-content/uploads/2015/10/1133-OptiStruct-Use-PLOTEL34-Plate-elements-to-reduce-results-size-for-mode-shape.pdf>.