



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
SECRETARÍA ACADÉMICA

ACUERDO 520/13

C. U. 12 de agosto del 2013

C. William Ricardo González Ríos (122834)
Pasante de Ingeniería en Electromecánica
(IED03)
Presente

Con relación a su oficio enviado al H. Consejo Académico de la Facultad en el que solicita titularse bajo la opción de **tesis individual**, me permito informarle que en la sesión ordinaria del 12 de agosto del año en curso, este cuerpo colegiado acordó aceptar el protocolo de la opción de titulación por lo que deberá trabajar en el tema "**Análisis por elemento finito de chasis integral de un midibús**", bajo la dirección del Dr. Juan Primo Benítez Rangel.

El contenido aprobado por el H. Consejo Académico es el siguiente:

1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 Antecedentes.
- 1.2 Objetivo del proyecto.
- 1.3 Objetivos particulares.
- 1.4 Hipótesis.
- 1.5 Justificación.
- 1.6 El presente trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE

- 2.1 Generalidades.
- 2.2 Transporte público.
- 2.3 Transporte público en México.
- 2.4 Transporte público en Querétaro.
- 2.5 Diseño y manufactura de de transporte público en México.
- 2.6 Clasificación de vehículos de transporte público.
- 2.7 Clasificación de vehículos de transporte público de acuerdo a la distancia entre ejes.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA ACADÉMICA

- 2.8 Clasificación de vehículos de transporte público de acuerdo a su construcción.
 - 2.9 Clasificación de tipos de chasis.
 - 2.10 Normatividad.
 - 2.11 Norma Oficial Mexicana NOM-067-SCT-2 / SECOFI-1999.
 - 2.12 Referencias para la presente norma.
 - 2.13 Capacidad máxima permitida.
 - 2.14 Resistencia y durabilidad a la fatiga.
 - 2.15 Métodos de prueba.
 - 2.16 Determinación de la deformación elástica.
 - 2.17 Determinación de las cargas dinámicas.
 - 2.18 Niveles máximos de emisiones contaminantes.
 - 2.19 Sanciones.
 - 2.20 Método de análisis por elemento finito.
 - 2.21 Principales métodos de análisis por elemento finito.
 - 2.22 Software para análisis por elemento finito.
 - 2.23 Módulo de Young.
 - 2.24 Ecuación de Poisson.
- 3 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO.**
- 3.1 Introducción.
 - 3.2 Metodología del análisis.
 - 3.3 Consideraciones y parámetros de diseño.
 - 3.4 Unión de partes en una sola pieza en NX.
 - 3.5 Ensamble completo en NX.
 - 3.6 Limitación de desplazamiento y rotación de las piezas de cada ensamble en NX.
 - 3.7 Extensión conveniente para exportar desde NX.
 - 3.8 Programa auxiliar utilizado para exportar e importar.
 - 3.9 Tipos y métodos de importación en abaqus CAE.
 - 3.10 Archivo CAD de la estructura del chasis integral del midibús redibujado a lámina.
 - 3.11 Metodología del modelado en abaqus CAE.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA ACADÉMICA

- 3.12 Ansys como programa de apoyo y comparativo.
- 3.13 Archivo CAD de la estructura del chasis integral del midibús de lámina a sólido nuevamente.
- 3.14 Metodología del modelado en ansys.
- 3.15 Explicación y desarrollo de parámetros para pruebas en abaqus CAE.
- 3.16 Explicación y desarrollo de parámetros para pruebas en ansys.

4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

- 4.1 Introducción.
- 4.2 Resultados obtenidos en las pruebas realizadas en abaqus CAE.
- 4.3 Resultados obtenidos en las pruebas realizadas en ansys.
- 4.4 Tabla comparativa de resultados.
- 4.5 Comparación de resultados con la norma oficial vigente y validación de diseño.
- 4.6 Conclusiones.

Índice de tablas.

Índice de figuras.

Índice de ecuaciones.

También hago de su conocimiento las disposiciones de nuestra Facultad, en el sentido que antes del examen profesional deberá cumplir con los requisitos de nuestra legislación y deberá imprimir el presente oficio en todos los ejemplares de su tesis.

Atentamente

"EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"

DR. AURELIO DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ
Director

c.c.p. Archivo
*ADG/CSG





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA ELECTROMECAÁNICA



Análisis por Elemento Finito de Chasis Integral de un Midibús

Tesis
Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Electromecánico

Línea Terminal
(Diseño y Manufactura)

Presenta

González Rios William Ricardo

San Juan del Río, Querétaro.;

Fecha

Diciembre, 2013

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el análisis por elemento finito de la estructura del chasis integral de un midibús al ser sometido a una carga uniformemente distribuida máxima de acuerdo a las normas vigentes. Con el fin de detectar y corregir en futuros diseños, las partes de la estructura que presenten una mayor flexión al encontrarse sometidos a un esfuerzo máximo. Tiene también el propósito de detectar algún punto susceptible a una falla dentro de la estructura del chasis integral de un midibús. Con el análisis por elemento finito se verificará que la estructura del chasis integral de un midibús cumpla con los parámetros mínimos requeridos de diseño. Además se realizó una comparación entre los resultados obtenidos para así demostrar que la estructura del chasis integral de un midibús está construida por encima de los parámetros mínimos requeridos de diseño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor, Dr. Juan Primo Benítez, por creer en mí y darme la oportunidad de investigar y desarrollar el presente trabajo.

Agradezco también al proyecto FOMIX-QRO-2012-C01-193454, dirigido por el Dr. Miguel Trejo Hernández, por todo el apoyo recibido de su parte.

A los maestros que a lo largo de mi estancia en esta institución transmitieron y fomentaron sus conocimientos tanto educativos como de vida, ayudándome a crecer como ingeniero y como persona.

A Calderera del Centro S.A. de C.V. y a todos mis compañeros de trabajo, los cuales además de darme la oportunidad de incursionar en el campo laboral mientras seguía desarrollando mi carrera universitaria, han transmitido todos sus consejos y la experiencia adquirida a través de los años en la industria.

Agradezco por su puesto a mis amigos y amigas con los cuales sufrí y goce el tiempo transcurrido aquí en la universidad y fuera de ella, y con los cuales comparto experiencias inolvidables.

Por último agradezco a mi familia que como siempre es mencionado son los cimientos de cualquier logro conseguido por alguno de sus miembros, en este caso la conclusión de mis estudios universitarios. Agradezco todas y cada una de sus palabras, consejos, o regaños, que han inferido directamente en mi carácter, mi persona y mis logros.

Gracias.

ÍNDICE

	PAG.
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO.....	13
1.3 OBJETIVOS PARTICULARES	14
1.4 HIPÓTESIS	14
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.6 EL PRESENTE TRABAJO	15
2 ESTADO DEL ARTE.....	17
2.1 GENERALIDADES.....	17
2.2 TRANSPORTE PÚBLICO	18
2.3 TRANSPORTE PÚBLICO EN MÉXICO.....	19
2.4 TRANSPORTE PÚBLICO EN QUERÉTARO.....	20
2.5 DISEÑO Y MANUFACTURA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN MÉXICO.....	22
2.6 CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO.....	29
2.7 CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE ACUERDO A LA DISTANCIA ENTRE EJES	30
2.8 CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE ACUERDO A SU CONSTRUCCIÓN.....	33
2.9 CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE CHASIS	35
2.10 NORMATIVIDAD	36
2.11 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-O67-SCT-2/SECOFI-1999	37
2.12 REFERENCIAS PARA LA PRESENTE NORMA.....	38
2.13 CAPACIDAD MÁXIMA PERMITIDA.....	39
2.14 RESISTENCIA Y DURABILIDAD A LA FATIGA	40
2.15 MÉTODOS DE PRUEBA	41
2.16 DETERMINACIÓN DE LA DEFORMACIÓN ELÁSTICA	41
2.17 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DINÁMICAS	42
2.18 NIVELES MÁXIMOS DE EMISIONES CONTAMINANTES.....	42
2.19 SANCIONES.....	42
2.20 MÉTODO DE ANÁLISIS POR ELEMENTO FINITO	43
2.21 PRINCIPALES MÉTODOS DE ANÁLISIS POR ELEMENTO FINITO	45
2.22 SOFTWARE PARA ANÁLISIS POR ELEMENTO FINITO	46

2.23	MÓDULO DE YOUNG	47
2.24	ECUACIÓN DE POISSON	49
3	DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	52
3.1	INTRODUCCIÓN	52
3.2	METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS	52
3.3	CONSIDERACIONES Y PARÁMETROS DE DISEÑO	54
3.4	UNIÓN DE PARTES EN UNA SOLA PIEZA EN UNIGRAPHICS (NX)	54
3.5	ENSAMBLE COMPLETO EN UNIGRAPHICS (NX).....	55
3.6	LIMITACIÓN DE DESPLAZAMIENTO Y ROTACIÓN DE LAS PIEZAS DE CADA ENSAMBLE EN UNIGRAPHICS (NX).....	55
3.7	EXTENSIÓN CONVENIENTE PARA EXPORTAR DESDE UNIGRAPHICS (NX)	55
3.8	PROGRAMA AUXILIAR UTILIZADO PARA EXPORTAR E IMPORTAR	56
3.9	TIPOS Y MÉTODOS DE IMPORTACIÓN EN ABAQUS	56
3.10	ARCHIVO CAD DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DEL MIDIBÚS RE-DIBUJADO Á LÁMINA	57
3.11	METODOLOGÍA DEL MODELADO EN ABAQUS	58
3.12	ANSYS COMO PROGRAMA DE APOYO Y COMPARATIVO	74
3.13	ARCHIVO CAD DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DEL MIDIBÚS DE LÁMINA Á SOLIDO NUEVAMENTE	74
3.14	METODOLOGÍA DEL MODELADO EN ANSYS	77
3.15	EXPLICACIÓN Y DESARROLLO DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN ABAQUS	82
3.16	EXPLICACIÓN Y DESARROLLO DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN ANSYS	86
4	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	88
4.1	INTRODUCCIÓN	88
4.1	RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS REALIZADAS EN ABAQUS	88
4.2	RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS REALIZADAS EN ANSYS.....	98
4.3	TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS	99
4.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMA VIGENTE Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	100
4.5	CONCLUSIONES	101

ÍNDICE DE TABLAS

	PAG.
2.1 REFERENCIAS PARA LA PRESENTE NORMA	38
2.1 REFERENCIAS PARA LA PRESENTE NORMA (CONTINUACIÓN).....	39
2.2 MÓDULO DE YOUNG DE LOS PRINCIPALES METALES	49
2.3 VALORES DE COEFICIENTE DE POISSON	51
3.1 ÁREA TOTAL A LA QUE SE APLICA LA FUERZA	82
3.2 CALCULO DE LA FUERZA APLICADA	83
3.3 ENCASTRE SELECCIONADO PRUEBA 1 ABAQUS	84
3.4 ENCASTRE SELECCIONADO PRUEBA 2 ABAQUS	84
3.5 ENCASTRE SELECCIONADO PRUEBA 3 ABAQUS	85
3.6 ENCASTRE SELECCIONADO PRUEBA 4 ABAQUS	85
3.7 ENCASTRE SELECCIONADO PRUEBA 1 ANSYS	86
3.8 ENCASTRE SELECCIONADO PRUEBA 2 ANSYS	86
3.9 ENCASTRE SELECCIONADO PRUEBA 3 ANSYS	87
3.10 TABLA DESCRIPTIVA DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.....	87
4.1 TABLA DE CONCENTRACIÓN DE RESULTADOS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG.
2.1 VEHÍCULO MONTADO EN CHASIS MODELO “T”	22
2.2 AUTOBÚS DE LA MARCA SCANIA MODELO 1948	23
2.3 AUTOBÚS SCANIA MODELO 1957 FABRICADO EN SERIE	23
2.4 PRIMER AUTOBÚS MANUFACTURADO EN MÉXICO POR DINA	24
2.5 AUTOBÚS 311 MODELO 1961 DINA	25
2.6 DINA AVANTE MODELO 1988.....	26
2.7 VANETTE MANUFACTURADA EN ACCSA	27
2.8 COMANDO DODGE ACCSA	27
2.9 AUTOBÚS MERCEDES BENZ MODELO O371	28
2.10 AUTOBÚS ANDARÉ DE MERCEDES BENZ	29
2.11 VAGONETA.....	31
2.12 MINIBÚS	31
2.13 MIDIBÚS	31
2.14 AUTOBÚS CORAZA.....	31
2.15 AUTOBÚS SEMICHATO.....	32
2.16 AUTOBÚS CHATO MOTOR DELANTERO	32
2.17 AUTOBÚS CHATO MOTOR TRASERO	32
2.18 AUTOBÚS FORÁNEO	32
2.19 AUTOBÚS URBANO ARTICULADO.....	33
2.20 VEHÍCULO CON ESTRUCTURA INTEGRAL.....	34
2.21 VEHÍCULO CON ESTRUCTURA SOBRE CHASIS	34
2.22 CHASIS CABINA	35
2.23 CHASIS CORAZA.....	35
2.24 CHASIS CONTROL DELANTERO MOTOR TRASERO.....	35
2.25 CHASIS CONTROL DELANTERO MOTOR DELANTERO	36
2.26 CHASIS SEMICONTROL DELANTERO MOTOR DELANTERO.....	36
2.27 EL MODULO DE YOUNG SE DEFINE CON UNA RELACIÓN ENTRE TENSIÓN Y DEFORMACIÓN	47
2.28 COEFICIENTE DE POISSON.....	50
3.1 ORGANIGRAMA DE METODOLOGÍA DE ACTIVIDADES	53
3.2 SE UTILIZÓ LA OPCIÓN “PART” PARA IMPORTAR LOS ARCHIVOS EN ABAQUS	56
3.3 EXTENSIONES COMPATIBLES CON ABAQUS	57
3.4 MENÚ PRINCIPAL PARA IMPORTAR EL ARCHIVO DESEADO	58
3.5 VENTANA PRINCIPAL PARA CREAR EL TIPO DE ARCHIVO A IMPORTAR	59
3.6 VISTA INMEDIATA DEL ARCHIVO IMPORTADO, “ESTRUCTURA DE UN MIDIBÚS”	59
3.7 VENTANA UTILIZADA PARA EDITAR LOS MATERIALES	60

3.8	SE UTILIZO UN ESPESOR DE 6.4 MM PARA TODA LA ESTRUCTURA.....	60
3.9	SE UTILIZÓ LA CARA SUPERIOR EN TODA LA ESTRUCTURA.....	61
3.10	LAS “INSTANCES” EN TODA LA ESTRUCTURA FUERON CONSIDERADAS COMO DEPENDIENTES.....	61
3.11	EL “SEED” UTILIZADO FUE EL ESTABLECIDO POR DEFAULT	62
3.12	ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS SELECCIONADA TOTALMENTE	62
3.13	SELECCIÓN DE “SHELL” COMO TIPO DE MATERIAL DE LA ESTRUCTURA.....	63
3.14	VENTANA FINAL EN LOS PASOS DE MALLADO	63
3.15	MALLADO FINALIZADO.....	64
3.16	DETECCIÓN DE ERRORES EN MALLADO “VERIFY MESH”	64
3.17	OPCIÓN “CONTROL” EN EL MENÚ “MESH”	65
3.18	ERROR 1 EN MALLADO	65
3.19	ERROR 2 EN MALLADO	66
3.20	ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS CON MALLADO CORREGIDO	66
3.21	“STEP” CREADO COMO ESTÁTICO GENERAL	67
3.22	VENTANA FINAL PARA CREAR EL “STEP”	67
3.23	APARECEN LA OPCIÓN DE “BCS” Y “LOADS” EN EL MENÚ.....	68
3.24	VENTANA PARA EDITAR EL TIPO DE ENCASTRE DE LA ESTRUCTURA	68
3.25	SELECCIÓN DEL ÁREA O NODO QUE SE DESEA ENCASTRAR	69
3.26	LA OPCIÓN ENCASTRE IGUALA A CERO EL DESPLAZAMIENTO Y ROTACIÓN EN CUALQUIER EJE	69
3.27	VISTA DE LA ESTRUCTURA CON UN ENCASTRE FINALIZADO	70
3.28	VENTANA PRINCIPAL PARA CREAR LAS CARGAS DE LA ESTRUCTURA.....	70
3.29	SELECCIÓN DE LAS PARTES DE LA ESTRUCTURA A LAS QUE SE APLICARA UNA CARGA	71
3.30	CARGAS APLICADAS EN DIRECCIONES OPUESTAS.....	72
3.31	CARGAS CONVERTIDAS Y APLICADAS HOMOGÉNEAMENTE	72
3.32	EN LA VENTANA MOSTRADA SE INTRODUCE EL VALOR DE LA CARGA	73
3.33	VISTA DE LA ESTRUCTURA CON CARGAS TERMINADAS	73
3.34	OPCIÓN “SUBMIT” PARA COMPILAR EL ARCHIVO Y DETECTAR ERRORES	74
3.35	PIEZAS DE LA ESTRUCTURA EN LÁMINA EN NX	75
3.36	PIEZAS CONVERTIDAS A SÓLIDO NUEVAMENTE EN NX	75
3.37	TODAS LAS PIEZAS DE LA ESTRUCTURA SE ENCUENTRAN EN LÁMINA.....	76
3.38	OTRO EJEMPLO DE LA CONVERSIÓN REALIZADA DE LÁMINA A SÓLIDO NUEVAMENTE	76
3.39	ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS SIMPLIFICADA SIN APOYOS LATERALES EN NX.....	77
3.40	”STATIC STRUCTURAL Y GEOMETRY”, PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA IMPORTAR LA ESTRUCTURA EN ANSYS.....	78
3.41	EN EL MENÚ DE ARCHIVO SE ENCUENTRA LA OPCIÓN PARA IMPORTAR COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA	78
3.42	ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS IMPORTADA EN ANSYS.....	79

3.43	VENTANA DONDE SE MUESTRA LA OPCIÓN “MODEL”, PARA INICIAR EL MODELADO DE LA ESTRUCTURA	79
3.44	GENERANDO MALLADO DE LA ESTRUCTURA	80
3.45	PRESIÓN A LA QUE SERÁ SOMETIDA LA ESTRUCTURA	80
3.46	OPCIONES DE ENCASTRE EN LA ESTRUCTURA.....	81
3.47	SE MUESTRA LA OPCIÓN PARA OBTENER LOS RESULTADOS, DESPUÉS DE REALIZAR EL MODELADO DE LA ESTRUCTURA	81
4.1	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 1 PARA (E) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	88
4.2	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 1 PARA (U) EN EL PLANO MAGNITUD.....	89
4.3	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 1 PARA (S) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	9
4.4	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 1 PARA (S) EN EL PLANO “PRESSURE”	90
4.5	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 2 PARA (E) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	90
4.6	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 2 PARA (U) EN EL PLANO MAGNITUD.....	91
4.7	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 2 PARA (S) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	91
4.8	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 2 PARA (S) EN EL PLANO “PRESSURE”	92
4.9	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 3 PARA (E) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	92
4.10	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 3 PARA (U) EN EL PLANO MAGNITUD...	93
4.11	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 3 PARA (S) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	93
4.12	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 3 PARA (S) EN EL PLANO “PRESSURE”	94
4.13	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 4 PARA (E) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	94
4.14	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 4 PARA (U) EN EL PLANO MAGNITUD...	95
4.15	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 4 PARA (S) EN EL PLANO MÁXIMO PRINCIPAL	95

4.16	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 4 PARA (S) EN EL PLANO "PRESSURE"	96
4.17	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 1 PARA (S) EN ANSYS.....	96
	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 1 PARA (E) EN ANSYS.....	97
4.19	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 2 PARA (S) EN ANSYS.....	97
4.20	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 2 PARA (E) EN ANSYS.....	98
4.21	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 3 PARA (S) EN ANSYS.....	98
4.22	VISTA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS INTEGRAL DE UN MIDIBÚS PRUEBA 3 PARA (E) EN ANSYS.....	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

	PAG.
2.1 CAPACIDAD MÁXIMA PERMITIDA	39
2.2 MÓDULO DE YOUNG	48
2.3 ECUACIÓN DE POISSON	50
3.1 ECUACIÓN DE PRESIÓN	82
3.2 ECUACIÓN UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DE LA FUERZA POR APLICAR	83

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Al volverse el hombre sedentario y dejar de lado la vida nómada, comienza la necesidad de crear estructuras capaces de cubrir sus necesidades. Es aquí donde nace la importancia del estudio de las estructuras, sin embargo, el análisis de una estructura nunca ha sido sencillo ya que los factores a considerar son muchos y de muy diversas índoles, como materiales, peso, estética, etc. Muestra de esto se puede observar en construcciones antiguas, que eran exageradamente robustas, lo que era justificable en grandes monumentos arquitectónicos de la antigüedad pero quedaba obsoleto en estructuras con otras características, como lo son puentes o edificios para alojamiento civil, los cuales tiene un alto impacto en la vida cotidiana de las urbes. La importancia en la construcción y diseño de estructuras creció con la revolución industrial al convertirse las máquinas en el pistón de la economía. En la actualidad las estructuras y su desarrollo siguen siendo parte fundamental en el accionar de las personas, en su vida diaria debido a la cercanía y estrecha relación que existe entre el hombre y las estructuras y a que el nivel de calidad en la construcción y diseño de estas estructuras repercute directamente en cuantiosas pérdidas económicas y en muchos casos en pérdidas humanas. Actualmente hay claros ejemplos para mostrar el desarrollo que han adquirido las estructuras como son los rascacielos y aviones. Anteriormente el diseño, construcción, y análisis de las estructuras se realizaba con un análisis a simple vista, con este tipo de métodos, y al no tener noción de las capacidades de la estructura, se recurría a realizar estructuras sobre diseñadas o muy sobradas. Por ello, en la actualidad surge la necesidad de realizar una simulación de la estructura diseñada para poder predecir su comportamiento y poder detectar los puntos susceptibles a una falla o en contra parte los puntos más sobrados en el diseño de la estructura, y de ésta manera hacer más eficiente la estructura diseñada.

La Universidad Autónoma de Querétaro consiente de las tendencias actuales en la sociedad y tratando de hacer aportaciones al desarrollo de tecnología en nuestro país, tomó como objetivo la fabricación de un midibús para transporte urbano. Este proyecto comenzó con la manufactura del chasis integral de un midibús, el cual por las limitantes de tiempo, así como la necesidad de contar con el prototipo construido, fue diseñado y manufacturado solo con la experiencia técnica, sin aplicar ningún análisis, como un apartado mas dentro de este proyecto se pretende realizar la simulación y análisis por elemento finito del chasis integral de dicho midibús.

Durante el desarrollo del chasis integral de un midibús se aplicarán los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniero Electromecánico en un proyecto donde se requiere de ingenio, conocimiento práctico y teórico de lo que se pretende realizar. Estos proyectos son de gran importancia ya que el estudiante debe realizar los cálculos correspondientes de ingeniería y así mismo aterrizar todos los conceptos de los cursos tomados, además de poner a disposición del proyecto toda su creatividad e ingenio para buscar soluciones a los problemas que se presentan.

1.2 Objetivo del proyecto

Realizar el análisis por elemento finito del chasis integral de un midibús manufacturado en la facultad de Ingeniería Electromecánica, con la finalidad de garantizar y comprobar que la estructura cumple con los requerimientos mínimos permisibles de diseño de acuerdo a las normas vigentes establecidas en nuestro país, para así garantizar su seguridad y confiabilidad. También se pretende establecer alguna mejora o cambio en los materiales, como lo es: tipo, espesor, área de sección transversal, etc. Que permitan la optimización y mejora de futuros diseños.

1.3 Objetivos particulares

- Realizar la simulación y análisis por elemento finito de la estructura del chasis integral de un midibús.
- Realizar un comparativo de los resultados obtenidos en la simulación en abaqus contra los resultados obtenidos en la simulación en ansys con la finalidad de definir alguna posible mejora o corrección para la manufactura de futuros diseños de un midibús.

1.4 Hipótesis

Este trabajo se basa en la premisa de establecer que la estructura del chasis integral de un midibús manufacturado en la facultad de Ingeniería Electromecánica cumple con los parámetros mínimos de diseño. Por lo tanto al realizar la simulación y análisis por elemento finito de la estructura se espera respaldar y validar el diseño y la construcción de la estructura.

1.5 Justificación

La aplicación de análisis de estructuras por elemento finito (FEM), permite monitorear y anticipar errores en la planeación y diseño de cualquier modelo estructural. Debido a que al realizar este análisis es posible detectar los puntos o elementos de falla dentro de la estructura, o en su contraparte las partes en la estructura que presentan excesiva holgura en sus elementos, lo que permite rediseñar el modelo entregando importantes ventajas como son: mayor ligereza, menor costo, un mayor rango de seguridad, condiciones que muy a menudo repercuten directamente en incluso la salvación de vidas humanas.

Debido a lo explicado anteriormente, empresas de clase mundial enfocadas a la manufactura de automóviles cuentan con departamentos dedicados a aplicar el análisis de elemento finito en sus prototipos, con la finalidad de optimizar en la

medida de lo posible sus diseños y a su vez ofrecer productos de alta calidad, seguridad y confiabilidad al consumidor.

El chasis integral de un midibús se construyó sin realizar ningún análisis previo, fue manufacturado principalmente apoyándose en la experiencia de algunos carroceros con amplio conocimiento en el tema pero sin el respaldo de algún análisis virtual.

1.6 El presente trabajo

Esta tesis, muestra la simulación y análisis de la estructura del chasis integral de un midibús. El cual se manufacturó como primera parte de un proyecto en la UAQ.

En el Capítulo 2 se recopilan algunas generalidades respecto al entorno de un chasis, así como los conocimientos previos necesarios para alcanzar una comprensión sencilla de la tesis. Estas generalidades abarcan temas como los tipos de chasis existentes, las diferencias entre minibús, midibús o autobús entre otros. También se realiza una revisión de las normas vigentes establecidas en el país, para establecer los parámetros de diseño que, de acuerdo a norma, el midibús debe cumplir.

En el Capítulo 3 se presenta la metodología a seguir en la realización del trabajo, se establecen los parámetros para desarrollar el experimento, se realizan varias simulaciones con la estructura del chasis sometida a distintas condiciones de carga.

En el Capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos con el desarrollo del experimento, como la deformación con carga al cien por ciento y hasta rebasar la deformación permitida de acuerdo a norma. También se presenta una comparación entre los parámetros mínimos de acuerdo a la norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 y los resultados alcanzados por la estructura de acuerdo a la simulación realizada. Además se muestra una breve discusión de los resultados

obtenidos y se establece una conclusión del trabajo realizado y de los resultados entregados por dicho trabajo, para sustentar o rechazar la estructura del chasis integral de un midibús. Más aún, de señalar una aportación para realizar una mejora en futuros diseños.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Generalidades

Los medios de transporte aparecieron y han evolucionado a la par del desarrollo humano, en un inicio el único medio de transporte era terrestre y se realizaba por medio de animales siendo este medio muy lento, incómodo y poco eficaz. Con la aparición de las máquinas de vapor y el desarrollo industrial, se realizaron importantes adaptaciones a los medios de transporte existentes, brindando mayor comodidad, rapidez y eficiencia. Para el siglo XX surgieron los sistemas de tranvía y ferrocarriles teniendo un gran desarrollo en las grandes urbes. Posteriormente durante la segunda guerra mundial comenzó el surgimiento y difusión de los automóviles y autobuses.

La introducción del motor de combustión interna marco un adelanto considerable en los sistemas de transporte, primero empezó el desarrollo de los primeros automóviles motorizados para una o dos personas y posteriormente la construcción de sistemas masivos de transporte como los autobuses que marcaron un adelanto importante en el desarrollo del transporte público. Sin embargo la tendencia del uso de autobuses como medio de transporte en países en desarrollo está decayendo en las últimas décadas, en gran medida debido a la tendencia de muchas personas de adquirir un auto particular, motivados principalmente por la comodidad que éste representa y por otra parte la deficiente red de transporte público con la que se cuenta, ya que en la mayoría de los países el uso de autobuses como transporte público es considerado riesgoso, además de considerarse como focos de contaminación y peligro potencial para los usuarios, principalmente porque estos países no han realizado una inversión suficiente para el desarrollo de sistemas de transporte enfocados en el confort y seguridad del pasajero o de preocuparse y responsabilizarse por preservar el medio ambiente. Por otro lado los países desarrollados han tenido un creciente avance en el desarrollo del transporte público, llegando al grado de tener carriles destinados únicamente al tránsito de autobuses, en éstos países se ha tomado la decisión de mejorar el transporte público por el hecho de que es

más eficiente tener un buen sistema de transporte público que él no contar con uno, México no se ha quedado atrás con la puesta en marcha de redes de transporte público como el transporte metro, posteriormente metrobús y más recientemente ecobús, entre otros en el D.F. Como ejemplo las dimensiones de dos autos particulares equivalen a las dimensiones de un autobús suburbano con la diferencia de que este transporta tres veces más personas y emite la misma cantidad de gases invernadero. Lo que se tiene que hacer entonces es ofrecer un buen servicio de transporte, mejorando los vehículos destinados al transporte público, enfocándonos principalmente en la comodidad del pasajero, la estética y la introducción de energías amigables con el medio ambiente como medio de propulsión para estos.

2.2 Transporte público

El problema en los sistemas de transporte colectivo radica en dos hechos muy significativos, el primero es la contaminación, producto del gran crecimiento del parque vehicular particular y el poco crecimiento en el parque vehicular público. El segundo radica en la dependencia tecnológica, ya que a pesar de que la mayoría de los minibuses del transporte público son mexicanos estos son una adaptación de una carrocería a un chasis comercial, sin pensar en el confort del pasajero. En resumen la necesidad potencial radica en ofertar soluciones ecológicas para transporte masivo de personal que se apeguen a las necesidades del país y estado sin descuidar las necesidades propias del pasajero, integrando tecnología basada en la bioenergía o combustibles alternos.

El sistema de transporte público urbano impacta de manera directa en muchos ámbitos dentro de una ciudad, como lo es el desarrollo del proceso económico, en la jornada de trabajo diaria la cual repercute en el tiempo libre así como el disfrute o aprovechamiento del mismo, en el uso de otros servicios, en las condiciones de vida de la población. El sistema de transporte público

determina en mayor o menor medida el funcionamiento urbano y el crecimiento de las ciudades.

El transporte público urbano es uno de los problemas más complejos que existe en las ciudades en la actualidad ya que en ellas se han desarrollado redes muy extensas y complejas las cuales van creciendo y desarrollándose de acuerdo al crecimiento de la población, a las tendencias o a los patrones de migración por estas razones es de vital importancia que estas ciudades tan desarrolladas cuenten con un eficiente sistema de transporte público, hay algunos ejemplos de grandes urbes como Tokio, Nueva York, Los Ángeles, las cuales muestran que con una adecuada planeación es posible hacerle frente al problema de transporte público.

2.3 Transporte público en México

La cultura azteca se caracterizó desde sus inicios por su gran espíritu y convicción peregrina, realizando grandes travesías para finalmente establecerse y fundar la gran Tenochtitlán. A comienzos del siglo XIV esta ciudad se convirtió en el centro político, cultural, religioso y militar de todas las civilizaciones prehispánicas establecidas en Mesoamérica desarrollando rutas comerciales a lo largo y ancho de todo su territorio. Con la llegada de los españoles en el siglo XVI, Tenochtitlán se convirtió en la capital de la nueva España, debido al constante crecimiento de la población en el territorio de la nueva España, comenzó el desarrollo de otras ciudades en territorio aledaño, a la par de la aparición de estas nuevas ciudades también comenzó el desarrollo de rutas y caminos que establecieran una más fácil comunicación entre estas ciudades, cuando los medios de transporte también eran impulsados por animales. Con la independencia de México de la corona española y la irrupción de Porfirio Díaz, se comenzó a crear la red ferroviaria en la ciudad de México, y a mediados del siglo ya contaba con una red ferroviaria muy compleja siendo líder en América Latina junto a Brasil y Argentina sin embargo este sistema comenzó a decaer con el creciente uso de vehículos de carga y transporte de pasajeros, los cuales

no tenían restricciones de horario, rutas o itinerario, surgiendo así el sistema de transporte urbano o de la ciudad. Desde el inicio del desarrollo del servicio de transporte público en nuestro país no se ha tomado en consideración el confort del pasajero ni la estética en general de los autobuses destinados al transporte público. Si se da vuelta atrás se encontrará que el desarrollo de autobuses en México se remonta a principios de 1900, concretamente entre 1916 y 1918 cuando comenzó la transformación de automóviles particulares en carrocerías de 10 pasajeros, desde ese momento estas carrocerías únicamente se ensamblaban en chasis de camionetas de mercancías o de autos muy robustos sin tomarse en consideración la comodidad o bienestar del pasajero, cuestiones como estas que a simple vista parecen irrelevantes, pero que si son tomadas en cuenta y se les da la prioridad, valor y enfoque necesarios marcarían un notable desarrollo en la evolución del servicio de transporte público en el país.

2.4 Transporte público en Querétaro

La historia del transporte público automotor en Querétaro sin duda tiene su origen en la década de los años 20 cuando surge espontáneamente una oferta de transporte de carácter artesanal, que se da con vehículos automotores de carga, adaptados para la transportación de pasajeros, el servicio es prestado de manera individual por el mismo propietario, quien trabaja como operador de la unidad, con el tiempo se van conformando organizaciones de carácter gremial, el reconocimiento de estas organizaciones se da en 1935 cuando la secretaria de economía solicita al gobierno del estado que los permisos sean otorgados a sociedades cooperativas, y posteriormente en 1940 se aprueba el reglamento de tránsito. Finalmente la puesta en servicio de la autopista México – Querétaro aunada al proceso creciente de la industrialización y a la constante expansión demográfica, han propiciado una dinámica de crecimiento en la zona metropolitana de Querétaro, lo cual se ha visto reflejado en la cantidad y calidad del servicio de transporte público urbano. En la actualidad se aprecia una gran cantidad de unidades en servicio, la mayoría de ellas en pésimas condiciones

para el usuario y con un diseño que no ha cambiado en muchos desde sus inicios, ofreciendo casi la misma calidad que en años pasados producto de la falta de invención o renovación en los diseños por parte de los constructores dedicados al servicio de transporte público urbano.

La marca Scania es una de las empresas en México que se dedica a la construcción de autobuses y minibuses en territorio nacional y que además tiene una ensambladora en el estado de Querétaro, lo cual se hace con personal mexicano razón por la cual, la manufactura y diseño del minibús que se está desarrollando puede tener un impacto directo en la economía del país, demostrado que no es necesario tener una dependencia tecnológica con países extranjeros, ya que un porcentaje importante de minibuses desarrollados en el estado de Querétaro se realiza en talleres carroceros por personal mexicano. Se puede observar desde el surgimiento de los primeros autos destinados al transporte de personas, el objetivo ha sido brindar un sistema de transporte económico y de calidad para la sociedad mexicana, sin embargo la mayoría de estos modelos son manufacturados por manos mexicanas que se encuentran trabajando en empresas extranjeras, lo cual los hace dependientes tecnológicamente de estas empresas. Aunque en el sector de los autobuses foráneos la calidad del diseño esta mas enfocada a la calidad del pasajero en el sector de los midibús, que son destinados al transporte de personas en la zona urbana y alrededores se ha dejado de lado el diseño enfocado al confort del pasajero, esto ha traído como consecuencia que un porcentaje importante de la población opte por no usar este sistema, debido a las incomodidades que el uso de este implica a ciertos sectores de la población. Lo principal en cuanto al diseño es que muchas características de los midibús en el estado de Querétaro no están enfocadas a ciertos sectores de la población, por ejemplo personas de la tercera edad, mujeres embarazadas o discapacitados. Esta es una de las ventajas que presenta el midibús fabricado en la UAQ, entre ellas un piso de cama baja, para facilitar el acceso a sectores como los antes mencionados, además de una estética novedosa y atractiva para los usuarios. Desde hace mucho tiempo los medios de transporte han estado presentes en el desarrollo de

la sociedad tanto como transporte propio como para el transporte de mercancías.

2.5 Diseño y manufactura de transporte público en México

La construcción de autobuses marca un punto de partida importante en la historia del transporte público por la sencilla razón de que es un paso importante para cortar la dependencia tecnológica con empresas extranjeras dedicadas a la construcción de unidades para el servicio de transporte público. Entre 1916 y 1918, se inicio en México la transformación de automóviles particulares a carrocerías para diez pasajeros o para el transporte de mercancías. Se desmontaba la carrocería original de un Ford modelo “T” de cuatro cilindros, tres pedales y sin palanca de velocidades, se reforzaban los muelles, le cambiaban las defensas y las llantas, adaptándose así, una carrocería de madera muy avanzada para su época como se muestra en la Fig. 2.1.



Fig. 2.1 Vehículo montado en chasis modelo “T”.

Estas carrocerías se fabricaban en empresas familiares pertenecientes a la industria metal mecánica que tuvieron un desarrollo importante en los años 40 y 50 del siglo pasado, la comercialización se hizo conjuntamente con el fabricante del tren motriz en chasis (Ford, Dodge, Dina). El verdadero avance

tecnológico de esta época en cuanto al transporte público fue en los años 40 cuando el presidente de la república Miguel Alemán Valdez mejora las vías de transporte terrestre en el territorio nacional y empresas como ómnibus de México, que fue la primera empresa en introducir, en 1948, treinta autobuses que viajaban de la ciudad de México a Aguascalientes. Por esos años otras empresas tenían autobuses similares en cuanto a las características técnicas y estéticas de la carrocería. En la Fig. 2.2 se puede ver un autobús de la marca Scania autobuses los cuales fueron introducidos en el país en los años 40 su carrocería era semi metálica y su producción era artesanal.



Fig. 2.2 Autobús de la marca Scania modelo 1948.

Ya para los años 50 la marca Escania introduce un autobús de fabricación en serie con estructura y paneles completamente metálicos el cual se puede apreciar en la Fig. 2.3.



Fig. 2.3 Autobús Scania modelo 1957 fabricado en serie.

También en los años 50 entusiastas mexicanos forman el grupo DINA compañía industrial con capital en su mayoría aportada por el estado, con el propósito de eliminar la dependencia de corporaciones extranjeras como Scania o Mercedes y así la salida de divisas al extranjero con la utilización de materias primas nacionales. Se perseguía con esta empresa el control de los precios de los equipos automotrices en beneficio del autotransporte nacional y consecuentemente de una fuente de trabajo calificado aumentando el ingreso de los trabajadores mexicanos, así mismo la expansión de industrias colaterales ya existentes que fungirían como abastecedoras de DINA. Los primeros autobuses producidos por DINA en la ciudad de Sahagún salieron al mercado hasta 1956, sin embargo en 1954 autobuses de este tipo fueron importados por la marca automotriz FIAT y menciono esto porque DINA firmo un contrato de cooperación y asistencia técnica con la empresa italiana en 1954. El primer autobús ensamblado en las instalaciones DINA en territorio nacional fueron los modelos 682RN comercializados por DINA-FIAT en la Fig. 2.4 se puede ver un autobús DINA 682RN modelo 1956 construido en ciudad Sahagún.



Fig. 2.4 Primer autobús manufacturado en México por DINA.

En los años siguientes DINA rompe el convenio establecido con FIAT y se asocia con una empresa norteamericana, el primer modelo desarrollado por esta alianza fue un autobús modelo 311 conocido más comúnmente en esos días

como jorobado por la peculiar estética con que contaba su diseño, estos modelos fueron los primeros que ocuparon un porcentaje importante en el transporte público nacional. Para los años 60 específicamente en 1961 DINA producía 12 unidades mensuales del modelo 311 mostrado en la Fig. 2.5, lo cual marco un importante aumento de unidades en territorio nacional de autobuses manufacturados en México.



Fig. 2.5 Autobús 311 modelo 1961 DINA.

En 1979 se funda la Gerencia de Ingeniería del Diseño en Diesel Nacional (DINA) a iniciativa de Miguel Ángel Cornejo, diseñador industrial de la primera generación de la UNAM. El objetivo principal de esta oficina fue dar servicio de diseño industrial a las filiales de la pre estatal Diesel Nacional: DINA camiones, DINA autobuses, Mexicana de autobuses (MASA) y plásticos DINA. Se pueden mencionar muchos diseñadores que pasaron por DINA, y que entre los diseños que desarrollaron destacan el midibús para chasis DINA 433, autobús foráneo de 2 y 3 ejes, trolebús de 2 pisos, estudios y tablas antropométricas, así como accesorios y equipo diverso. Para los años 80 la empresa DINA construyó el DINA avante que fue el sucesor del modelo 311 de 1961 el cual se puede observar en la Fig. 2.6.



Fig. 2.6 DINA avante modelo 1988.

Se hace este recorrido por la historia de la empresa DINA puesto que fue una empresa puramente mexicana, dicho esto entre comillas, ya que todas las piezas que DINA usaba para el armado y ensamble de sus productos eran material importado por la marca FIAT, sin embargo no demerita el valor la manufactura y diseño sustentada por mexicanos. Desde 1970 el diseño de carrocerías comenzó a ser desarrollado por profesionales del diseño industrial, egresados de la universidad iberoamericana y de la universidad nacional autónoma de México, encontrándose con la importante labor de trabajar en equipo dentro de la empresa, conjuntamente en áreas como ingeniería, ventas y producción. Uno de los pioneros del diseño automotriz en México fue, Juan Manuel Aceves Cano, egresado de la universidad Iberoamericana quien siendo aun estudiante colaboro a principios de los setenta, con carrocerías pre construidas (Capre), y Autoconstrucciones capre (Accsa) en el diseño de sus vehículos, formando un equipo de diseño automotriz dentro de su empresa "Design Center" (hoy zimat); Algunos de sus trabajos son "el reparto" de carga, la "vanette" para Bimbo que se muestra en la Fig. 2.7.



Fig. 2.7 Vanette manufacturada en Accsa.

Otro ejemplo de los diseños desarrollados es el autobús urbano “metro bus”, el automóvil para fines militares “Comando” para Dodge se muestra en la Fig. 2.8 que también fue una de las principales aportaciones en esta época.



Fig. 2.8 Comando Dodge Accsa.

En el caso de la vanette para Bimbo se fabricaron cerca de 15000 unidades, el metro bus y el reparto obtuvieron premios por el Instituto Mexicano de Comercio Exterior que fue un gran promotor del diseño en los años setenta. En el Grupo Industrial Casa se llevo a cabo el rediseño del Delfín y el desarrollo

del Taxi van. Entre 1983 y 1988 en la Subdirección de Desarrollo Tecnológico de la Coordinación General de Transporte destaca la caja colectora de monedas para autobuses de ruta-100, investigación de nuevos medios de transporte, estudios de factibilidad y diseño de autobús urbano de aluminio. En los años 90 el sistema de transporte público nacional tuvo importantes cambios, uno de los más importantes es la introducción en el mercado nacional el modelo O371 Fig. 2.9 de la marca Mercedes Benz.



Fig. 2.9 Autobús Mercedes Benz modelo O371.

Entre otros diseñadores destaca Hugo Gallo como director de producto en Volvo con unidades como Masa Strada en 1998, las unidades 9300 y 8300 en el 2005, todas para transporte foráneo y la Mascott en conjunto con Eurocar para transporte urbano. Dentro de las instituciones Académicas también se han llevado a cabo desarrollos como el minibús eléctrico del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI) en la Universidad Autónoma de México en 1993 o la Universidad Autónoma Metropolitana y su Vehículo Eléctrico de Carga VEC en 1997. A partir del año 2000 la introducción en el mercado nacional de marcas como Mercedes Benz y Volvo que han establecido plantas en México donde se manufacturan estos autobuses, es cada vez más común, un ejemplo de esto es el modelo Andaré fabricado en México en convenio con Marco polo en Nuevo León mostrado en la Fig. 2.10.



Fig. 2.10 Autobús Andaré de Mercedes Benz.

En el año 2002 Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) le dio fuerte impulso al área de diseño enfocándose al desarrollo y actualización de varios productos, apuntamos como importantes el “VREI” vehículo de extinción de incendios aeroportuario y el autobús aeroportuario de construcción integral y piso o cama baja “Aerobús”. Actualmente en México entre las empresas fabricantes de vehículos de mayor impacto en el mercado se encuentran Reco, Ayco, Dina, Operbus, American Coach, Aerotek, Suma, Volvo, Masterbox, Regiobus, Cafer, Pentar, Incamex, Oisa, Sultana, Beccar, Ferbel, Vanettesa, dichas empresas cuentan con un mercado anual de cerca de 10000 unidades (*Departamento de ingeniería Eurocar México S.A. de C.V. 2004*).

2.6 Clasificación de vehículos de transporte público

El servicio de autotransporte de pasajeros es aquel que se presta regularmente sujeto a horarios y frecuencia para la salida y llegada de vehículos. El servicio económico operara con paradas intermedias entre el origen y el destino y el servicio mixto se prestara para el transporte de pasajeros y su carga en un mismo vehículo, en cuyo interior tenga espacio disponible para las personas y sus equipajes y otra para las mercancías. Existen dos clasificaciones

principales para los vehículos destinados al transporte de pasajeros, la primera es de acuerdo a las distancia entre ejes con la cuenta el vehículo y la segunda es tomando como punto de partida el tipo de servicio que presta cada uno de ellos.

2.7 Clasificación de vehículos de transporte público de acuerdo a la distancia entre ejes

A continuación se presentan los vehículos enfocados al servicio de transporte público más representativos y su clasificación se muestra de acuerdo a las características existentes en cada diseño con respecto a la distancia entre ejes con que cuenta cada uno de ellos.

Se le clasifica como Autobús Urbano a aquellas unidades que trasladan personas de un punto a otro dentro de la ciudad (minibús, midibús, autobús coraza, autobús semichato, autobús articulado). El midibús es un vehículo automotor de estructura integral o convencional con capacidad mínima de 16 y máxima de 30 personas. El midibús convencional conformado por un chasis que incluye el tren motriz, suspensión, sistema de frenos neumáticos, equipo y accesorios para su operación, al cual se le ensambla una carrocería. El midibús integral es un vehículo automotor de 6 o más llantas, conformado por un chasis que incluye el tren motriz, suspensión, sistema de frenos neumático, carrocería, equipo y accesorios para su operación (*departamento de ingeniería Eurocar México S.A. de C.V., 2004*).

Se le clasifica como Autobús Urbano a aquellas unidades que trasladan personas de un punto a otro dentro de la ciudad.

Se clasifica como autobús escolar o de personal a aquellas unidades que trasladan estudiantes o trabajadores, en una ruta definida de sus hogares a la escuela o viceversa dentro de la ciudad o a lugares cercanos. (Minibús, midibús,

autobús coraza, autobús semichato, autobús articulado, que se muestra en las siguientes figuras).

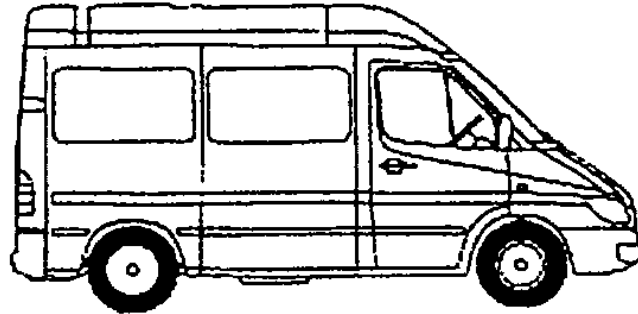


Fig. 2.11 Vagoneta.

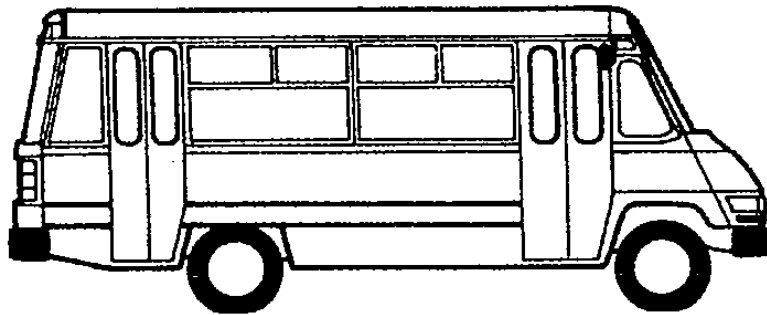


Fig. 2.12 Minibús.

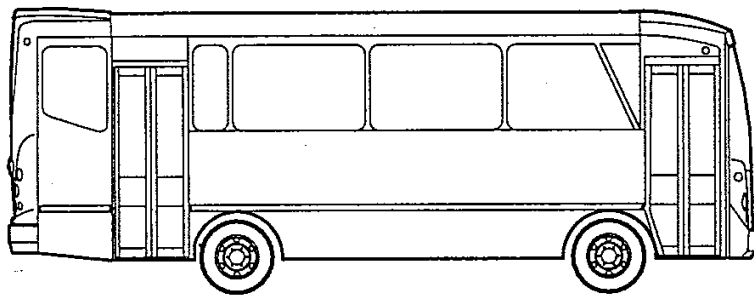


Fig. 2.13 Midibús.

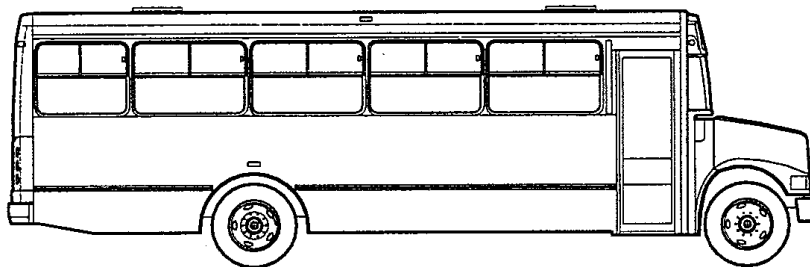


Fig. 2.14 Autobús Coraza.

Se le clasifica como Autobús Suburbano a aquellas unidades que trasladan personas en la periferia de una ciudad, complementando el servicio urbano operando en rutas que enlazan con rutas internas (autobús semichato, autobús chato motor delantero, autobús chato motor trasero, como se muestra en las siguientes figuras).

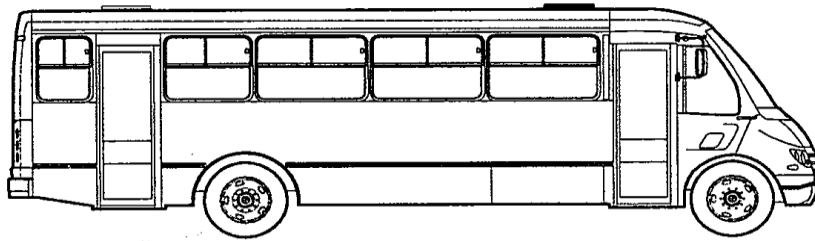


Fig. 2.15 Autobús Semichato.

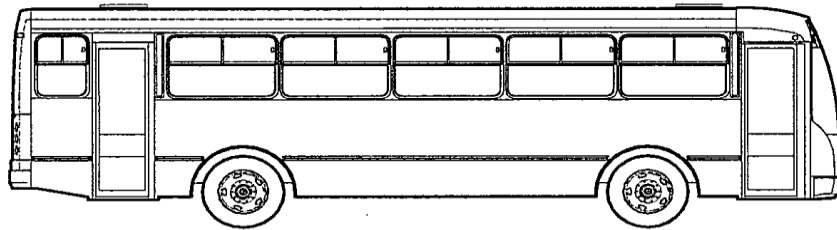


Fig. 2.16 Autobús chato motor delantero.

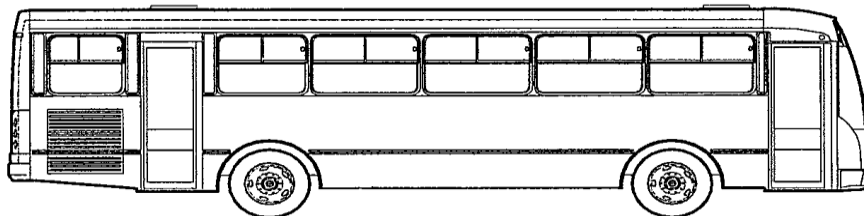


Fig. 2.17 Autobús chato motor trasero.

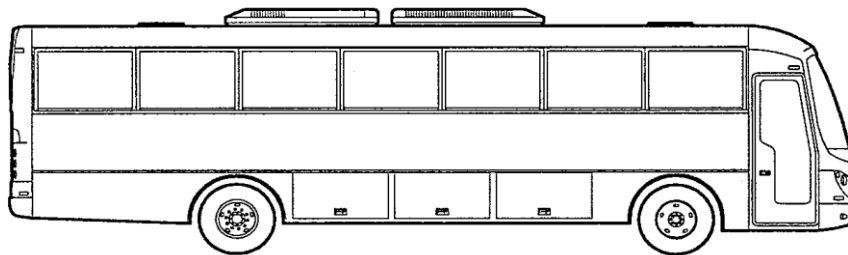


Fig. 2.18 Autobús Foráneo.

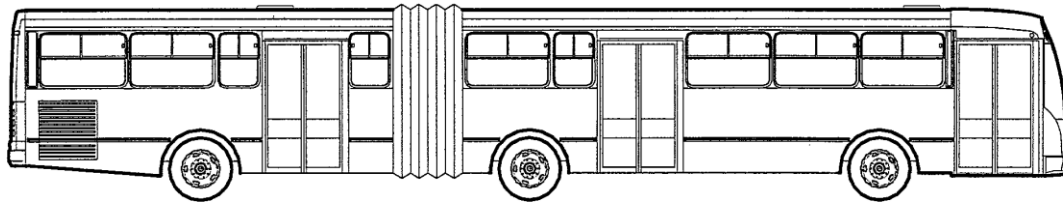


Fig. 2.19 Autobús Urbano articulado.

Se clasifica como autobús Turístico a aquellas unidades ya sea con rutas especiales o con una ruta fija para mostrar partes importantes de la ciudad.

Se clasifica como autobús para grupos discapacitados, a aquellas unidades que contemplan dispositivos y rutas especiales como sillas de ruedas y rampas, así como el señalamiento adecuado interna y externamente.

Se clasifica como autobús especial, a aquellas unidades que se fabrican para dar servicios especializados y generalmente como particulares como por ejemplo el aeroportuario (*secretaría de transporte y vialidad Setravi, 2003*).

2.8 Clasificación de vehículos de transporte público de acuerdo a su construcción

Esta clasificación se utiliza en la industria fabricante de autobuses y se encuentra en función de la colocación y manera de distribución de los elementos mecánicos. Se divide en dos tipos por un lado se encuentran los integrales que son aquellos en los que los componentes de la carrocería cumplen la función estructural formando un conjunto auto soportado. En ella se montan directamente los componentes mecánicos, careciendo de un bastidor (chasis). Este tipo de construcción permite el diseño de autobuses urbanos de piso o cama baja o con cajuelas pasadas para equipaje en autobuses foráneos, como se muestra en la Fig. 2.20.

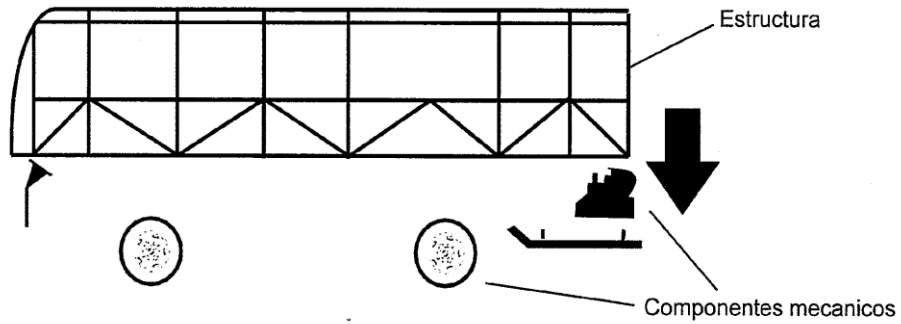


Fig. 2.20 Vehículo con estructura integral.

Por otro lado se encuentran los vehículos sobre chasis, estos vehículos son aquellos en los que sobre un bastidor con partes motrices incluidas previamente (chasis) se coloca una carrocería independiente para tener así un vehículo completo. Su fabricación es mas económica y comercial sin embargo, esto restringe el diseño limitándose únicamente a las bondades que permita el chasis sobre el que se monta la estructura, un ejemplo de las limitantes se encuentra en la incapacidad de construir autobuses urbanos de piso bajo. En la Fig. 2.21, se muestra una estructura montada sobre chasis.

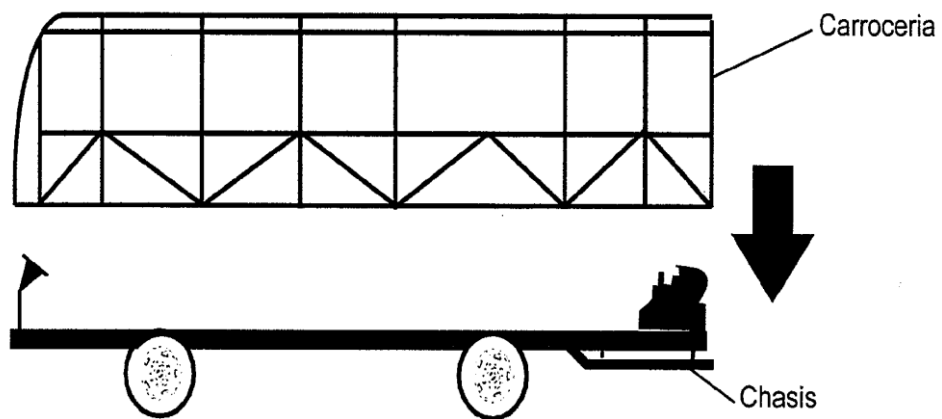


Fig. 2.21 Vehículo con estructura sobre chasis.

2.9 Clasificación de tipos de chasis

En las siguientes figuras se muestran los diferentes tipos de chasis comercializados en México y de las principales marcas como son, Industria Terminal, Mercedes Benz, Volkswagen, International, Ford, GM.

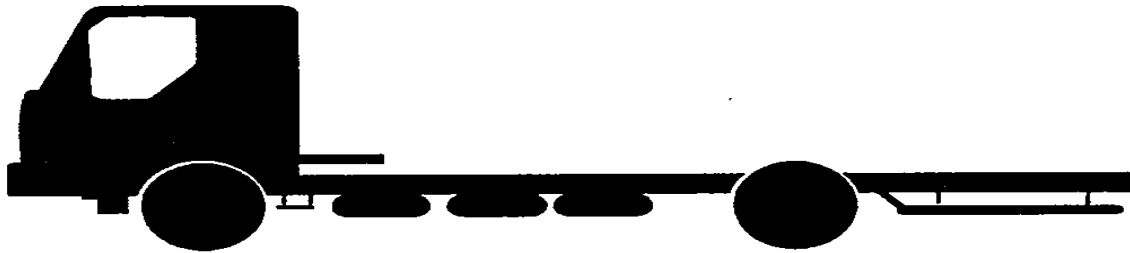


Fig. 2.22 Chasis cabina.



Fig. 2.23 Chasis coraza.



Fig. 2.224 Chasis control delantero motor trasero.



Fig. 2.25 Chasis control delantero motor delantero.



Fig. 2.26 Chasis semicontrol delantero motor delantero.

El tipo de chasis que se utiliza con mayor frecuencia en el mercado nacional, es el chasis tipo coraza con motor delantero. Sin embargo, para la construcción del midibús, el tipo de chasis seleccionado, fue el chasis de tipo integral con motor delantero.

2.10 Normatividad

La presente norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, establece las características y especificaciones técnicas y de seguridad mínimas que debe cumplir el midibús nuevo con capacidad de 16 a 30 pasajeros, que prestan servicios de autotransporte económico y mixto en caminos de jurisdicción federal dentro de los Estados Unidos Mexicanos.

2.11 Norma Oficial Mexicana NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999,
TRANSPORTE TERRESTRE-SERVICIO DE AUTOTRANSPORTE
ECONOMICO Y MIXTO-MIDIBÚS-CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES
TECNICAS Y DE SEGURIDAD.

Considerando que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización faculta a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para la elaboración de las normas oficiales mexicanas en las que se establezcan las características, especificaciones y métodos de prueba para su comprobación, respecto de la fabricación y operación de los vehículos y equipos de autotransporte. Que el Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en su artículo 19 fracción X, le otorga la facultad para elaborar proyectos de normas oficiales mexicanas, respecto de la fabricación y operación de los vehículos destinados al servicio de autotransporte federal.

Que el acuerdo que tiene por objeto establecer las características, especificaciones técnicas y de operación para la sustitución de vehículos tipo minibús, microbús, combi o equivalentes que prestan el servicio de autotransporte de pasajeros en sus modalidades económico y mixto y que transitan en caminos de jurisdicción federal, llevando a cabo recorridos no mayores a 30 kilómetros, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 1997, en su artículo cuarto establece que estas modalidades de servicio deberán prestarse en vehículos tipo midibús que cumplan con la Norma Oficial Mexicana (*NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999*).

2.12 Referencias para la presente norma

La presente norma OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 se complementa con las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas vigentes o las que las sustituyan que se muestran en la Tabla 2.1.

NOM-016-SCT-2	Industria - Hulera - Llantas para camión - Especificaciones y métodos de prueba.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de noviembre de 1997.
NOM-012-SCT-2	Sobre el peso y dimensiones máximas con las que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de enero de 1997.
NOM-027-STPS	Señales y avisos de seguridad e higiene.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de octubre de 1995.
NOM-026-STPS	Seguridad - Colores y su aplicación.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de mayo de 1994.
NMX-D-139	Industria Automotriz-Dispositivos de advertencia.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1994.
NMX-2-12	Muestreo para la inspección por atributos.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de octubre de 1987.
NOM-044-ECOL	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3 857 kg.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993.
NOM-045-ECOL	Establece los niveles máximos permisibles de opacidad de humo provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de abril de 1997.
NOM-047-ECOL	Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado del petróleo, gas natural y otros combustibles.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993.
NOM-050-ECOL	Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado del petróleo, gas natural y otros combustibles.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993.

Tabla 2.1 Referencias para la presente norma.

NOM-076-ECOL	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como los hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado del petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos en planta, con peso bruto vehicular mayor de 3 857 kg.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de diciembre de 1995.
NOM-077-ECOL	Procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de noviembre de 1995.
NOM-079-ECOL	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de enero de 1995.
NOM-008-SCFI-1993	Sistema de unidades de medida.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de octubre de 1993.
NMX-CC-3	Sistemas de calidad - Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de julio de 1995.
NMX-CC-4	Sistemas de calidad - Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable a la fabricación e instalación.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de julio de 1995.
NOM-131-SCFI	Determinación, asignación del número de identificación vehicular - Especificaciones.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 1998.
NOM-100-STPS	Seguridad - Extintores contra incendio a base de polvo químico o seco con presión contenida - Especificaciones.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de enero de 1996.

Tabla 2.1 Referencias para la presente norma (continuación).

2.13 Capacidad máxima permitida

La capacidad máxima de personas sentadas por unidad vehicular, estará en función del peso bruto vehicular especificado por el fabricante, así como el peso vehicular incluyendo la carrocería y el peso promedio por persona, esta capacidad se determina de acuerdo a la siguiente fórmula y considerando un peso promedio por persona de 70 kg. Esto se describe en la Ecu. 2.1.

$$\text{Número de personas máximo permitido (capacidad)} = \frac{\text{Peso bruto vehicular} - \text{Peso vehicular}}{\text{Peso promedio por persona (70 kg)} - \text{Equipaje por persona (15 kg)}} \quad \text{Ecu. (2.1)}$$

Ecu. (2.1) Capacidad máxima permitida

El peso bruto vehicular se determina considerando la capacidad de carga del eje delantero mas la capacidad de carga del eje trasero los cuales tendrán

una capacidad no menor a 3624 kg para el delantero y 6795 para el trasero, además sus componentes deberán tener la capacidad no menor a la de los ejes. El diseño y los cálculos correspondientes de los elementos que determinan el peso bruto vehicular, los debe tener disponibles el fabricante del vehículo, comprobando que dichos componentes soportan las cargas y fatigas a que se someta la unidad de acuerdo con su peso bruto vehicular de diseño y demás condiciones de seguridad y comodidad que deben cumplir. En todas las unidades el eje direccional debe ser rígido. Los ejes delantero y trasero deben disponer de un sistema de suspensión neumático o mecánico (de muelles) acordes al peso vehicular de la unidad, considerando la distribución de cargas máximas por eje y demás componentes mecánicos. Esto se verifica de acuerdo con el procedimiento que establece más adelante en la presente Norma. La distribución del peso bruto vehicular en los ejes estará de acuerdo a las especificaciones de diseño; la capacidad máxima en ellos no debe exceder 5% las especificaciones del fabricante. Esto se verifica pesando cada uno de los ejes en una báscula de pesaje por ejes.

2.14 Resistencia y durabilidad a la fatiga

La estructura debe ser capaz de soportar esfuerzos de torsión y flexión bajo las condiciones de deformación que a continuación se establecen. Para torsión el vehículo con su máximo peso bruto vehicular no debe presentar deformaciones elásticas en su estructura, que originen mal funcionamiento de los componentes de la carrocería. Para la flexión el vehículo cargado a 2,5 veces la carga útil no deberá presentar deformaciones elásticas mayores a 0,015 m. Esto se verificará de acuerdo con el procedimiento que establece más adelante en la presente Norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999. La estructura debe ser capaz de resistir las cargas dinámicas que se presenten durante por lo menos cinco años, sin que se manifiesten fatigas o fracturas en los elementos estructurales importantes tales como: soportes de suspensión, dirección, motor o cualquier otro elemento que cause el desmontaje de revestimientos para su

reparación. Esto se verifica mediante las memorias de cálculo de diseño para cargas estáticas y dinámicas y de fabricación del vehículo completo, de acuerdo con el procedimiento en la presente Norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999.

2.15 Métodos de prueba

Para llevar a cabo la evaluación de la conformidad de los midibús, los cuales son el objeto de análisis de la Norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, debe seleccionarse de una muestra aleatoria representativa del lote a evaluar.

Para la verificación de las especificaciones que se establecen en la presente Norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, deben aplicarse los métodos de prueba establecidos en las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas que se describen a continuación.

Las deformaciones elásticas que se presenten, no deben generar mal funcionamiento de los componentes de la carrocería, tales como: puertas, ventanillas y salidas de emergencia, rupturas en cristales y parabrisas, desprendimiento de asientos, pasamanos o cualquier elemento estructural interno o externo del vehículo.

2.16 Determinación de la deformación elástica

El vehículo cargado a 2,5 veces su carga útil, uniformemente distribuida a lo largo del mismo, será soportado en los cuatro puntos de apoyo de la suspensión y sobre el chasis serán ubicados seis puntos que serán monitoreados con un indicador de carátula, para determinar la deformación. Una vez realizada la prueba, las deformaciones elásticas que se presenten no deben ser superiores a 0.015 m. (*NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999*).

2.17 Determinación de las cargas dinámicas

Para la determinación de la resistencia del vehículo a las cargas dinámicas es necesario un equipo de computadora con capacidad suficiente para soportar programas de análisis finito de fuerzas en tres dimensiones. El procedimiento será la simulación del modelo numérico en computadora. Una vez realizada la prueba, el modelo no debe presentar ningún punto que sobrepase el límite de fatiga del material del chasis y de las soldaduras empleadas.

2.18 Niveles máximos de emisiones contaminantes

Sin dejar de lado el hecho de que también se pretende hacer una contribución a la preserva del medio ambiente y pensando en el desarrollo de unidades amigables con el medio ambiente, todas las unidades deben cumplir con los niveles máximos de emisión de contaminantes, de acuerdo con las disposiciones que establecen las normas oficiales mexicanas ecológicas; NOM-044-ECOL, NOM-045-ECOL, NOM-047-ECOL, NOM-050-ECOL, NOM-076-ECOL, NOM-077-ECOLy NOM-079-ECOL.

2.19 Sanciones

El incumplimiento a las disposiciones contenidas en la presente Norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, será sancionado conforme a lo dispuesto en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal, el Reglamento de Autotransporte Federal y Servicios Auxiliares, el Reglamento de Tránsito en Carreteras Federales, el Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal, el Acuerdo que tiene por objeto establecer las características, especificaciones técnicas y de operación para la sustitución de vehículos tipo minibús, microbús, combi o equivalentes que prestan el servicio de autotransporte de pasajeros, en sus modalidades económico y mixto, y que transitan en caminos de jurisdicción

federal, llevando a cabo recorridos no mayores a 30 km, así como los demás ordenamientos jurídicos que resulten aplicables. La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y la Procuraduría Federal del Consumidor son las autoridades competentes para vigilar el cumplimiento de la presente Norma NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, conforme a la legislación correspondiente. Los interesados en la obtención de permisos para la prestación del Servicio de Autotransporte de Pasajeros a que se refiere la presente Norma, deben presentar ante la Dirección General de Autotransporte Federal o Centros SCT, en original, la certificación del vehículo expedida por personas u organismos de certificación debidamente aprobados y acreditados, de conformidad con lo que establece el artículo 35 de la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal, sin menoscabo de los requisitos y disposiciones que señalan los artículos 7o. y 25 del Reglamento de Autotransporte Federal y Servicios Auxiliares. Los vehículos sujetos a la presente Norma que transitan por los caminos y puentes de jurisdicción federal, deben cumplir con la verificación técnica de las condiciones físicas y mecánicas que efectúen los Centros de Control Técnico per misionados por la SCT o los operativos que se instrumenten para verificar el cumplimiento de las especificaciones que se establecen en la presente Norma.

2.20 Método de Análisis por Elemento Finito

El método de análisis por elemento finito ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas de ingeniería, físicos, etc. Ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales. Esta circunstancia obligaba a los ingenieros a fabricar prototipos, realizar ensayos, y posteriormente en base a los resultados obtenidos y realizando mejoras de forma iterativa, este tipo de eventos traía consigo un elevado costo tanto económico como una inversión de tiempo bastante considerable en el desarrollo.

Es por eso que con todo el progreso computacional, hoy en día el método de análisis por elemento finito es considerado como una de las bien establecidas y convenientes herramientas de análisis para ingenieros y científicos aplicados. El método de análisis por elemento finito fue desarrollado originalmente para el análisis de estructuras aeroespaciales. Sin embargo, la naturaleza general de su teoría lo hace aplicable para una gran variedad de problemas de valores en las fronteras de la ingeniería, y es que el método de análisis por elemento finito permite realizar un modelo del sistema real, de una forma más rápida y económica que la fabricación y prueba por medio de prototipos. El método de análisis por elemento finito, es un método numérico que sirve para resolver ecuaciones diferenciales, la forma más simple de estudiarlo es desarrollar su metodología a través de una ecuación simple en donde se presenten sus fundamentos, sus conceptos, sus aspectos numéricos, su terminología, y su sistematización, sin demostraciones formales. El principio básico de este método es la filosofía de divide y vencerás, es por eso que de un sistema continuo, se construye un sistema discreto, partiendo éste en tantas partes como los cálculos lo requieran, lo que siempre está en función de la capacidad computacional que cada día es mayor. El método de análisis por elemento finito es por tanto una técnica computacional usada para obtener soluciones aproximadas para problemas de valores en la frontera en ingeniería. Un problema de valor en la frontera, es un problema en el cual una o más variables dependientes deben satisfacer una ecuación diferencial en cualquier región de un dominio de variables independientes ya conocido. Problemas de valor frontera también son conocidos como problemas de campo. El campo es el dominio de interés y frecuentemente representa una estructura física. Las variables de campo son las variables dependientes de interés gobernadas por una ecuación diferencial. Las condiciones de frontera son los valores especificados de las variables de campo (o variables relacionadas tales como derivadas) en las fronteras del campo. Dependiendo del tipo de problema físico a analizar, las variables de campo pueden incluir desplazamiento físico, temperatura, flujo de calor y velocidades de flujo por mencionar algunas (*Irla Mantilla Núñez*).

2.21 Principales métodos de Análisis por Elemento Finito

Es un hecho que muchos de los problemas en ingeniería están gobernados por ecuaciones diferenciales. Donde en escasas ocasiones existe una solución exacta para dichas ecuaciones, ya sea por complejidades geométricas o de cargas. Aun así, técnicas de aproximación son indispensables para resolver ecuaciones diferenciales en análisis de ingeniería. El método de análisis por elemento finito recurre a algunas técnicas de aproximación más fundamentales. Los métodos de error, también conocidos como método de los residuos ponderados o pesados, se basa en la idea de hacer que la función error de la ecuación diferencial, $e(X)$, sea mínima en algún contexto.

El método de residuos ponderados: es una técnica de aproximación para resolver problemas de frontera que utiliza funciones de prueba satisfaciendo las condiciones de frontera preestablecidas y una función integral que minimiza el error, en un sentido promedio sobre el dominio del problema. El mayor requisito que deben cumplir las funciones de prueba es que sean funciones admisibles, esto es que las funciones de prueba sean admisibles sobre el dominio de interés y que satisfagan las condiciones de frontera de manera exacta. Además de que las funciones de prueba deben satisfacer con la física del sistema en un sentido general. Dando estas condiciones, de esta forma, es muy poco probable que la solución obtenida sea una solución exacta, por lo tanto se obtiene como resultado un error residual o llamado simplemente residual. Existen algunas variaciones del método de residuos ponderados y dichas variaciones radican principalmente en cómo los valores prueba son determinados o seleccionados.

Las técnicas más comunes son: **método de punto de colocación**, **método de subdominio de colocación**, **método de mínimos cuadrados** y **método de Galerking**. El método de las funciones prueba no es de uso reciente ya que el **método de Ritz** se publicó en 1909 y el método de Galerking en

1915. La idea original consiste en aproximar a la funciones prueba $\phi_i(x)$, en toda la región de la ecuación diferencial (*Dr. Octavio A Rascón Chávez*).

El Método de Galerking: es una técnica que proporciona el marco general para la aproximación de algunos problemas variacionales, en la práctica, se convierte en un algoritmo especial de discretización, que mediante la definición de una combinación lineal sobre un espacio de dimensión finita, se le denomina, Método de Elementos Finitos. Su aplicación es muy importante, por ser muy usual en la resolución numérica de problemas de valores de frontera que con frecuencia se presentan en modelaciones fenomenológicas de la Ingeniería (*Irla Mantilla Núñez*).

2.22 Software para análisis por elemento finito

Existen distintos programas computacionales que cuentan con una plataforma adecuada para realizar la simulación y el análisis por elemento finito. Abaqus es un programa destinado a resolver problemas de ciencias e ingeniería y el cual está basado en el análisis por elemento finito. Con este programa se pueden resolver casi cualquier tipo de problemas, desde un simple análisis lineal hasta simulaciones complejas no lineales. Abaqus contiene una extensa biblioteca de elementos finitos que permiten modelar virtualmente cualquier geometría, así como su extensa lista de modelos que simulan el comportamiento de la mayoría de materiales haciendo muy flexible su uso en distintas áreas de ingeniería (*Abaqus programa de elementos finitos, Maylett Y. Uzcátegui Flores*).

Por otro lado ansys al igual que abaqus, es otro software usado comúnmente para la modelación y solución de estructuras por elemento finito.

Ansys es un programa de aplicación general para el cálculo con elementos finitos, se pueden resolver problemas estructurales, térmicos, eléctricos, magnéticos, de fluidos etc. Además, se pueden realizar cálculos lineales y no lineales.

Para este trabajo, ansys se utilizará como programa auxiliar a abaqus, únicamente con el fin de realizar un comparativo de resultado entre ambos software de modelación por elemento finito (*Método de los elementos finitos, Pilar Ariza Moreno, Andrés Sáez Pérez, 1999*).

2.23 Módulo de Young

El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Este comportamiento fue observado y estudiado por el científico inglés Thomas Young. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo, siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y siempre es mayor que cero. El módulo de elasticidad es una constante elástica que, al igual que el límite elástico, puede encontrarse empíricamente mediante ensayo de tracción del material. Además de este módulo de elasticidad longitudinal, puede definirse el módulo de elasticidad transversal de un material. Para un material elástico lineal el módulo de elasticidad longitudinal es una constante aplicándose únicamente en valores de tensión dentro del rango de reversibilidad completa de deformaciones, es decir que no sufren una deformación permanente en su estructura. En este caso, su valor se define mediante el coeficiente de la tensión y de la deformación que aparecen en una barra recta estirada que esté fabricada con el material para el cual pretendemos estimar el módulo de elasticidad como se muestra en la Fig. 2.27.

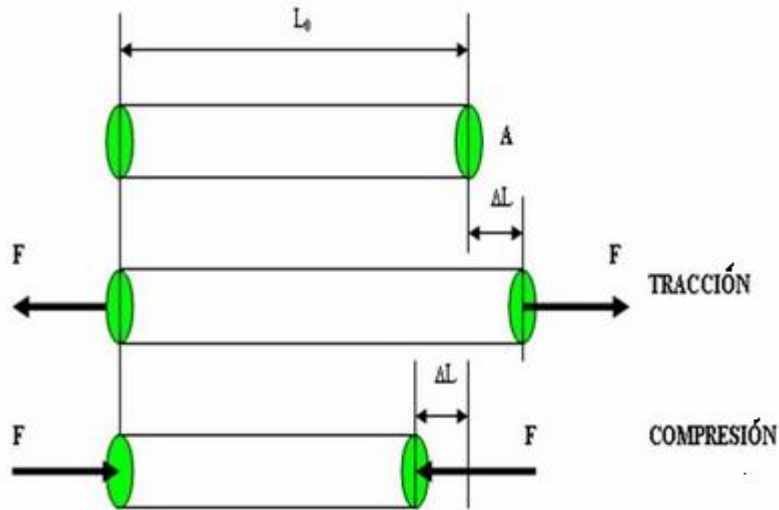


Fig. 2.237 El módulo de Young se define con una relación entre tensión y deformación.

El módulo de Young es definido como se muestra a continuación:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/S}{\Delta L/L} \quad \text{Ecu. (2.2)}$$

Ecu. (2.2) Módulo de Young.

Donde:

E Es el módulo de elasticidad longitudinal.

σ Es la presión ejercida sobre el área de sección transversal del objeto

ϵ Es la deformación unitaria en cualquier punto de la barra.

Tanto el módulo de Young como el límite elástico son distintos para los diversos materiales, en la Tabla 2.2 se muestran los valores correspondientes a algunos de los materiales usados más a menudo (*Koshkin*).

Metal	Módulo de Young, $Y \cdot 10^{10}$ N/m²
Cobre estirado en frío	12.7
Cobre, fundición	8.2
Cobre laminado	10.8
Aluminio	6.3-7.0
Acero al carbono	19.5-20.5
Acero aleado	20.6
Acero, fundición	17.0
Cinc laminado	8.2
Latón estirado en frío	8.9-9.7
Latón naval laminado	9.8
Bronce de aluminio	10.3
Titanio	11.6
Níquel	20.4
Plata	8.27

Tabla 2.2 Módulo de Young de los principales metales.

2.24 Ecuación de Poisson

El coeficiente de Poisson, denotado mediante la letra griega ν es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento, como se muestra en la Fig. 2.28.

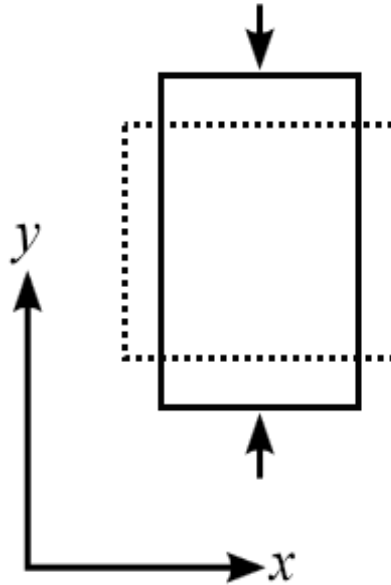


Fig. 2.248 Coeficiente de Poisson.

El nombre de dicho coeficiente esta dado en honor al físico francés Simeón Poisson. Si se toma un prisma mecánico fabricado en el material cuyo coeficiente de Poisson pretendemos medir y se somete este prisma a una fuerza de tracción aplicada sobre sus bases superior e inferior, el coeficiente de Poisson se puede medir como: la razón entre el alargamiento longitudinal producido dividido por el acortamiento de una longitud situada en un plano perpendicular a la dirección de la carga aplicada. Este valor coincide igualmente con el cociente de deformaciones, de hecho la fórmula usual para el Coeficiente de Poisson es:

$$\nu = \frac{\epsilon \text{ trans}}{\epsilon \text{ long}} \quad \text{Ecu. (2.3)}$$

Ecu. (2.3) Ecuación de Poisson.

Donde:

ϵ Es la deformación.

La mayor parte de los materiales prácticos en la ingeniería rondan entre 0,0 y 0,5, aunque existen algunos materiales compuestos llamados materiales auxéticos que tienen coeficiente de Poisson negativo, en la Tabla 2.3 se muestra el coeficiente de poisson de principales metales y aleaciones(*J.E. Shigley y C.R. Mischke*).

Tabla de Coeficientes de Poisson.	
Aceros, aleaciones bajas	0.3
aceros aleaciones altas	0.3
Aluminio y sus aleaciones	0.33
Babbitt, metal blanco con base estaño	--
Bronce fosforoso	0.33
Bronce poroso	0.22
Hierro fundido	0.26
Cobre	0.33
Latones bibliografía	0.33

Tabla 2.3 Valores de Coeficiente de Poisson.

3 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

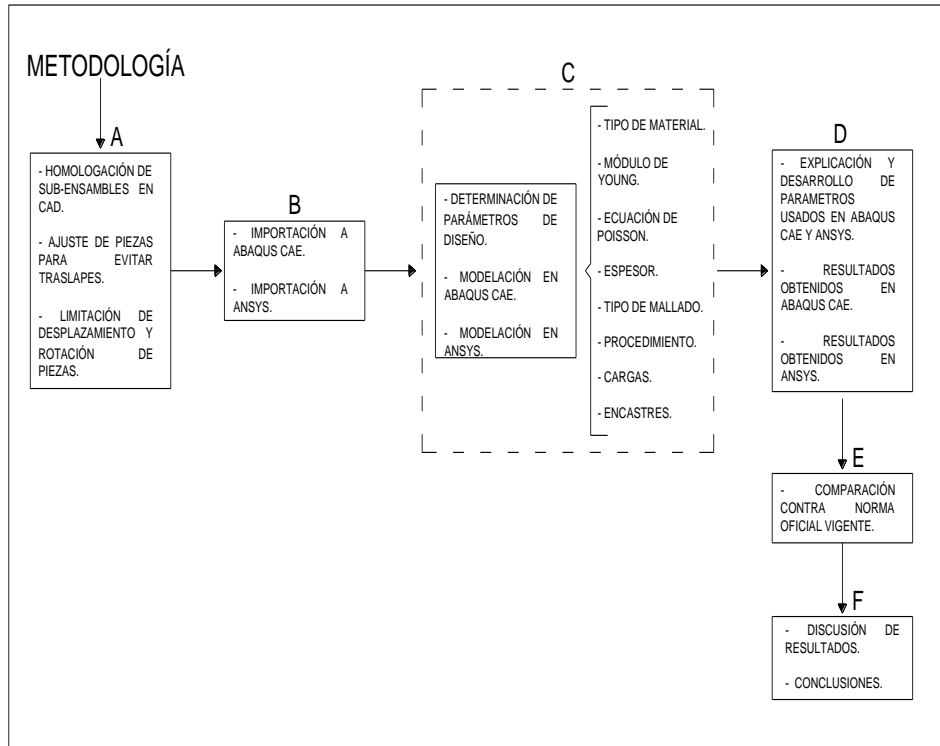
3.1 Introducción

Una estructura puede concebirse como un sistema, es decir, como un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada. La función que desempeñe la estructura puede ser muy variada en función del fin para la cual fue desarrollada, por ejemplo puede ser utilizada como sustento de los componentes de distintas máquinas o vehículos de transporte como lo pueden ser máquinas-herramienta, automóviles, barcos o aviones. La estructura debe cumplir la función para la cual está destinada con un grado razonable de seguridad y de tal manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio. Además, debe de satisfacer otros requisitos tales como mantener el costo dentro de los límites económicos del fabricante, satisfacer determinadas exigencias estéticas así como cumplir con los parámetros mínimos que requiera el diseño de acuerdo a las normas vigentes establecidas.

3.2 Metodología del análisis

El desarrollo del análisis por elemento finito del chasis integral del midibús será realizado mediante una serie de pasos estructurados y ordenados, necesarios para aprovechar y mejorar los tiempos y mecanismo que se requieren para facilitar las simulaciones a generar.

A continuación se describe la metodología en la Fig. 3.1, definida para realizar el presente trabajo.



3.1 Organigrama de Metodología de Actividades

A: El punto de partida para el desarrollo de la simulación de la presente tesis, es contar con el diseño en un archivo de CAD, concretamente en NX de la estructura completa de un midibús. En ese momento comienza la homologación de las piezas de la estructura, estableciéndolas como una sola pieza, también es necesario corregir piezas de la estructura que requieren algún recorte o alargamiento, y por último es necesario limitar el desplazamiento o rotación de cada pieza, lográndose con ello que actúen como parte de un solo sub-ensamble que a su vez conforman la estructura completa del chasis integral de un midibús.

B: Posteriormente se procede a realizar la exportación e importación del archivo en Abaqus y más adelante en Ansys, y se determinarán las extensiones más eficientes para lograr la cometida.

C: Con el archivo importado, tanto en Abaqus, como en Ansys, se determina y establece dentro de cada software, y de acuerdo a los requerimientos que cada uno necesita, los parámetros de diseño para su correcta y adecuada modelación.

D: Con los parámetros establecidos en ambos software se presentara una explicación de cada uno de ellos, mostrando que en ambos casos se modelo bajo las mismas condiciones de diseño. De esta manera se presentaran los resultados obtenidos, tanto en Abaqus, como en Ansys.

E: Con los resultados obtenidos, se realiza un comparativo contra la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, TARNSPORTE TERRESTRE-SERVICIO DE AUTOTRANSPORTE ECONOMICO Y MIXTO-MIDIBÚS-CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS Y DE SEGURIDAD.

F: Se realiza una discusión con los resultados obtenidos, y en base a ellos se establecen y explican las conclusiones que arroje el presente trabajo.

3.3 Consideraciones y parámetros de diseño

A continuación se presenta la narrativa de todas las consideraciones así como cada uno de los parámetros que se emplearon y la justificación de cada uno de ellos para la correcta modelación de la estructura del chasis integral del midibús.

3.4 Unión de partes en una sola pieza en Unigraphics (NX)

Con la estructura del chasis integral del midibús en un archivo CAD específicamente en NX, comenzó la revisión de dicho archivo. El primer paso fue revisar que cada una de las partes de cada sub-ensamble, los cuales a su vez forman el ensamble completo de la estructura del chasis integral del midibús. Utilizando el comando “wave geometry”, se deben unir las partes de los sub-ensambles y hacerlos una sola pieza.

3.5 Ensamble completo en Unigraphics (NX)

Al comienzo de la revisión del ensamble completo, se reviso que no existan piezas traslapadas unas con otras, en cada uno de los sub-ensambles y en algunas piezas simples que conforman la estructura del chasis integral del midibús. Se deben corregir las piezas que requieran un recorte o alargue. Se deben acoplar nuevamente al sub-ensamble que pertenecen, y finalmente al ensamble completo de la estructura del chasis integral del midibús.

3.6 Limitación de desplazamiento y rotación de las piezas de cada ensamble en Unigraphics (NX)

Utilizando el comando “Move” en NX se puede desplazar alguna pieza en distintas direcciones o también rotar, para efecto del análisis que se pretende todas las piezas del ensamble deben estar fijas y limitadas en su movimiento, todas las piezas deben moverse uniformemente como una sola pieza. Debe realizarse una revisión pieza por pieza de cada uno de los sub-ensambles para verificar que cumplan con dichas condicionantes aplicando “Constraints”. También se debe revisar el ensamble completo del chasis integral de un midibús.

3.7 Extensión conveniente para exportar desde Unigraphics (NX)

Se deben revisar las opciones de extensiones y los métodos con la que debe ser exportada la estructura del chasis integral de un midibús. Existen opciones como la extensión SAT, sin embargo NX no cuenta con la opción para exportar en SAT.

La extensión IGES se puede importar desde NX e importar en Abaqus de manera directa.

Una tercera opción para exportar desde NX a Abaqus de manera directa es como un PARASOLID.

3.8 Programa auxiliar utilizado para exportar e importar

Se requirió un programa auxiliar para lograr exportar el archivo con la extensión SAT. El programa al que se recurre es un sencillo programa de CAD de nombre “A libre Design”, este programa permite realizar dibujos en 2D de manera muy básica. Primero se debe exportar el archivo con extensión STEP214 desde NX, después importar en A libre Design y se abre como un plano en 2D. Una vez abierto se exporta el archivo con una extensión SAT 5.0 desde A libre Design, para así importar el archivo en Abaqus.

Con este programa auxiliar, se deben realizar las primeras pruebas e intentos por exportar la estructura del chasis integral de un midibús.

3.9 Tipos y métodos de importación en Abaqus

Abaqus tiene varios métodos a utilizar para importar un archivo, también permite importar archivos con diversas extensiones. El método utilizado para importar el archivo de la estructura del chasis integral de un midibús es el que se muestra en la Fig.3.2.

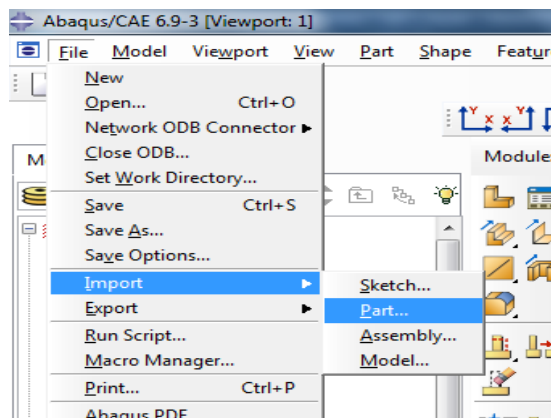


Fig. 3.2 Se utilizó la opción “PART” para importar los archivos en Abaqus.

En todos los casos se importo el archivo como “parte”. A continuación se utilizan tres extensiones únicamente de todas las opciones que ofrece Abaqus, las cuales fueron “Sat”, “Iges” y “Parasolid” respectivamente como se muestra en la Fig.3.3.

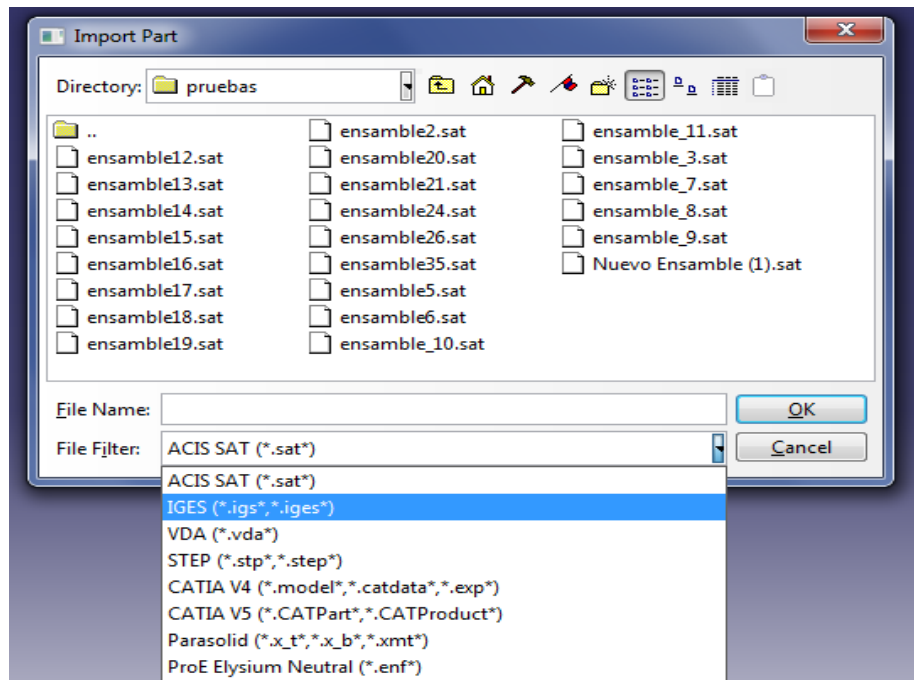


Fig. 3.3 Extensiones compatibles con Abaqus.

3.10 Archivo CAD de la Estructura del chasis integral del midibús redibujado á lámina

El archivo CAD de la estructura del chasis integral del midibús, el cual se tomo como punto de partida para esta tesis fue dibujado todas y cada una de sus piezas, como piezas solidas. Al realizase los primeros ensayos de modelación de la estructura en Abaqus se dedujo que esta condición no beneficia la modelación de la estructura debido a que al ser piezas solidas el mallado se vuelve muy complejo. Se debe redibujar la estructura del chasis integral del midibús desde el archivo origen en CAD, ya que es más sencillo modificar y depurar los errores antes de importar el archivo a Abaqus. Todas las piezas, así como los sub-ensambles que conforman el ensamble completo del chasis integral de un midibús deben ser redibujados como un SHELL, para

exportar nuevamente el archivo CAD para importarlo en Abaqus y comenzar el modelado de la estructura del chasis integral de un midibús.

3.11 Metodología del modelado en Abaqus

Con la estructura del chasis integral de un midibús revisada, corregida y simplificada y después de varios ensayos en Abaqus, se comenzó con la modelación de la estructura. A continuación se describen cada uno de los pasos así como los parámetros que se utilizan para realizar el modelado de la estructura del chasis integral de un midibús.

Los pasos a seguir para la modelación de la estructura del chasis integral de un midibús son los siguientes y se describen a continuación:

Importación: El primer paso dentro de Abaqus es la importación del archivo para la cual se deben seleccionar los parámetros basados en el modo de análisis que se requiere aplicar a la estructura, en la Fig. 3.4 se muestra la ventana para importar.

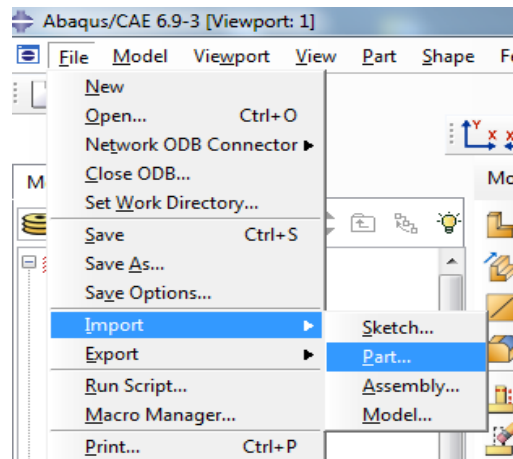


Fig. 3.4 Menú principal para importar el archivo deseado.

Tipo de archivo: A continuación en la Fig. 3.5, se selecciona la opción de “Shell” y que sea una sola pieza toda la estructura del chasis integral de un midibús.

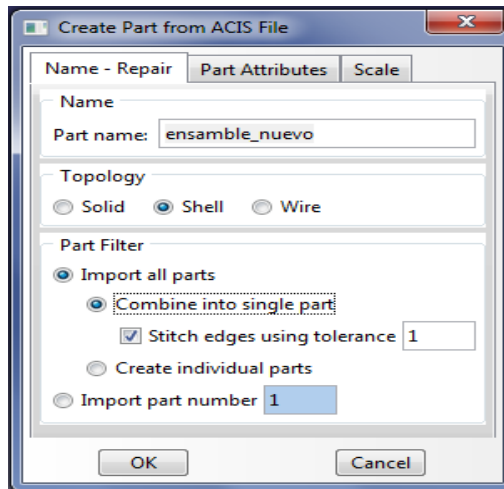


Fig. 3.5 Ventana principal para crear el tipo de archivo a importar.

Una vez seleccionados los parámetros para importar, aparece la estructura lista para comenzar la modelación, tal como se muestra en la Fig. 3.6.

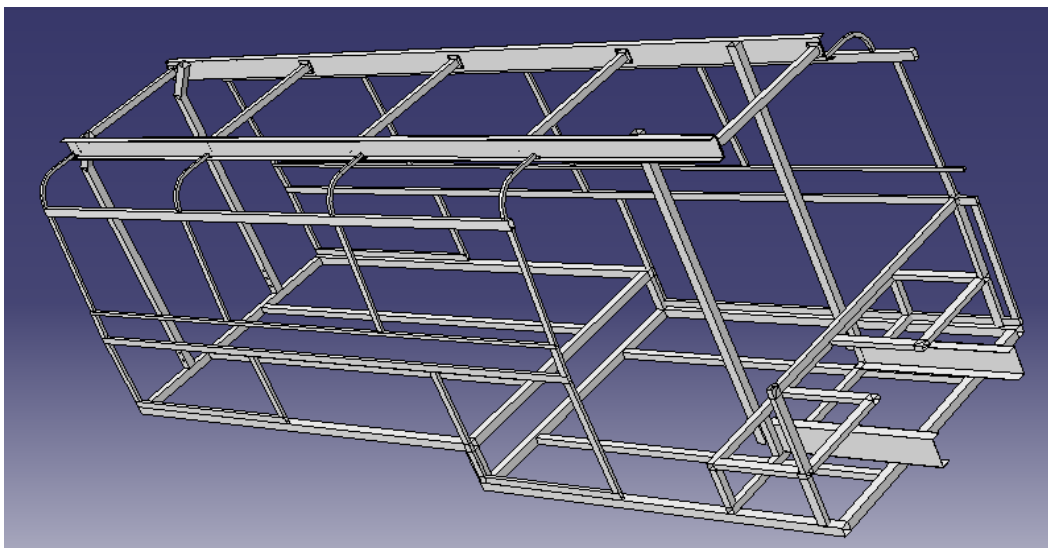


Fig. 3.6 Vista inmediata del archivo importado, “Estructura de un midibús”.

Materiales: Una vez importado el archivo correctamente en Abaqus el siguiente paso, es introducir las características del material, estos valores serán considerados de acuerdo al material que fue utilizado en la construcción de la estructura del chasis integral de un midibús, los parámetros necesarios son Modulo de Young y Ecuación de poisson los cuales serán tomados de la Tabla

2.2 y de la Tabla 2.3 respectivamente. El modulo de Young utilizado es $20.6 \text{ E}10 \text{ N/m}^2$ y para la Ecuación de poisson es 0.3 como se muestra en la Fig.3.7.

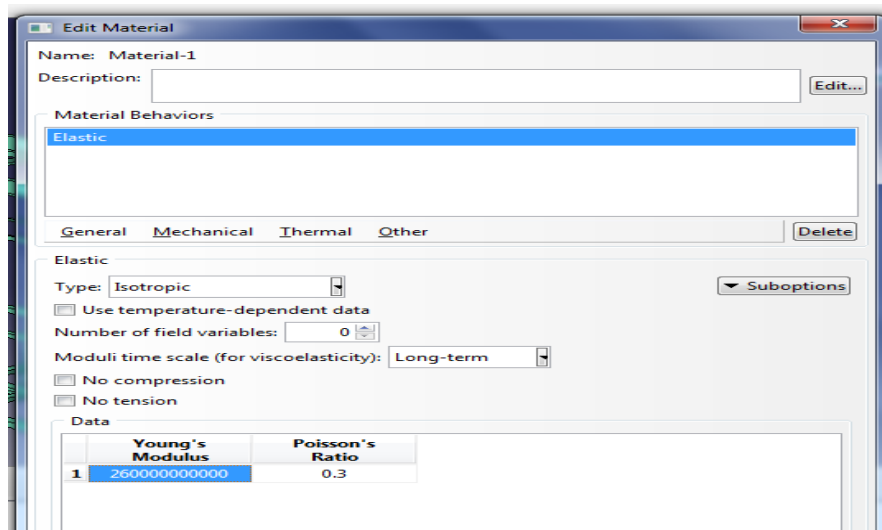


Fig. 3.7 Ventana utilizada para editar los materiales.

Espesor: A continuación se declara el espesor de la estructura, debido a que la estructura esta dibujada en lamina “Shell”, se considera un solo espesor para toda la estructura por lo tanto se estableció una sola sección para toda la estructura. El valor establecido es 6.4 mm equivalente a $\frac{1}{4}$ ” considerando un valor promedio entre los distintos espesores de las piezas que constituyen la estructura del chasis integral de un midibús. En la Fig.3.8 se muestra la ventana correspondiente a este paso.

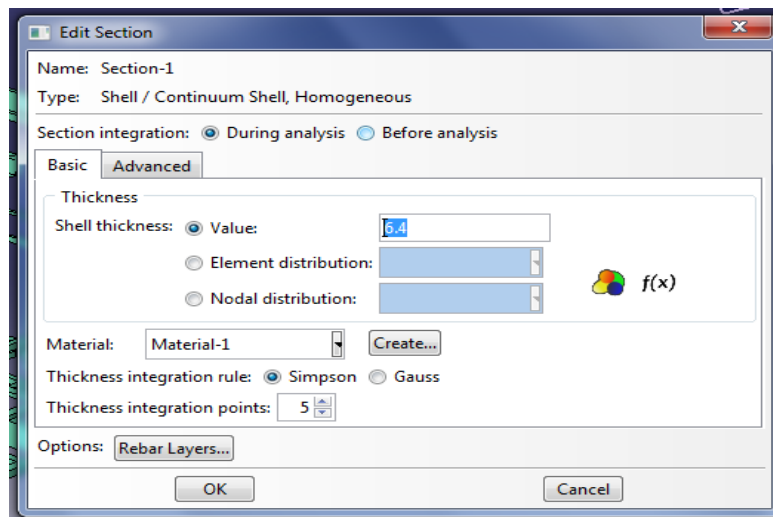


Fig. 3.8 Se utilizó un espesor de 6.4 mm para toda la estructura.

Sección: A continuación se selecciona la sección a la cual se aplicaran las características anteriores y para mantener los contactos entre cada una de las piezas se selecciono trabajar sobre la cara superior “Top surface”, de cada una de las piezas de la estructura del chasis integral de un midibús como se muestra en la Fig. 3.9.

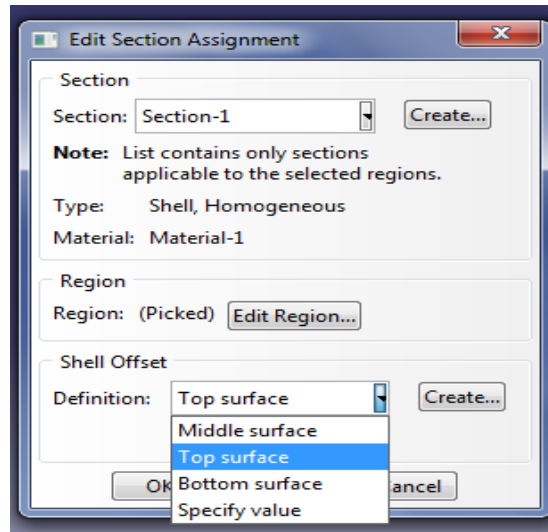


Fig. 3.9 Se utilizó la cara superior en toda la estructura.

Casos: Posteriormente en la opción de ensamble se establece el tipo de casos o “Instances” para trabajar, en este análisis se selecciono la parte a mallar como dependiente para este caso como se muestra en la Fig. 3.10.

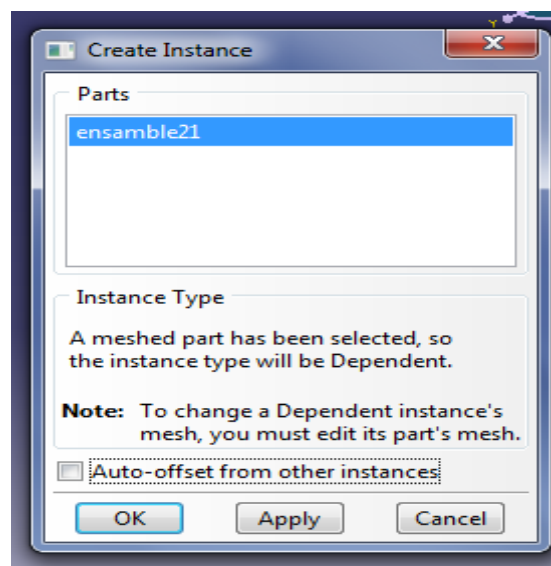


Fig. 3.10 Las “Instances” en toda la estructura fueron consideradas como dependientes.

División de elementos: El mallado de la estructura consta de varios pasos, el primero de ellos es establecer la medida de separación entre los elementos en que va a ser dividida la estructura, y se utilizó el valor dado por default por Abaqus. Dicho valor es de 310 y se muestra en la Fig. 3.11.

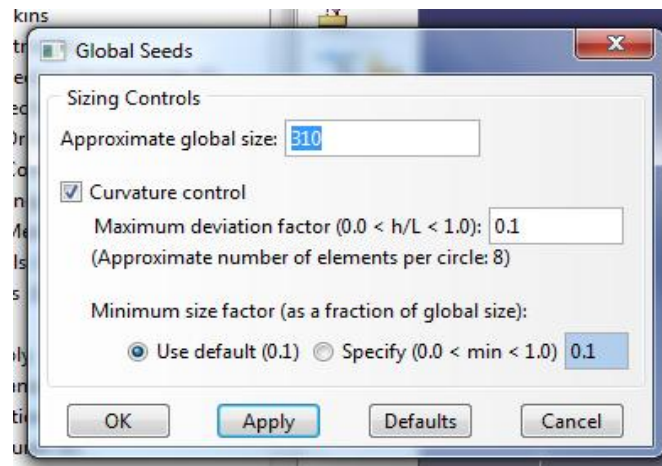


Fig. 3.11 El “Seed” utilizado fue el establecido por default.

A continuación el siguiente paso es seleccionar la sección a la cual se va aplicar este mallado, en este caso se seleccionó la estructura del chasis integral de un midibús en su totalidad, en la Fig. 3.12 se muestra la estructura del chasis seleccionada completamente.

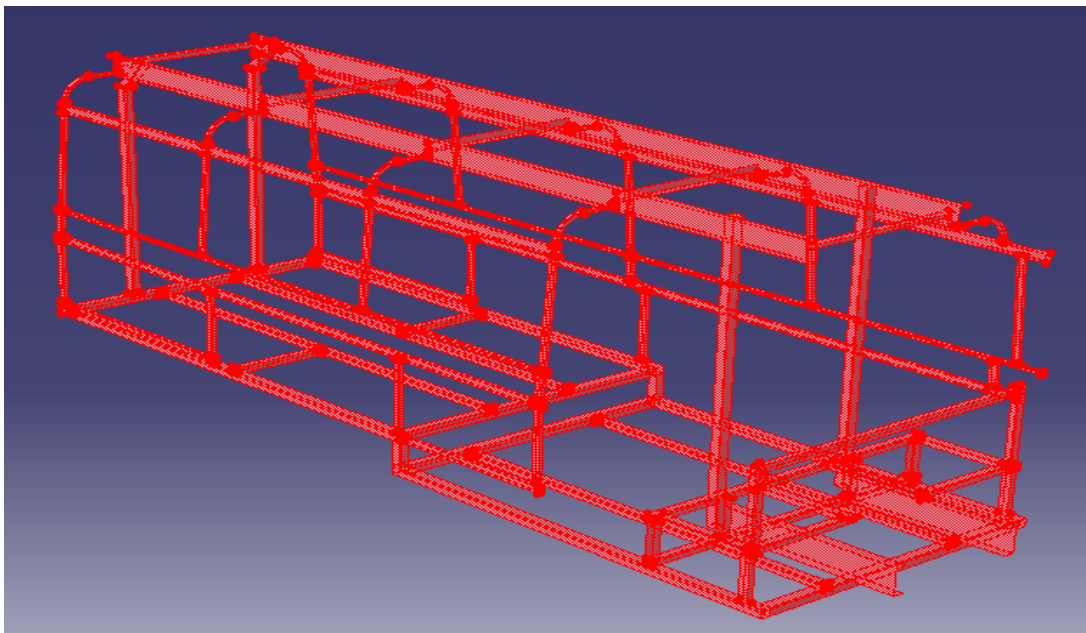


Fig. 3.12 Estructura del chasis integral de un midibús seleccionada totalmente.

Tipo de elemento: En seguida se selecciona el tipo de elemento para la estructura, el cual para este análisis es un Shell. En la siguiente figura la Fig.3.13 se muestra la ventana desplegada para seleccionar el tipo de elemento que se requiere.

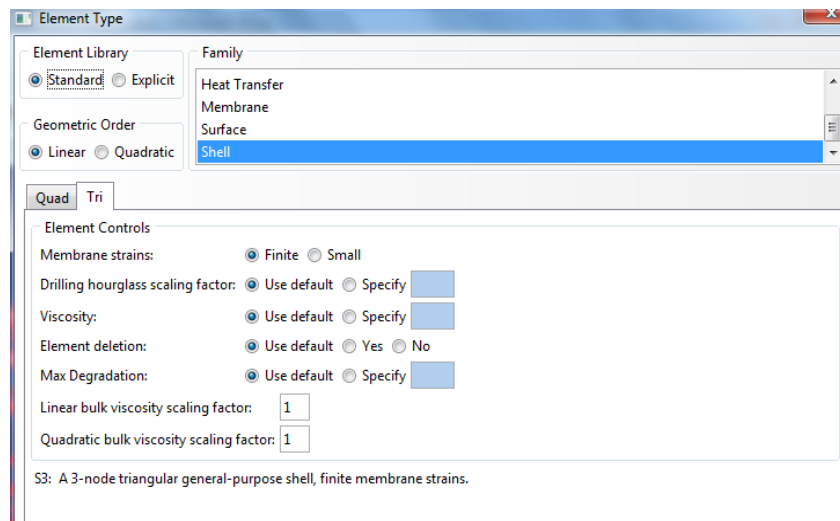


Fig. 3.13 Selección de “Shell” como el tipo de material de la estructura.

El último paso es confirmar que se desea aplicar el mallado a esa sección pulsando el OK. De esta manera se malla la sección completa como se muestra en la Fig.3.14 y Fig. 3.15.

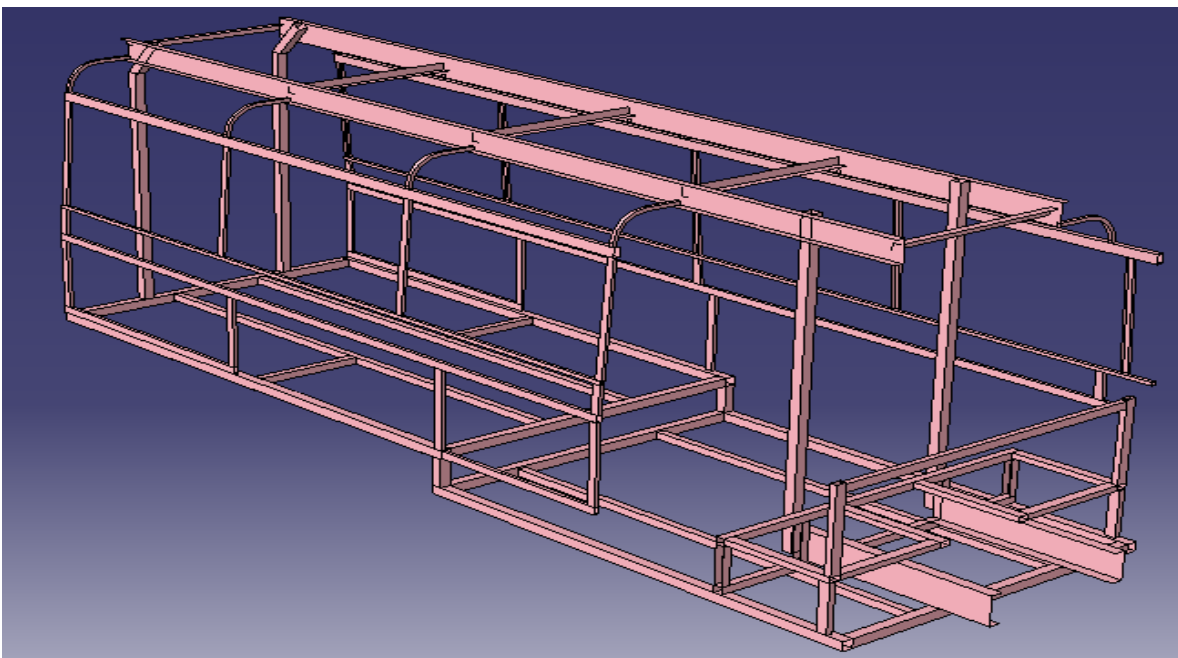


Fig. 3.14 Ventana final en los pasos de mallado.

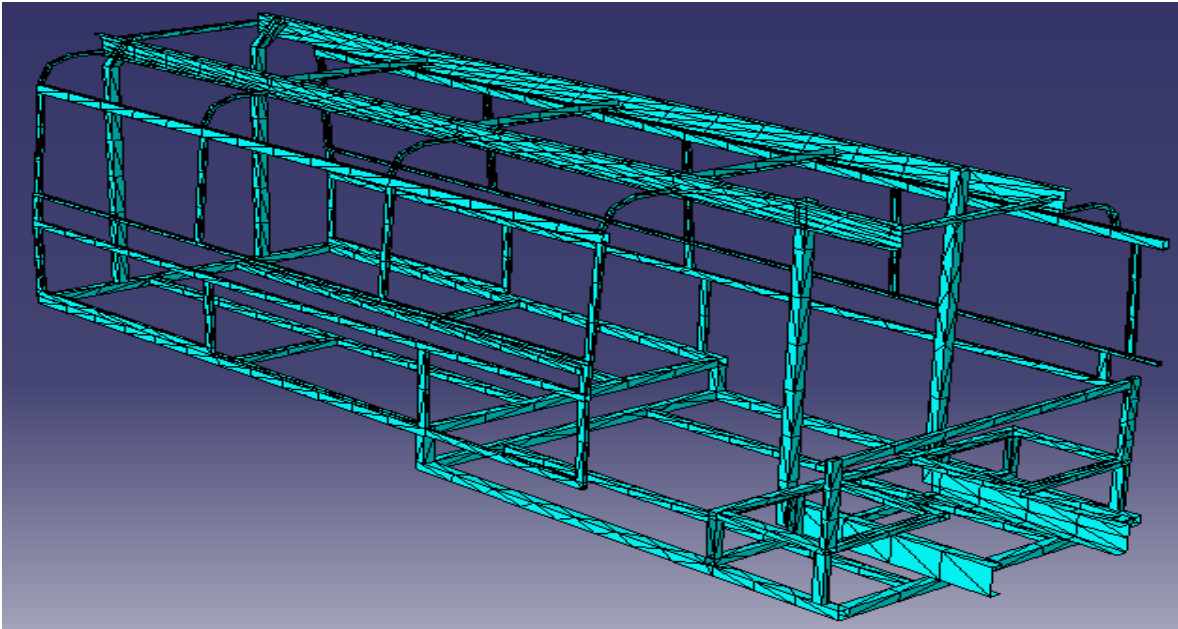


Fig. 3.15 Mallado finalizado.

Una vez mallada la estructura del chasis integral de un midibús, se debe utilizar una opción en Abaqus para hacer una revisión del mallado y con ella encontrar errores, “Warnings” en el mallado y corregir de ser necesario como se muestra en la Fig.3.16.

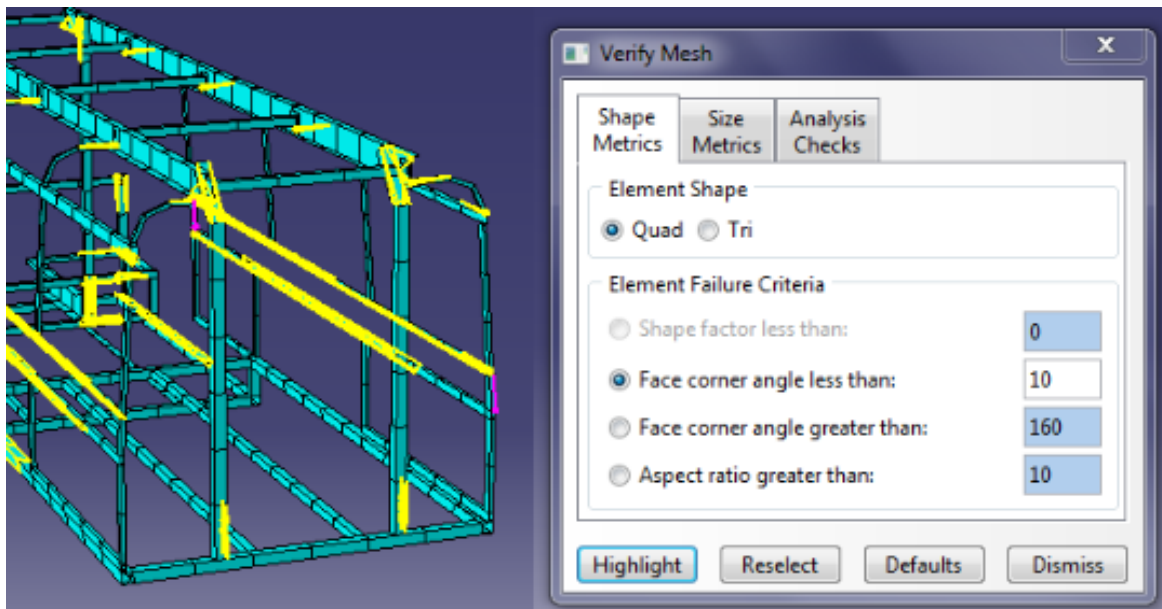


Fig. 3.16 Detección de errores en mallado “Verify mesh”.

En este análisis se encuentran 2 piezas señaladas como un error en el mallado, por tanto debe eliminarse el mallado realizado únicamente a estas 2 piezas. Deben volver a mallarse por separado estas piezas, utilizando la opción de control de mallado “Mesh Control” mostrado en la Fig. 3.17, dichas piezas son las que se muestran a continuación en la Fig.3.18 y la Fig.3.19 respectivamente.

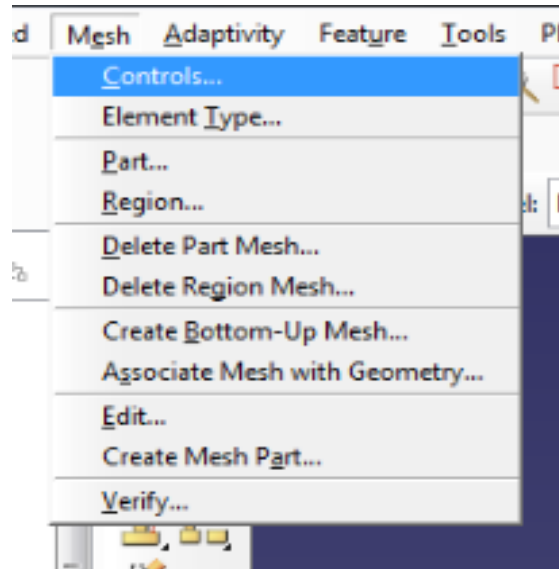


Fig. 3.17 Opción “control” en el menú “mesh”.

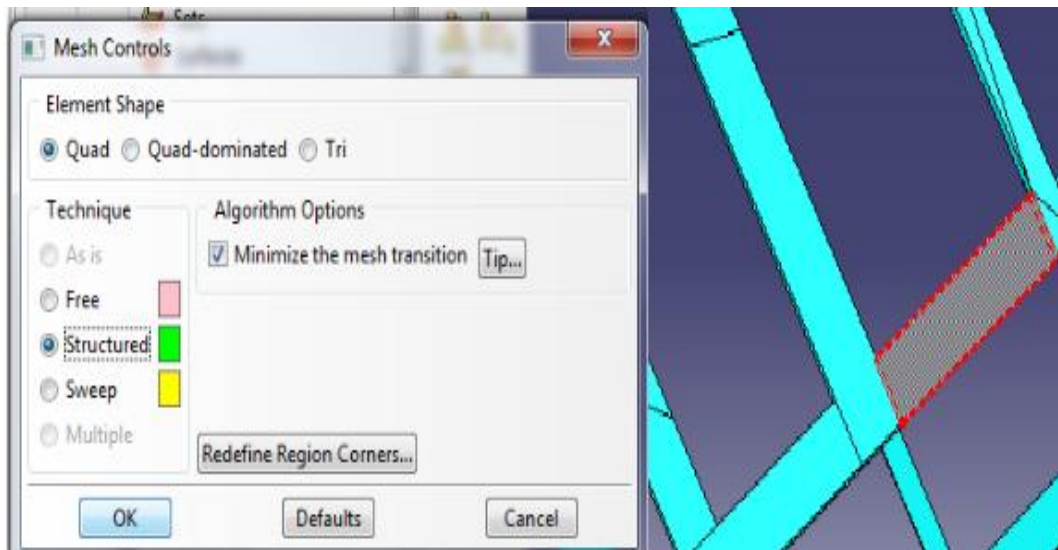


Fig. 3.18 Error 1 en mallado.

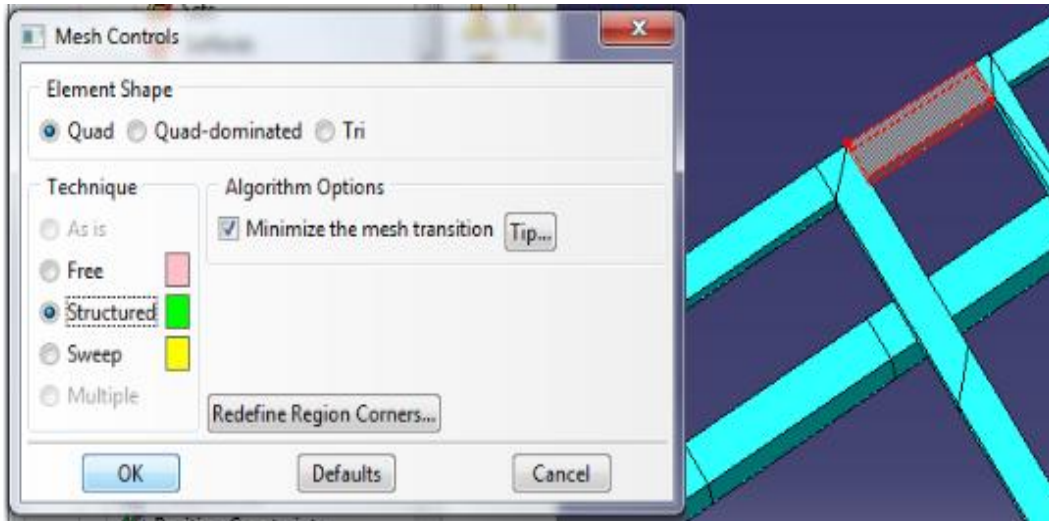


Fig. 3.19 Error 2 en mallado.

Para las dos partes de la estructura que se muestran la Fig.3.18 y en la Fig.3.19 respectivamente los parámetros de mallado seleccionados para la forma del elemento “Element shape”, fue el tipo elemento cuadrático y como técnica “Technique” fue seleccionado el tipo estructura.

En el resto de la estructura del chasis integral de un midibús, los parámetros de mallado seleccionados para la forma del elemento “Element shape” son: el tipo elemento triangular y como técnica “Technique” fue seleccionado el tipo libre “free” como se muestra en la Fig.3.20.

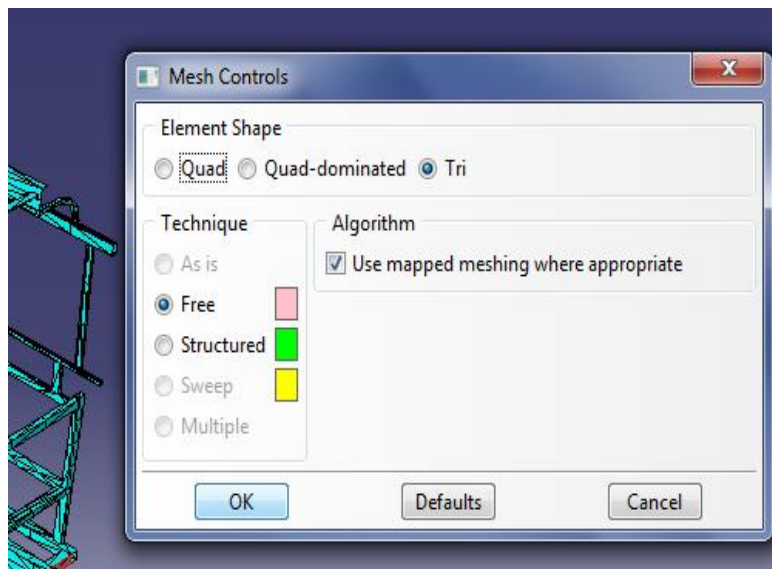


Fig. 3.20 Estructura del chasis integral de un midibús con mallado corregido.

Steps: A continuación se genera un “Step” adicional al que por default aparece en Abaqus. Dicho “Step” es creado con las condiciones de: estático y general como se muestra en la Fig. 3.21.

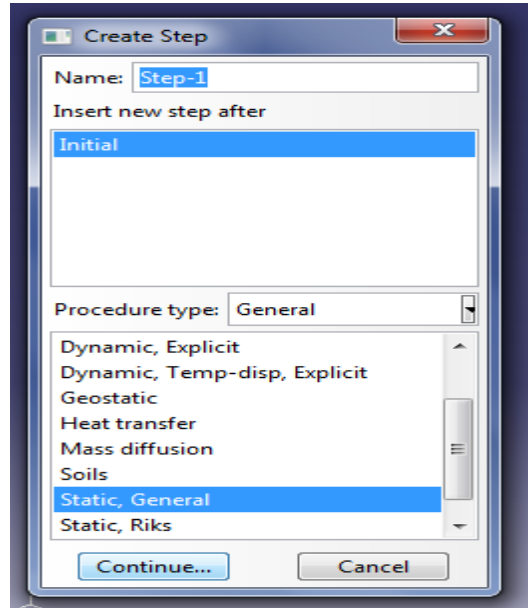


Fig. 3.21 “Step” creado como estático general.

En la ventana que aparece a continuación permanecen los valores dados por default solo es necesario pulsar ok como se muestra en la Fig.3.22.

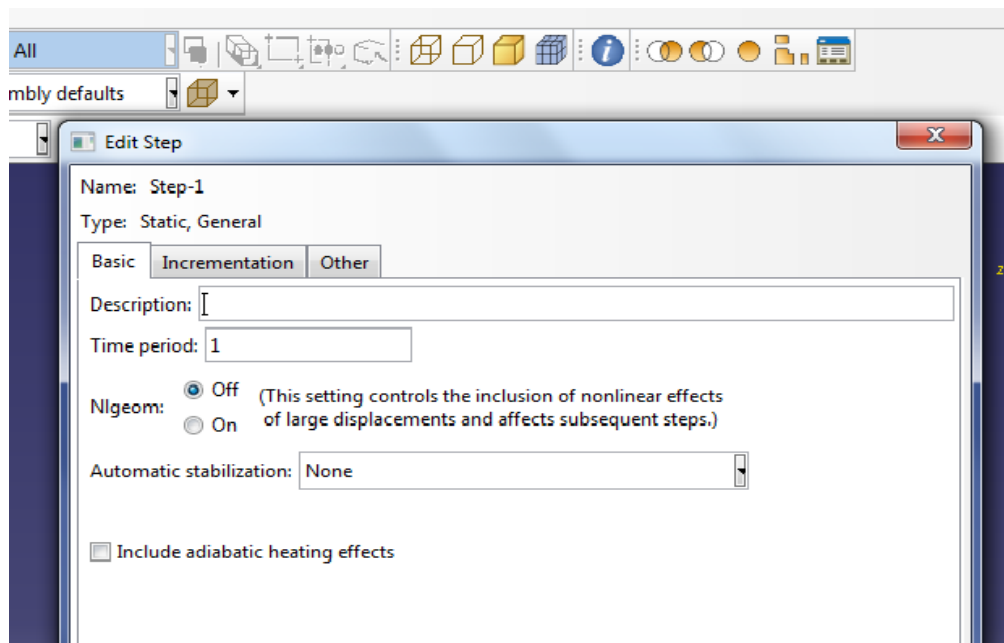


Fig. 3.22 Ventana final para crear el “Step”.

Al generar el nuevo “Step” aparecen dos opciones “Loads” y “Bcs”, en los cuales se generan las cargas y las restricciones de la estructura respectivamente. En la Fig.3.23 se muestra el menú donde se despliegan estas opciones.

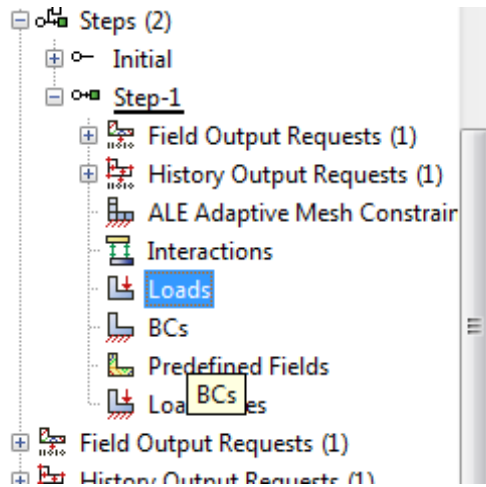


Fig. 3.23 Aparecen la opción de “Bcs” y “Loads” en el menú.

Encastre: Este apartado del modelado del chasis integral de un midibús, consiste en crear las “Bcs” de la estructura, es decir los “constraints” o puntos fijos en ella. La categoría del “step” creado es: tipo mecánica, con opción de simétrica, asimétrica o encastre, como lo muestra la Fig.3.24 que se muestra a continuación.

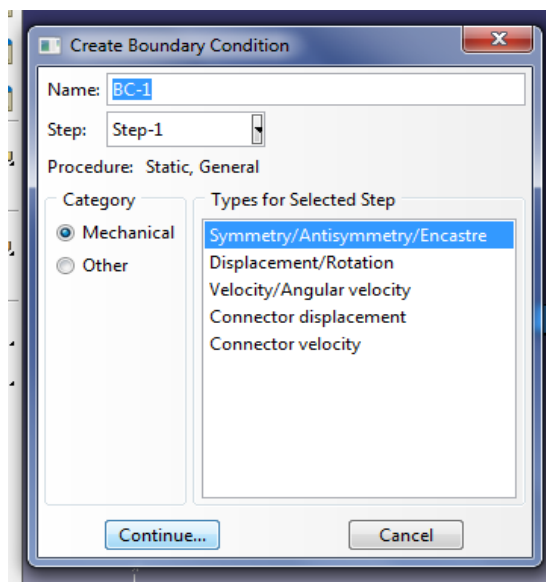


Fig. 3.24 Ventana para editar el tipo de encastre de la estructura.

A continuación se debe seleccionar la región o nodo que se desea encastrar, en la Fig.3.25, aparecen marcadas en color rojo las partes de la estructura una vez que han sido seleccionadas.

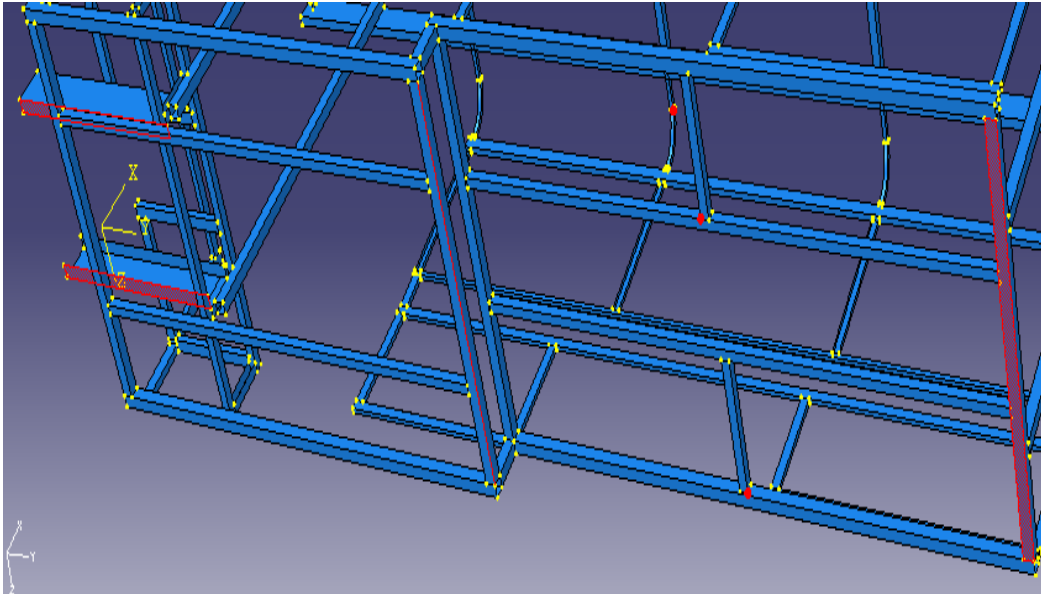


Fig. 3.25 Selección del área o nodo que se desea encastrar.

En la ventana que aparece enseguida deben seleccionarse los parámetros de condiciones frontera. Para este análisis la condición es: encastre, esto quiere decir que no se permitirá desplazamiento ni rotación en ningún eje, igualando todos a cero de manera automática. En la Fig.3.26 y Fig. 3.27 se muestra la ventana correspondiente para la selección del tipo encastre.

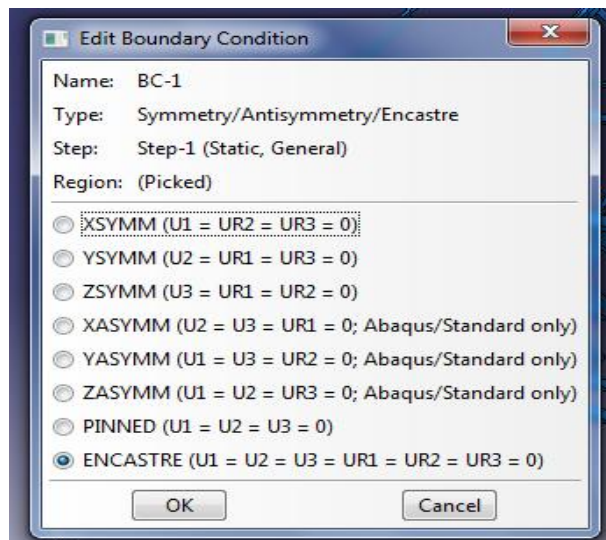


Fig. 3.26 La opción encastre iguala a cero el desplazamiento y rotación en cualquier eje.

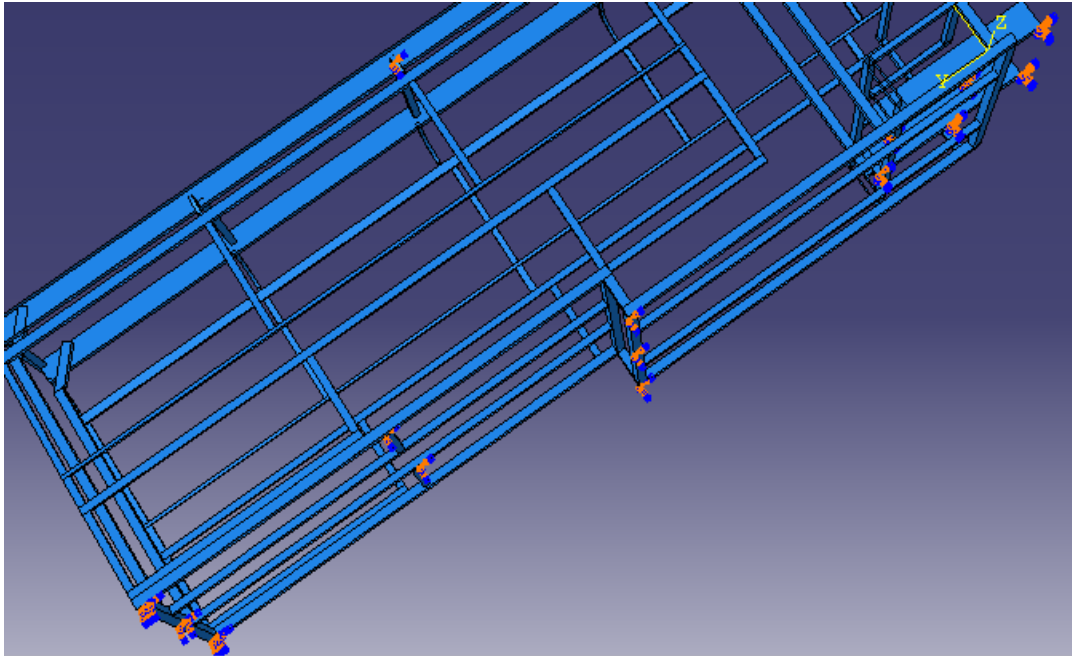


Fig. 3.27 Vista de la estructura con un encastre finalizado.

Cargas: El siguiente paso consiste en el modelado de las cargas que se pretenden aplicar a la estructura. En este análisis las cargas serán mecánicas y de tipo presión, en la Fig. 3.28 se muestra la selección de las cargas.

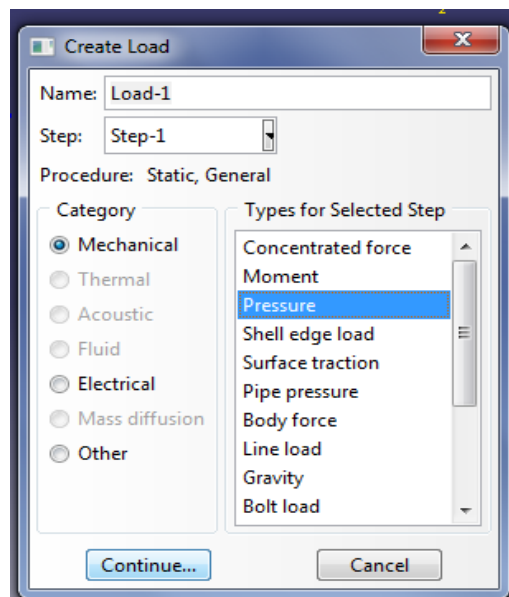


Fig. 3.28 Ventana principal para crear las cargas de la estructura.

A continuación se deben seleccionar las partes de la estructura, a las cuales se les aplicará la presión como se muestra en la Fig. 3.29.

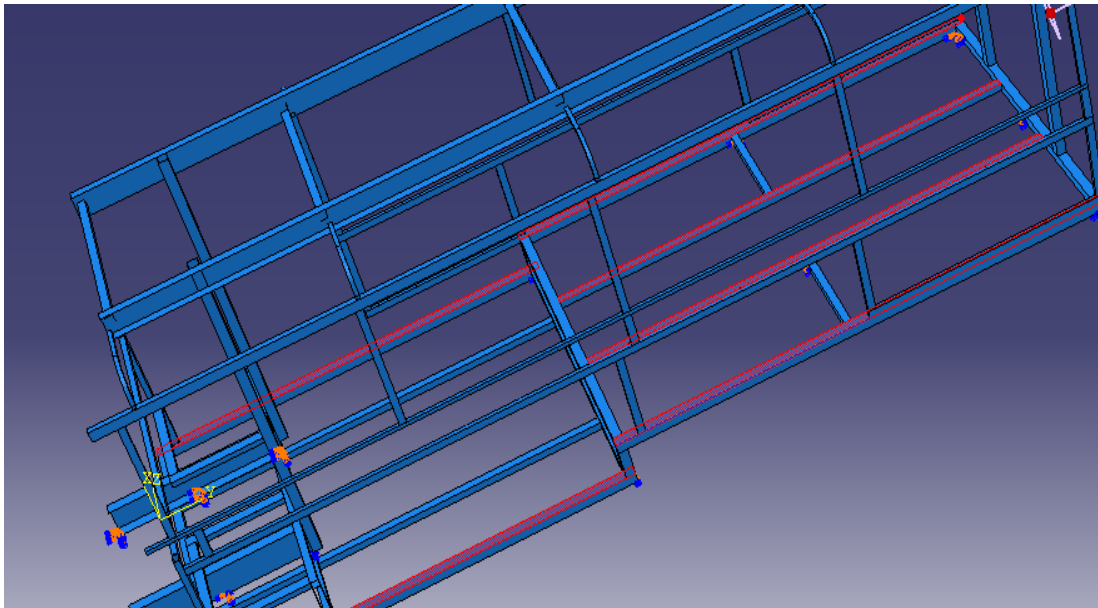


Fig. 3.29 Selección de las partes de la estructura a las que se aplicará una carga.

Una vez seleccionadas las partes de la estructura a las cuales se les aplicará la presión, se debe seleccionar si la presión es: interna o externa, es decir las piezas una vez seleccionadas aparecen en tono café o morado.

Esto significa que las piezas de color café hacen referencia a que la presión está siendo aplicada de adentro hacia fuera, y para las piezas de color morado es lo opuesto, es decir que la presión está siendo aplicada de afuera hacia adentro. Para este análisis serán convertidas todas las partes de la estructura al color morado. En la Fig. 3.30 y Fig. 3.31 se muestran las piezas marcadas con ambos colores y posteriormente todas las piezas en un solo tono.

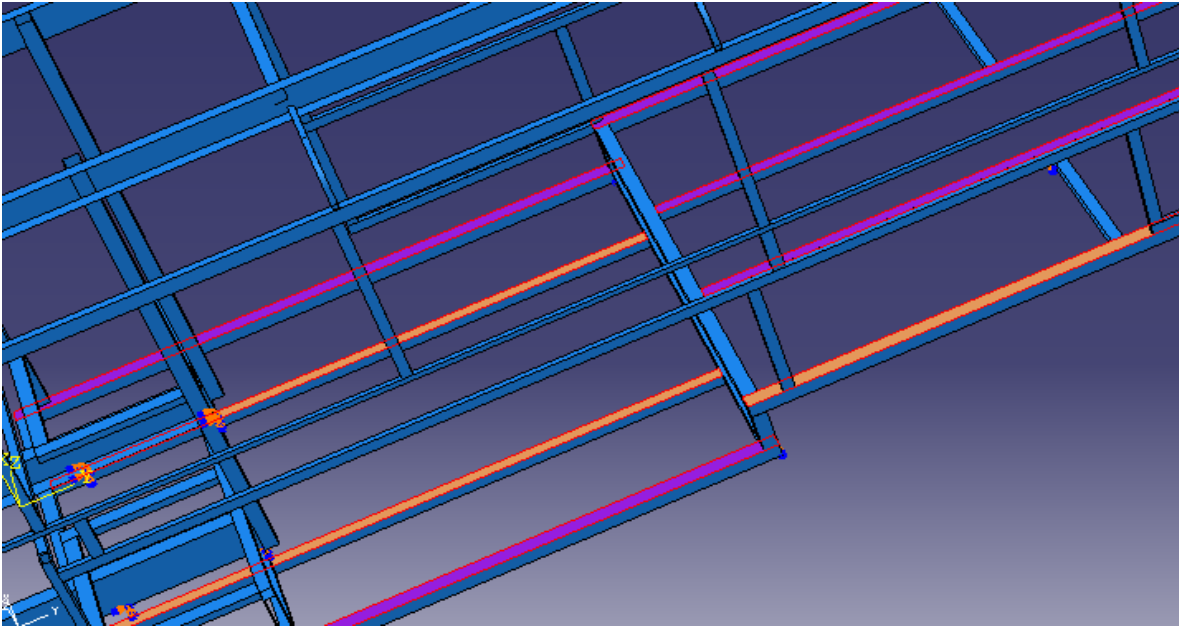


Fig. 3.30 Cargas aplicadas en direcciones opuestas.

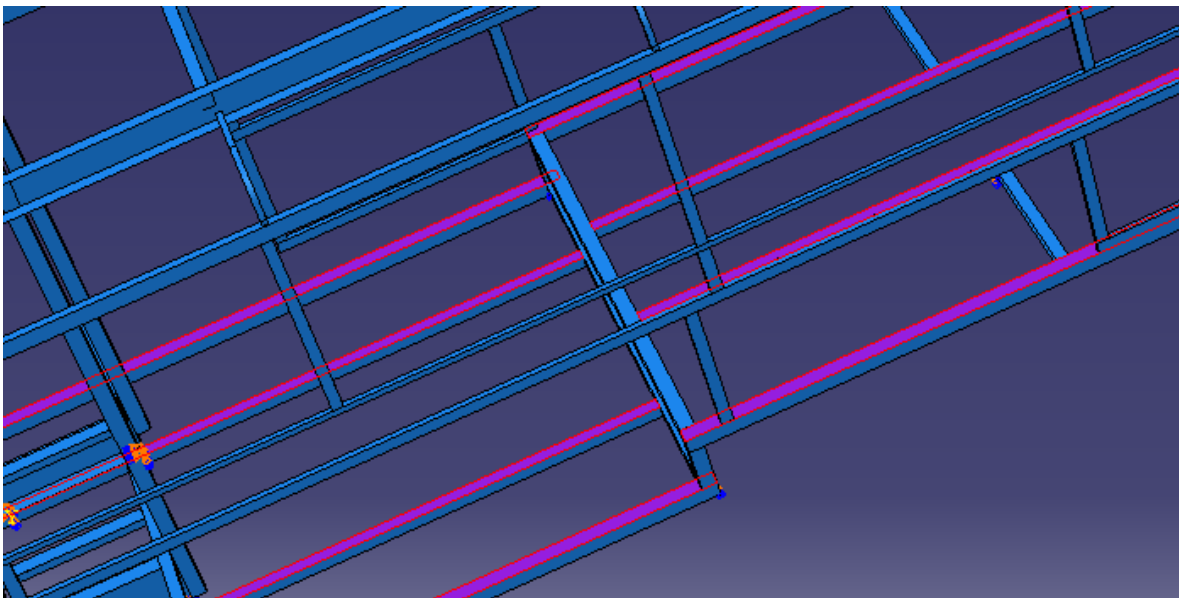


Fig. 3.31 Cargas convertidas y aplicadas homogéneamente.

En la ventana que aparece a continuación, como se muestra en la Fig. 3.32 y en la Fig. 3.33, se agrega el tamaño de la fuerza en Newtons y con esto finaliza la modelación de las fuerzas.

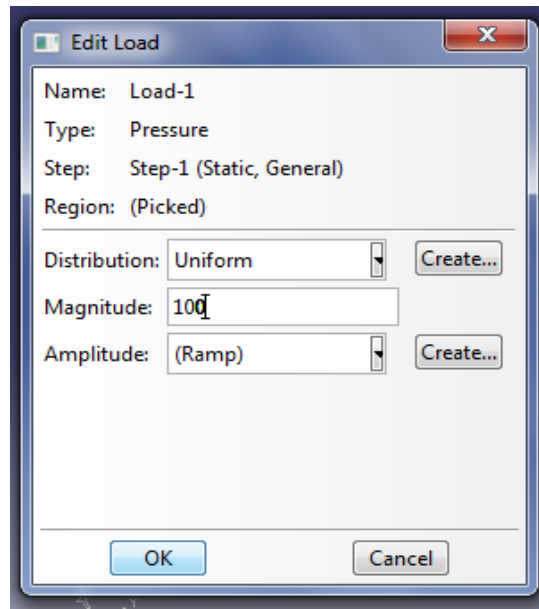


Fig. 3.32 En la ventana mostrada se introduce el valor de la carga.

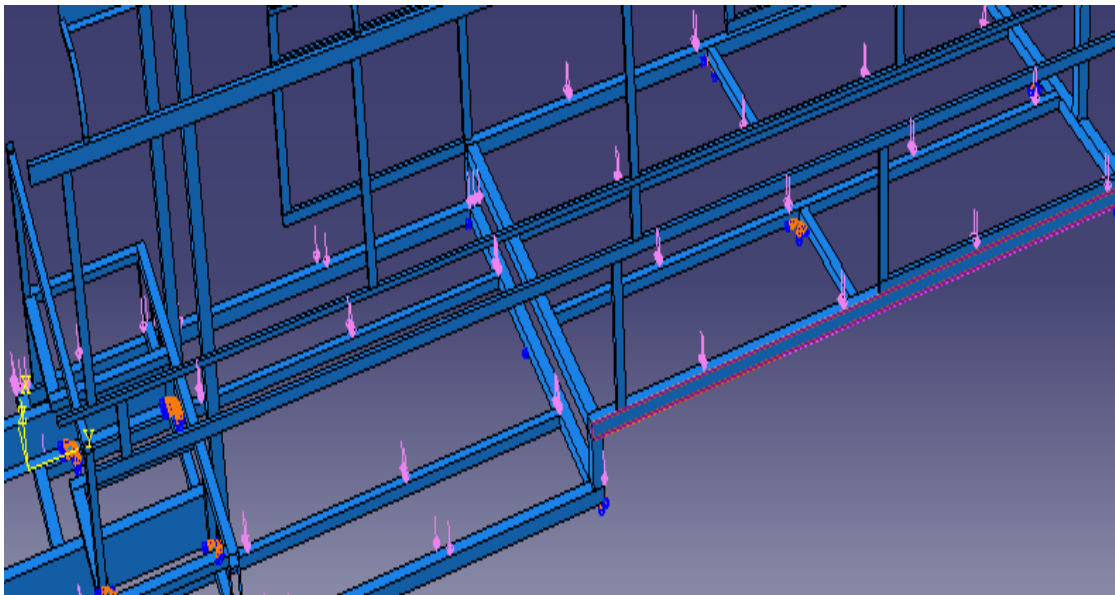


Fig. 3.33 Vista de la estructura con cargas terminadas.

Posterior a esto, solo resta hacer una compilación del archivo con el comando “Job” y utilizando la opción “Submit” mostrado en la Fig.3.34, verificando que el archivo no contenga errores. A continuación se debe pasar a la parte de los resultados.

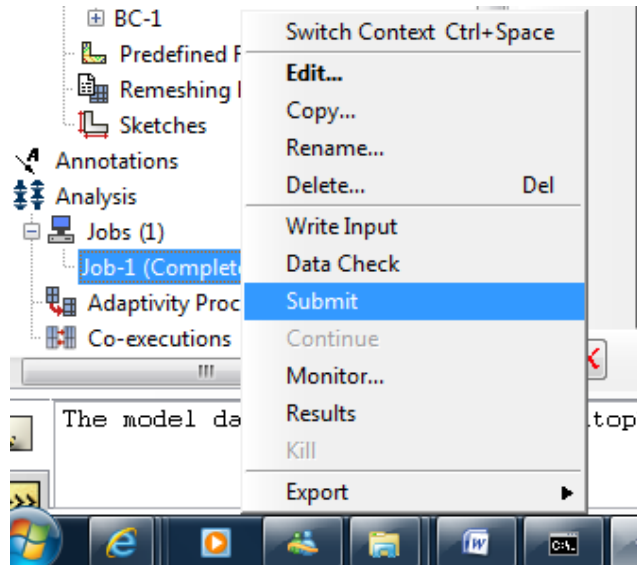


Fig. 3.34 Opción “submit” para compilar el archivo y detectar errores.

3.12 Ansys como programa de apoyo y comparativo

Ansys al igual que Abaqus es un programa de construcción, modelado y análisis por elemento finito.

Con la finalidad de llevar a cabo una comparación de resultados y corroborar de esta manera los resultados obtenidos, se realizó un análisis alternativo de la estructura del chasis integral de un midibús en Ansys. Para este análisis se llevaron a cabo una serie de pasos necesarios para el modelado de la estructura, los cuales se describen a continuación.

3.13 Archivo CAD de la estructura del chasis integral del midibús de lámina a sólido nuevamente

Para simplificar el modelado y análisis de la estructura en Ansys se debe convertir las piezas, de piezas en láminas a piezas sólidas. Las cuales se habían convertido a lámina previamente para el análisis en Abaqus. Con el fin de generar los contactos necesarios entre pieza y pieza, y evitar complicaciones en Ansys, en las siguientes figuras se muestra la conversión mencionada.

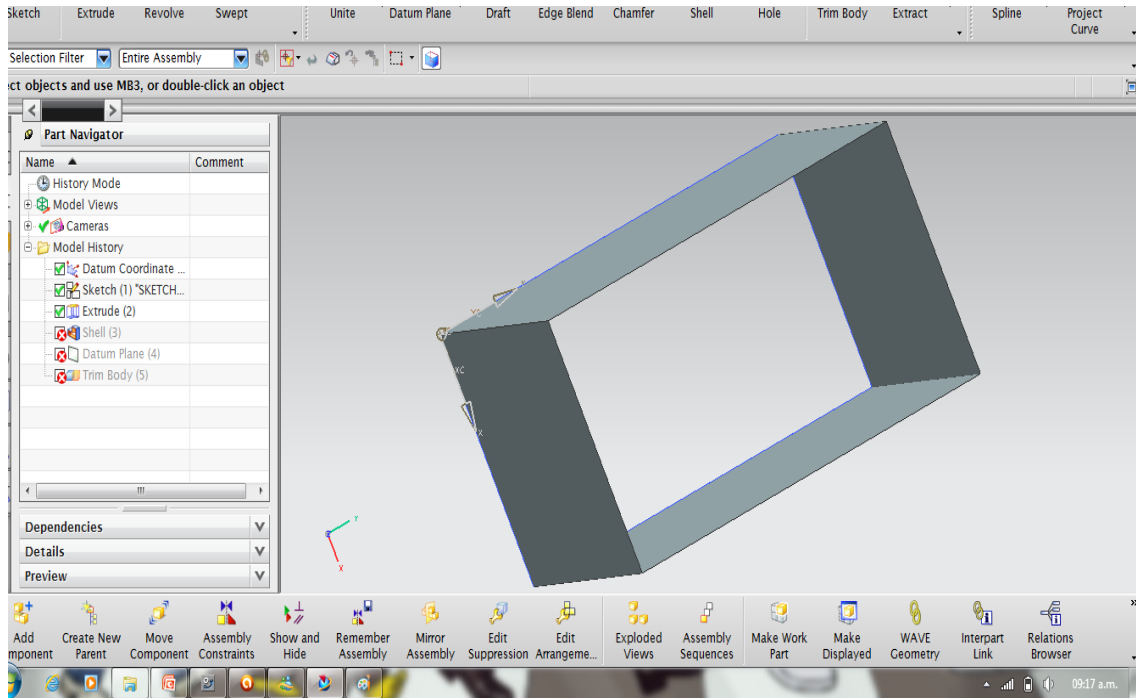


Fig. 3.35 Piezas de la estructura en lámina en NX.

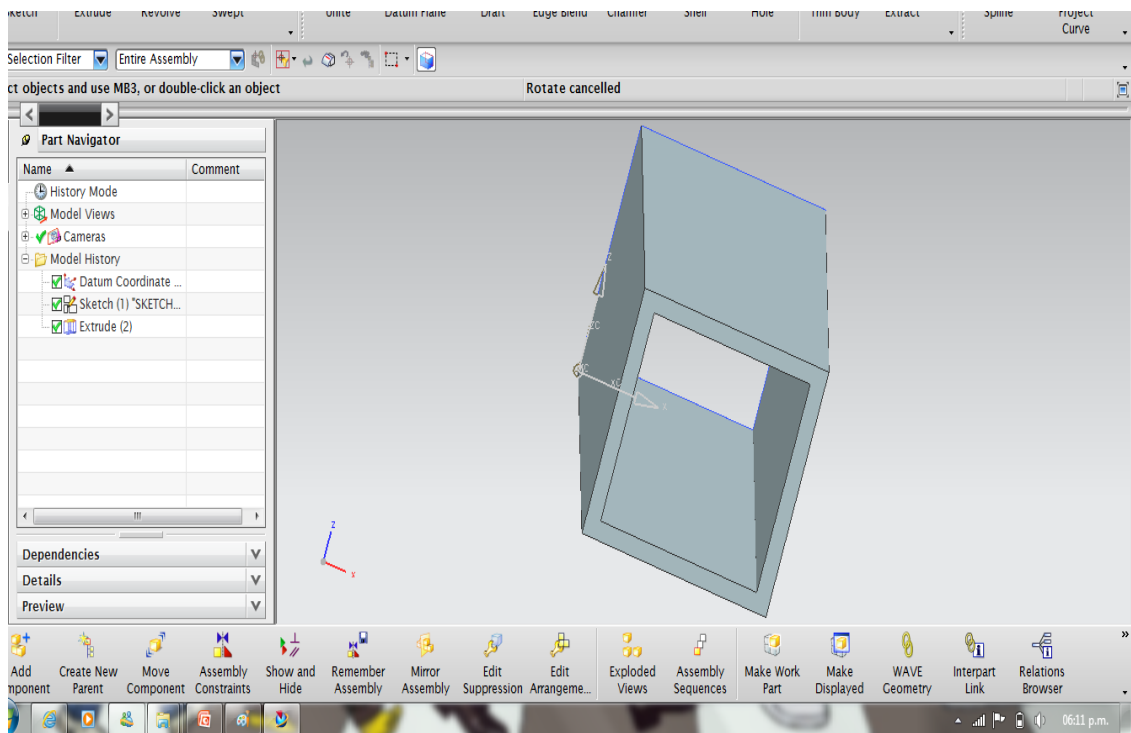


Fig. 3.36 Piezas convertidas a sólido nuevamente en NX.

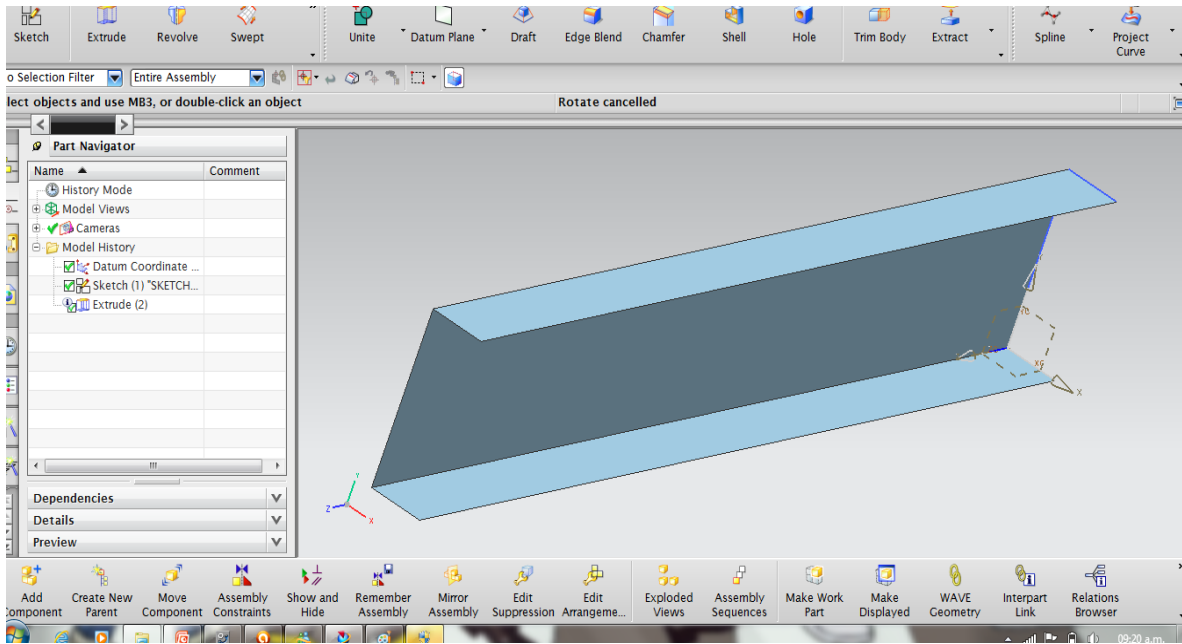


Fig. 3.37 Todas las piezas de la estructura se encuentran en lámina.

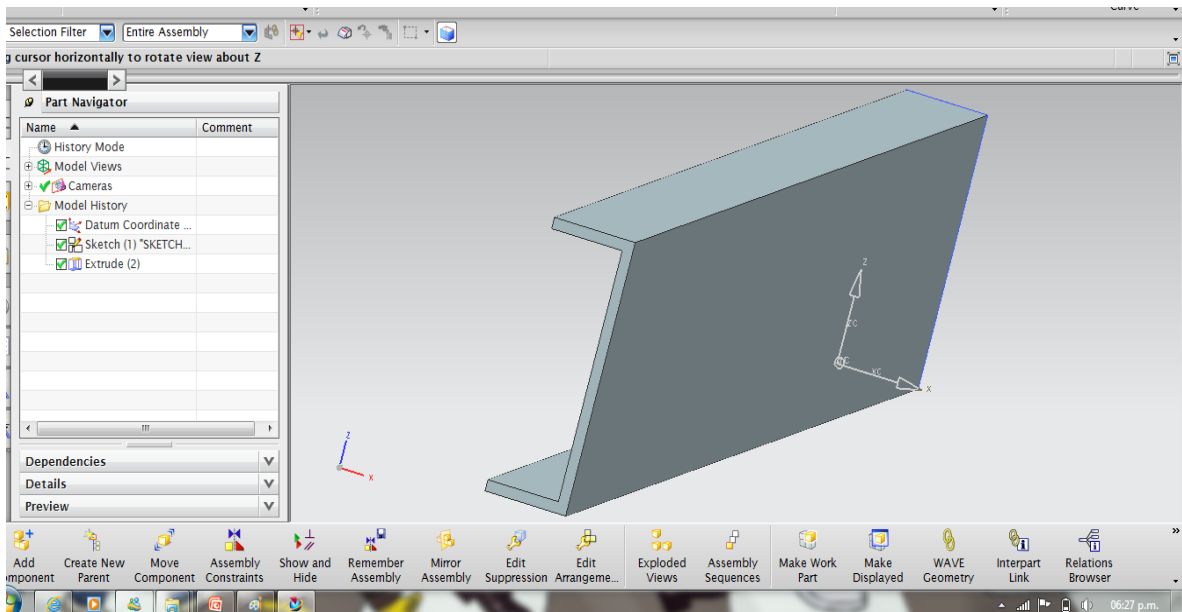


Fig. 3.38 Otro ejemplo de la conversión realizada de lámina a sólido nuevamente.

Al realizar la conversión de todas las piezas, así como el ajuste de sub-ensambles y el ensamble completo de la estructura del chasis integral de un midibús. Para este análisis se prescindió de las piezas que constituyen la parte lateral del chasis integral de un midibús, las cuales sirven como soporte de las ventanas únicamente.

Esta omisión de piezas de la estructura del chasis integral de un midibús es con la finalidad de simplificar el análisis y considerando que las partes que funcionan como soporte principal de la estructura no fueron omitidas.

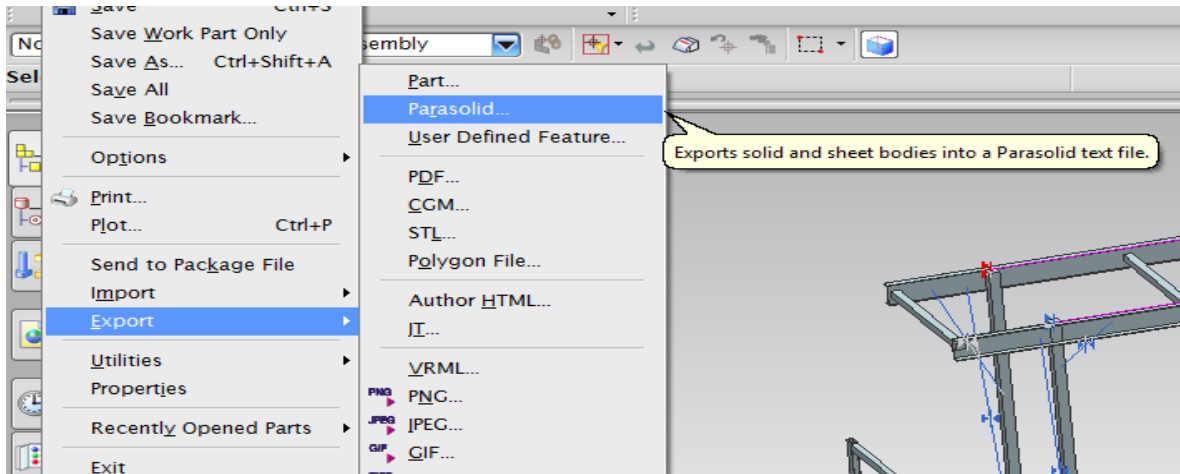


Fig. 3.39 Estructura del chasis integral de un midibús simplificada sin apoyos laterales en NX.

Una vez modificado el archivo de la estructura, el archivo en NX es exportado como “Parasolid” y posteriormente se importa de manera directa en Ansys para comenzar la modelación, mostrado en la anterior figura, Fig. 3.39.

3.14 Metodología del modelado en ansys

Al igual que en abaqus, en ansys también se realizaron una serie de pasos para lograr la modelación de la estructura del chasis integral de un midibús. A continuación se describe la metodología que se siguió para realizar el modelado.

Importación: Con la estructura del chasis integral de un midibús convertida a solido nuevamente en NX, se procedió a realizar la importación del archivo, como se muestra en la Fig.3.40.

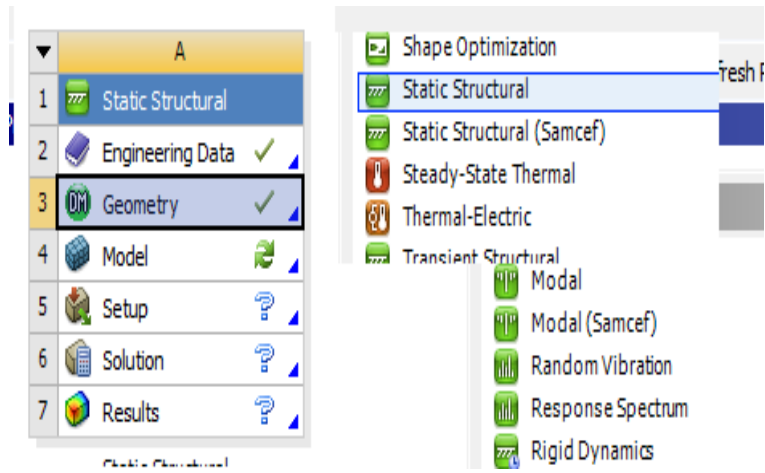


Fig. 3.40 “Static structural y Geometry”, parámetros seleccionados para importar la estructura en ansys.

A continuación se realizó la importación del archivo, desde el menú de archivo mostrado en la Fig. 3.41.

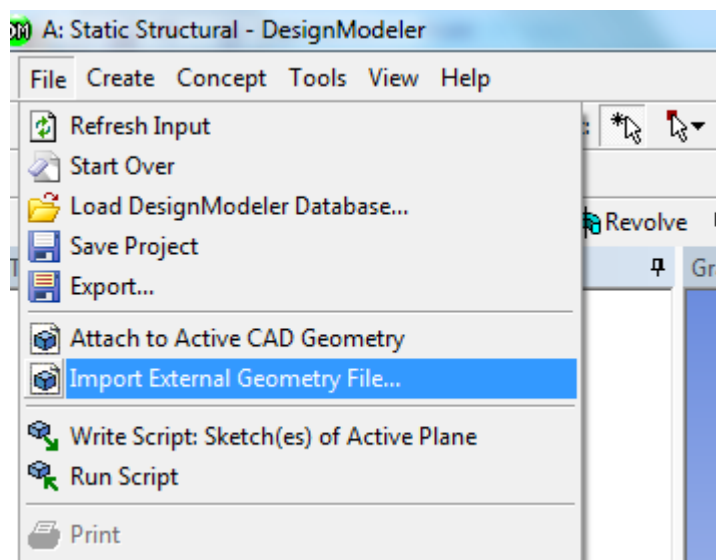


Fig. 3.41 En el menú de archivo se encuentra la opción para importar como se muestra en la figura.

A continuación en la Fig. 3.42, se muestra la estructura del chasis integral de un midibús importada en ansys.

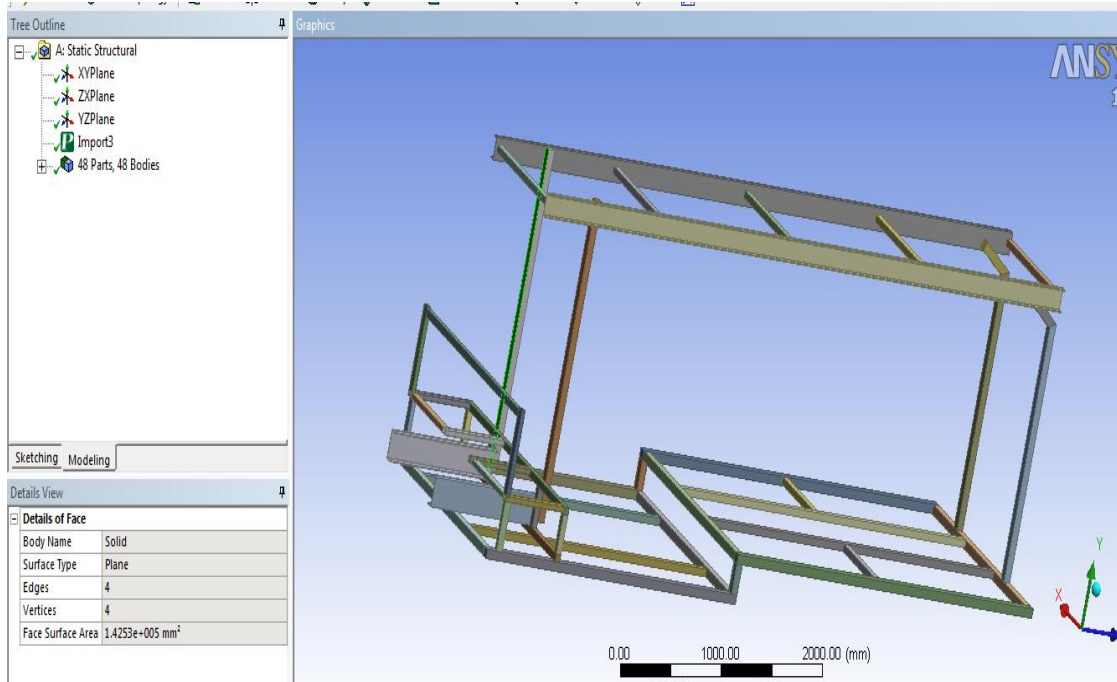


Fig. 3.42 Estructura del chasis integral de un midibús importada en Ansys.

Mallado: Posteriormente se seleccionó la opción: “Model”, como se muestra en la Fig.3.43, se comenzó con la modelación de la estructura del chasis integral de un midibús.

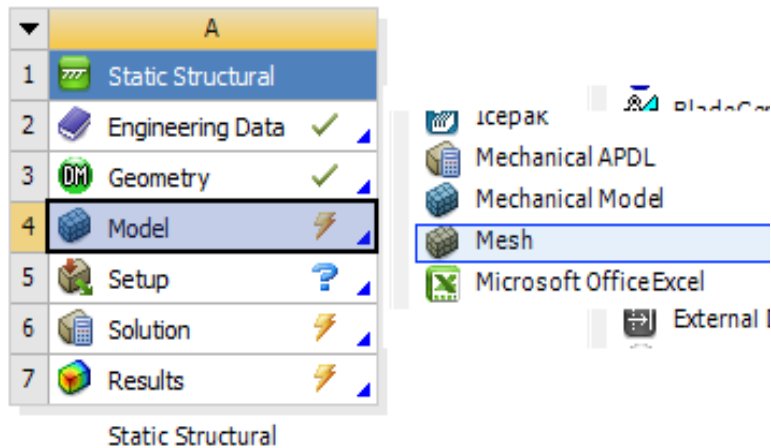


Fig. 3.43 Ventana donde se muestra la opción “Model”, para iniciar el modelado de la estructura.

El siguiente paso es realizar el mallado de la estructura, se uso la opción: generar un mallado “generate mesh”, como se muestra en la Fig. 3.44.

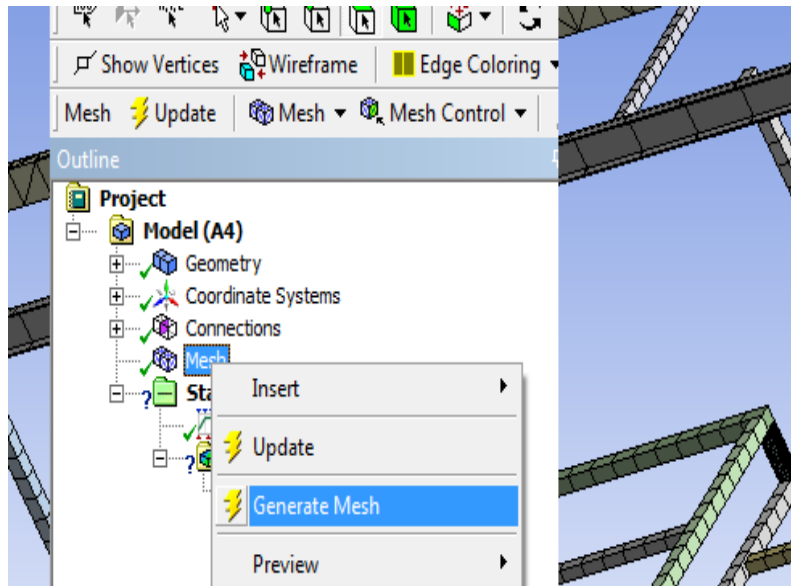


Fig. 3.44 Generando mallado de la estructura.

Cargas: A continuación se procede a realizar el modelado de la presión a la que estará sometida la estructura como se muestra en la Fig. 3.45, insertando de esta manera el valor de la presión que será establecida más adelante.

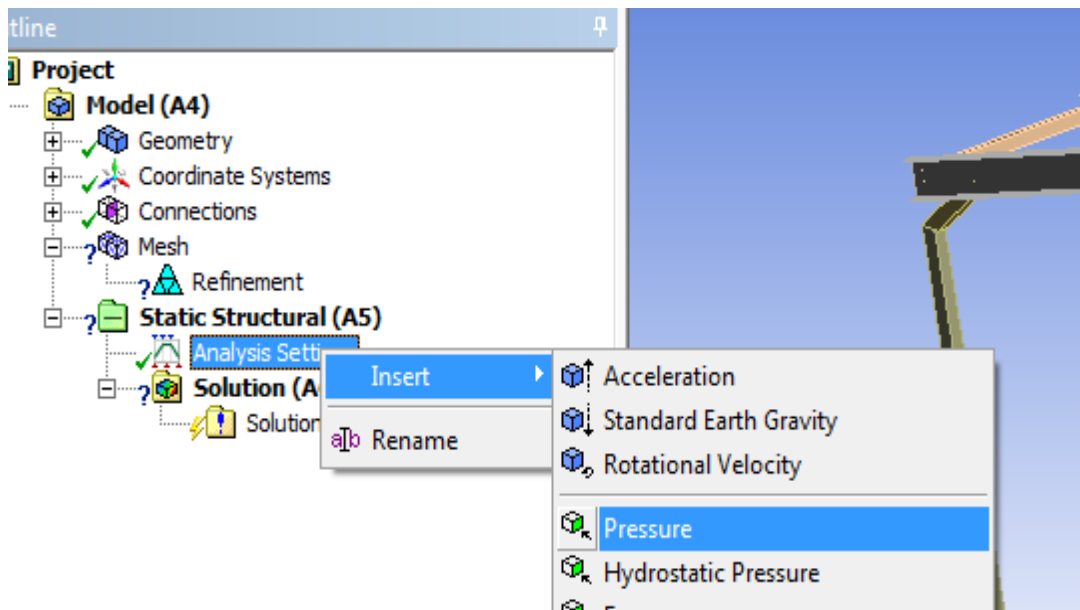


Fig. 3.45 Presión a la que será sometida la estructura.

Encastre: Una vez modelada la presión, se procede a seleccionar los puntos de encastre de la estructura. En la Fig.3.46, se muestran las opciones de encastre de la estructura del chasis integral de un midibús.

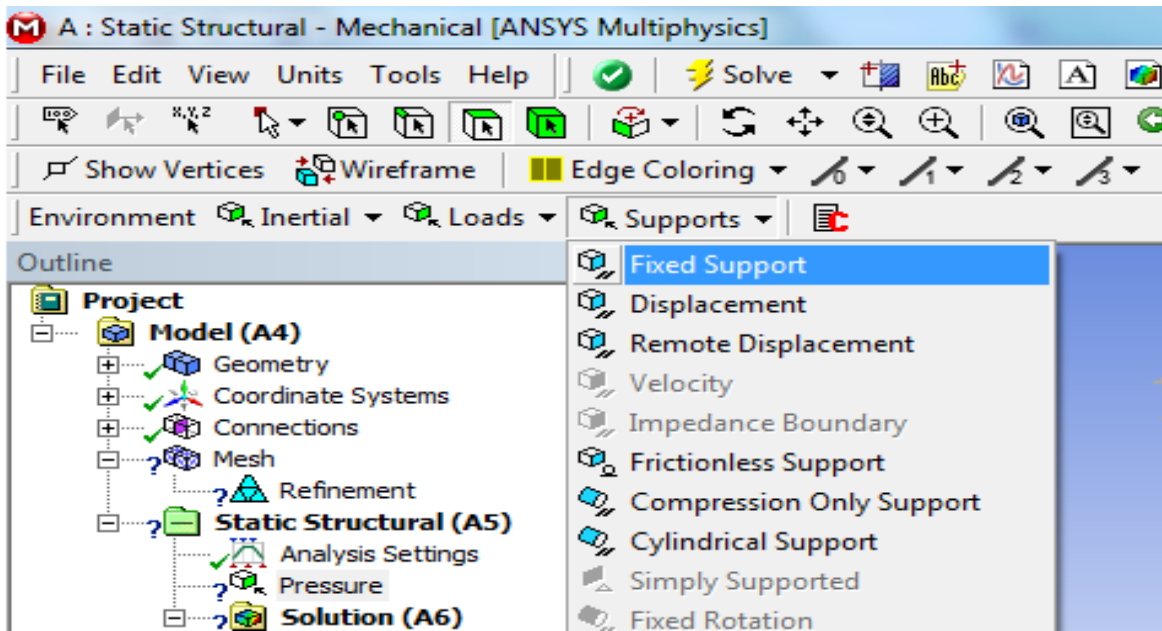


Fig. 3.46 Opciones de encastre en la estructura.

Solución: Para concluir el modelado únicamente resta revisar los resultados obtenidos con la opción “solve” como se muestra en la Fig. 3.47.

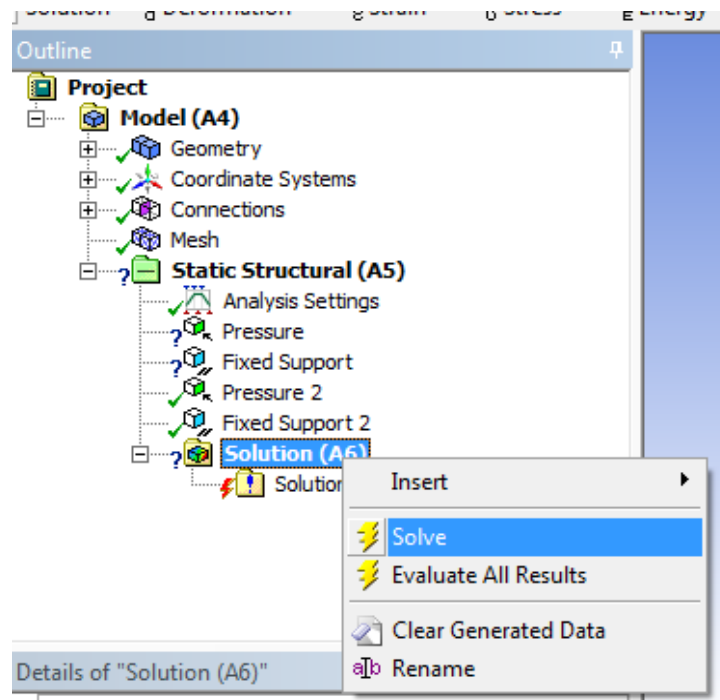


Fig. 3.47 Se muestra la opción para obtener los resultados, después de realizar el modelado de la estructura.

3.15 Explicación y desarrollo de parámetros para pruebas en Abagus

Se realizaron varias pruebas modificando ligeramente los parámetros de diseño, con la finalidad de encontrar el modelado que beneficie mas a los resultados obtenidos.

Es necesario aclarar que para todas las pruebas realizadas se utilizo la misma área en que fue aplicada la fuerza sobre la estructura, así como la misma fuerza. La fuerza en un valor establecido manualmente en el programa y el área depende del área de cada pieza que es seleccionada de la estructura y de esta manera se obtiene una presión aplicando la fórmula que se muestra a continuación, siendo seleccionadas siempre las mismas piezas de la estructura.

$$P = F/A \quad \text{Ecu. (3.1)}$$

Ecu. (3.1) Ecuación de Presión.

De acuerdo a las piezas seleccionadas de la estructura a las cuales se les aplica la fuerza el **área total** es la siguiente:

Descripción	No. De Piezas	Operaciones	Resultados
Travesaño piso.	(2 piezas)	$1972 * 64 * 2$	252416 mm ²
Larguero externo piso delantero.	(2 piezas)	$2900 * 64 * 2$	371200 mm ²
Larguero interno piso delantero.	(2 piezas)	$2772 * 51 * 2$	282744 mm ²
Larguero externo piso trasero.	(2 piezas)	$3429 * 64 * 2$	438912 mm ²
Larguero interno piso trasero.	(2 piezas)	$3301 * 51 * 2$	336702 mm ²
Área de contacto total.			1681874 mm ² = 1.681874 m ²

Tabla 3.1 Área total a la que se le aplica la fuerza.

Para el cálculo de la fuerza a aplicar se debe utilizar la ecuación mostrada a continuación y la fuerza obtenida fue utilizada en cada una de las pruebas realizadas. Dicha ecuación está determinada en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999.

$$Fuerza = (\# \text{ de personas})(\text{Peso por persona mas equipaje})(\text{Factor de seguridad}) \quad \text{Ecu. (3.2)}$$

Ecu. (3.2) Ecuación utilizada para el cálculo de la fuerza por aplicar.

Para dicha ecuación los valores utilizados fueron los siguientes:

Descripción	Valor	Resultado
Número de personas.	16 personas	---
Peso por persona más equipaje.	85 Kg	---
Fuerza de gravedad.	9.81 m/s ²	---
Factor de seguridad.	2.5	---
La Fuerza obtenida es:	---	33354 N

Tabla 3.2 Cálculo de la fuerza aplicada.

Para los análisis como ya se menciono, el tipo de fuerza utilizada fue como presión (P), y se utilizó la Ecuación 3.1. Por lo tanto:

$$P = 33354 \text{ N} / 1.681874 \text{ m}^2.$$

$$P = 19830 \text{ N} / \text{m}^2.$$

Para la Prueba 1.

El encastrado seleccionado fue el siguiente:

Descripción
La cara inferior del soporte intermedio.
La cara inferior del soporte motor.

Tabla 3.3 Encastrado seleccionado prueba 1 abaqus.

Para la carga el tipo fue presión y es una fuerza uniformemente distribuida de 33354 N desarrollada anteriormente.

El área depende de las caras seleccionadas de la estructura en abaqus explicado anteriormente.

Para la Prueba 2.

El encastrado seleccionado fue el siguiente:

Descripción
Las 4 caras del soporte intermedio.
La cara inferior del soporte motor.

Tabla 3.4 Encastrado seleccionado prueba 2 abaqus.

Para la carga el tipo fue presión y es una fuerza uniformemente distribuida de 33354 N desarrollada anteriormente.

El área depende de las caras seleccionadas de la estructura en abaqus explicado anteriormente.

Para la Prueba 3.

El encastre seleccionado fue el siguiente:

Descripción
Las 4 caras del soporte intermedio.
Las 4 caras del soporte motor.

Tabla 3.5 Encastre seleccionado prueba 3 abaqus.

Para la carga el tipo fue presión y es una fuerza uniformemente distribuida de 33354 N desarrollada anteriormente.

El área depende de las caras seleccionadas de la estructura en abaqus explicado anteriormente.

Para la Prueba 4.

El encastre seleccionado fue el siguiente:

Descripción
La cara inferior del soporte intermedio
Encastre puntual en los extremos del Travesaño Piso, dentro del ensamble Piso Delantero

Tabla 3.6 Encastre seleccionado prueba 4 abaqus.

Para la carga el tipo fue presión y es una fuerza uniformemente distribuida de 33354 N desarrollada anteriormente.

El área depende de las caras seleccionadas de la estructura en abaqus explicado anteriormente.

3.16 Explicación y desarrollo de parámetros para pruebas en Ansys

Para la Prueba 1.

El encastre seleccionado fue el siguiente:

Descripción
La cara inferior del soporte intermedio
La cara inferior del soporte motor

Tabla 3.7 Encastre seleccionado prueba 1 ansys.

A diferencia que en Abaqus en Ansys el valor es la presión aplicada y no la fuerza. La presión aplicada es una presión de 0.01983 Mpa distribuida para todas las pruebas.

Para la Prueba 2.

El encastre seleccionado fue el siguiente:

Descripción
Las 4 caras del soporte intermedio
La cara inferior del soporte motor

Tabla 3.8 Encastre seleccionado prueba 2 ansys.

A diferencia que en Abaqus en Ansys el valor es la presión aplicada y no la fuerza. La presión aplicada es una presión de 0.01983 Mpa distribuida para todas las pruebas.

Para la Prueba 3.

El encastre seleccionado fue el siguiente:

Descripción
Las 4 caras del soporte intermedio
Las 4 caras del soporte motor

Tabla 3.9 Encastre seleccionado prueba 3 anys.

A diferencia que en Abaqus, en Ansys el valor es la presión aplicada y no la fuerza. La presión aplicada es una presión de: 0.01983 Mpa distribuida para todas las pruebas.

En la Tabla 3.10 se muestra las condiciones que deben utilizarse para realizar las pruebas tanto en abaqus como en ansys.

TABLA DESCRIPTIVA DE PRUEBAS REALIZADAS					
PRUEBA	SOFTWARE	ENCASTRE	FUERZA (N)	ÁREA (M)	PRESIÓN (Mpa)
No.1	Abaqus	Cara inferior del soporte intermedio.	33354	Se establece al seleccionar las piezas a las que se aplicará la fuerza.	---
		Cara inferior del soporte motor.			
No.1	Ansys	Cara inferior del soporte intermedio.	33354	1.681874	0.0198
		Cara inferior del soporte motor.			
No.2	Abaqus	4 caras del soporte intermedio.	33354	Se establece al seleccionar las piezas a las que se aplicará la fuerza.	19830
		Cara inferior del soporte motor.			
No.2	Ansys	Cara inferior del soporte intermedio.	33354	1.681874	19830
		Cara inferior del soporte motor.			
No.3	Abaqus	4 caras del soporte intermedio.	33354	Se establece al seleccionar las piezas a las que se aplicará la fuerza.	19830
		4 caras del soporte motor.			
No.3	Ansys	Cara inferior del soporte intermedio.	33354	1.681874	19830
		Cara inferior del soporte motor.			
No.4	Abaqus	Cara inferior del soporte intermedio.	33354	Se establece al seleccionar las piezas a las que se aplicará la fuerza.	19830
		Encastre puntual en los extremos del travesaño piso, dentro del ensamble piso delantero.			
NOTA:	Se calculó el área de las piezas seleccionadas en abaqus y con ello se estableció la presión a utilizar en ansys.				

Tabla 3.10 Tabla descriptiva de las pruebas realizadas.

4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al realizar todas las pruebas descritas en el capítulo anterior, tanto en Abaqus como en Ansys. Además de realizar una comparación entre cada uno de los resultados obtenidos con el fin de comprobar que la estructura cumple con los parámetros mínimos requeridos de diseño, cumpliendo cabalmente con la norma establecida y vigente. Por otro lado también se describen los puntos de vista o conclusiones que se sugieren respecto al diseño de la estructura después de haber hecho su análisis, y de esta manera poder aportar alguna mejora al diseño así como a la norma establecida.

4.2 Resultados obtenidos en las pruebas realizadas en Abaqus

Resultados de la prueba 1.

Resultados obtenidos del parámetro deformación (E). En el plano Máximo Principal. $E = 0.0011$, mostrado en la Fig. 4.1.

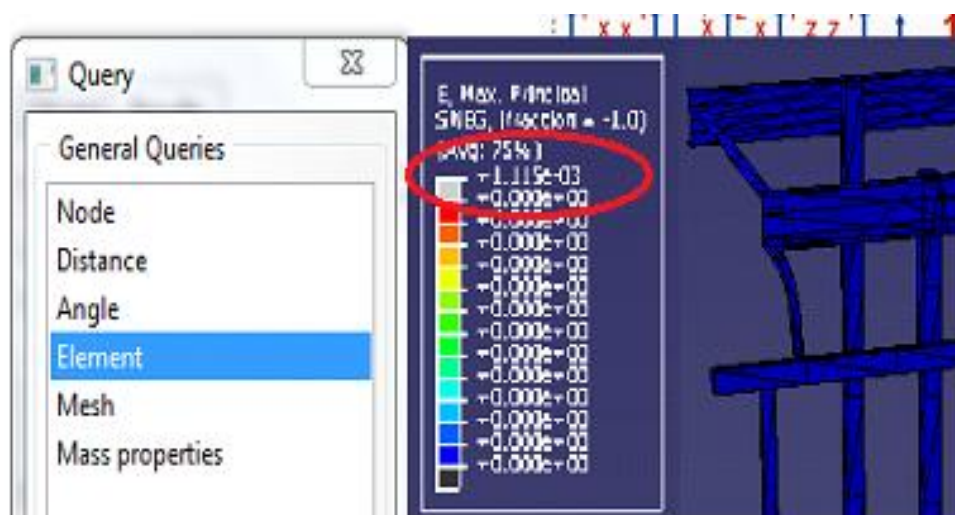


Fig. 4.1 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 1 para (E) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro Desplazamiento (U). En el plano Magnitud. $U = 0.009$ m, mostrado en la Fig. 4.2.

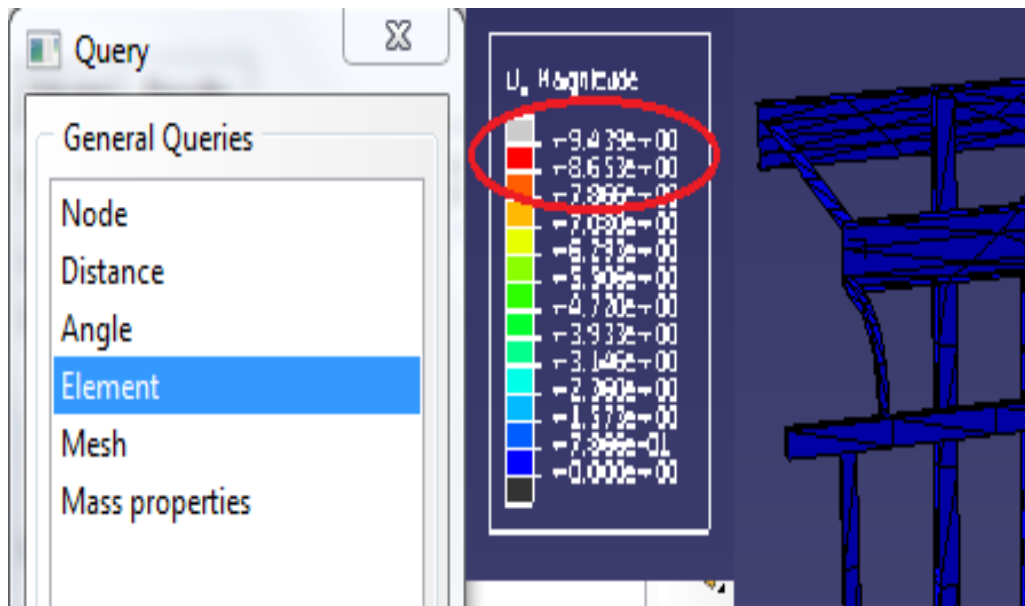


Fig. 4.2 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 1 para (U) en el plano magnitud.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano Máximo Principal. $S = 1.208$ E8 Pa, mostrado en la Fig. 4.3.

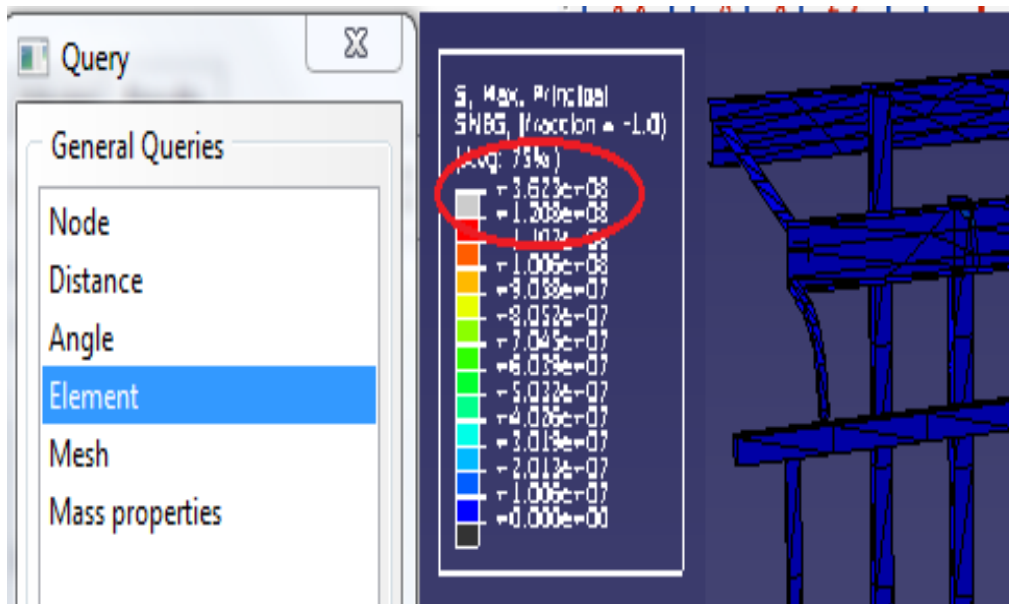


Fig. 4.3 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 1 para (S) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano "Pressure".
 $S = 1.154 \text{ E}8 \text{ Pa}$, mostrado en la Fig. 4.4.

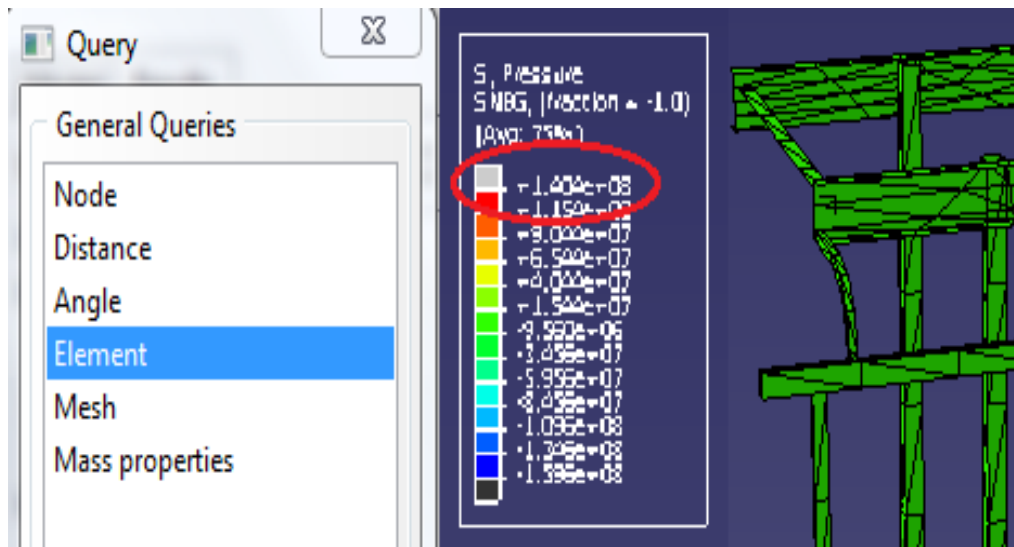


Fig. 4.4 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 1 para (S) en el plano "Pressure".

Resultados de la prueba 2.

Resultados obtenidos del parámetro deformación (E). En el plano Máximo Principal.
 $E = 0.0013 \text{ m}$, mostrado en la Fig. 4.5.

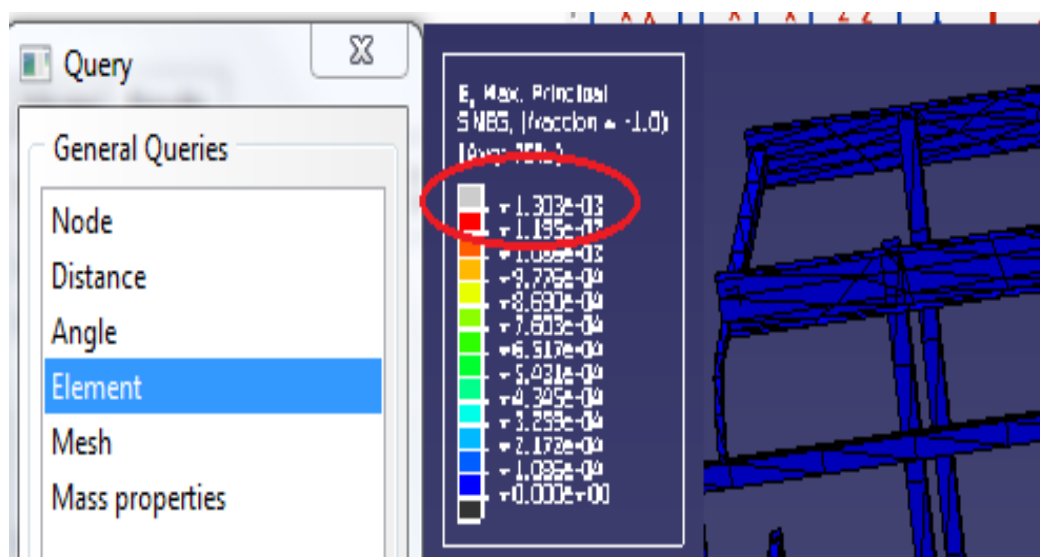


Fig. 4.5 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 2 para (E) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro Desplazamiento (U). En el plano Magnitud. $U = 0.015 \text{ m}$, mostrado en la Fig. 4.6.

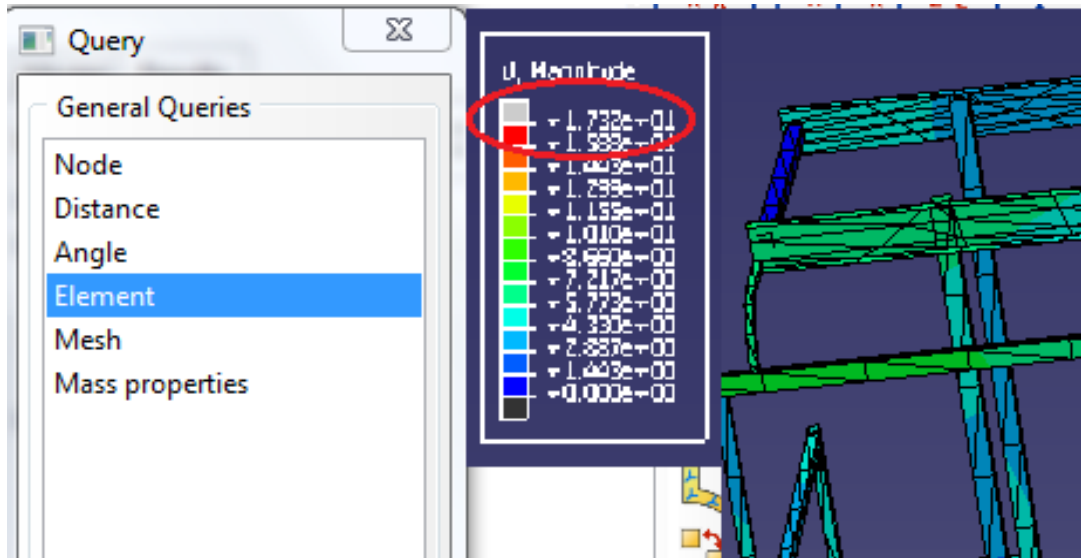


Fig. 4.6 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 2 para (U) en el plano magnitud.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano Máximo Principal. $S = 3.510 \text{ E8 Pa}$, mostrado en la Fig. 4.7.

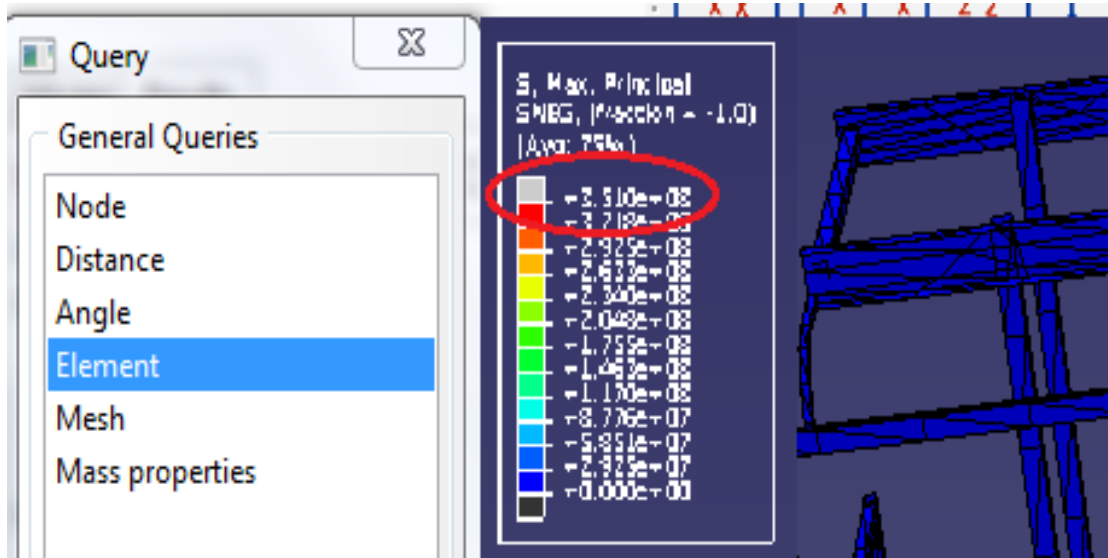


Fig. 4.7 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 2 para (S) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano "Pressure".
 $S = 1.400 \text{ E}8 \text{ Pa}$, mostrado en la Fig. 4.8.

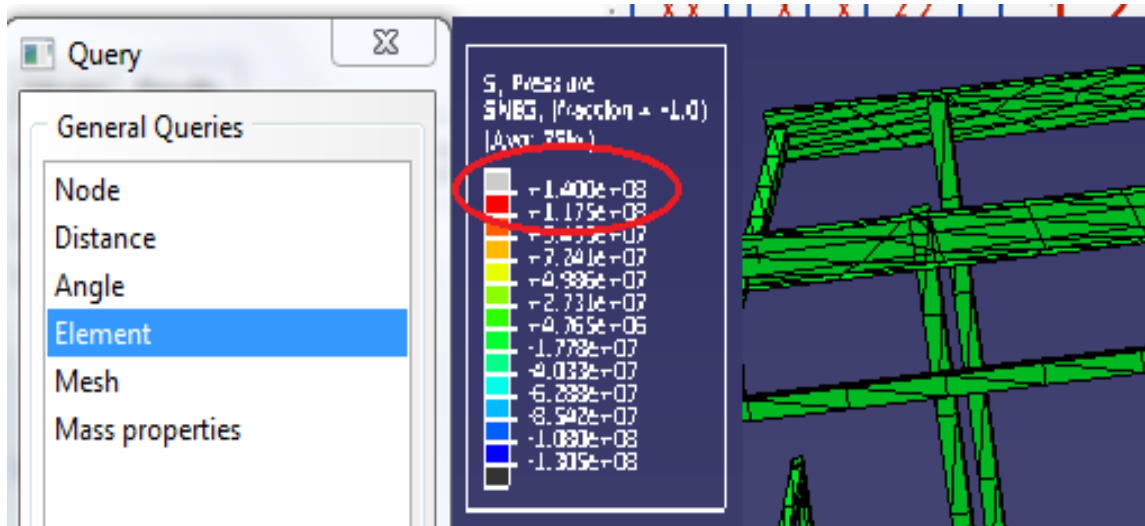


Fig. 4.8 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 2 para (S) en el plano "Pressure".

Resultados de la prueba 3.

Resultados obtenidos del parámetro deformación (E). En el plano Máximo Principal. $E = 0.0014$, mostrado en la Fig. 4.9.

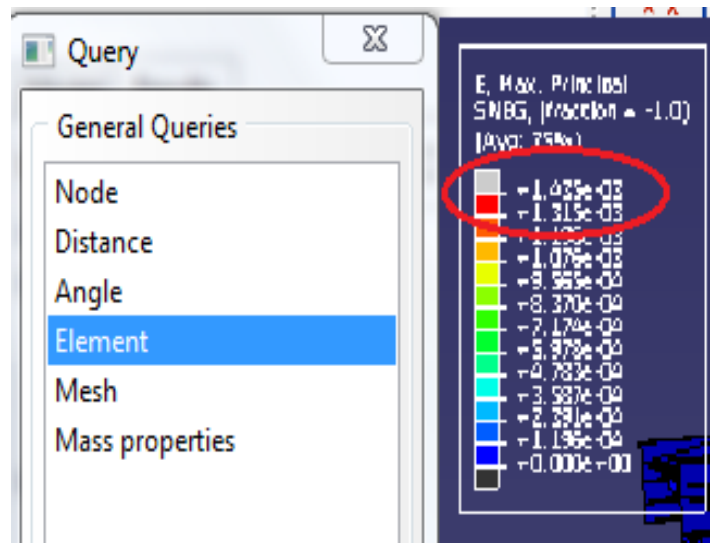


Fig. 4.9 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 3 para (E) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro Desplazamiento (U). En el plano Magnitud. $U = 0.006$ m, mostrado en la Fig. 4.10.

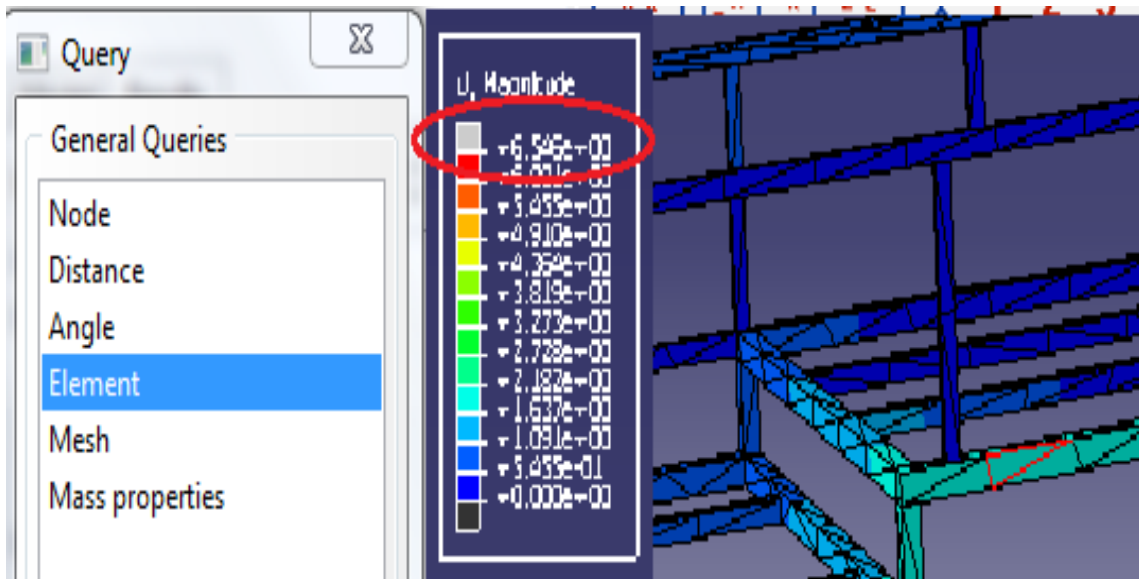


Fig. 4.10 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 3 para (U) en el plano magnitud.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano Máximo Principal. $S = 3.884$ E8 Pa, mostrado en la Fig. 4.11.

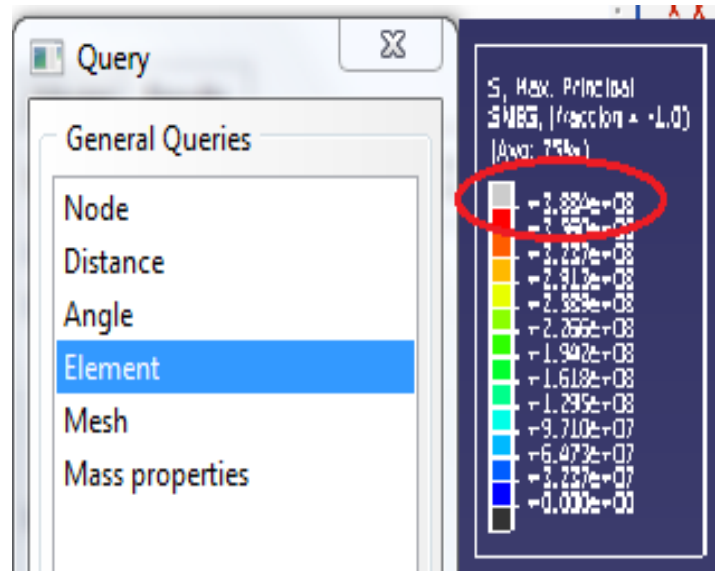


Fig. 4.11 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 3 para (S) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano “Pressure”.
 $S = 1.365 \text{ E}8 \text{ Pa}$, mostrado en la Fig. 4.12.

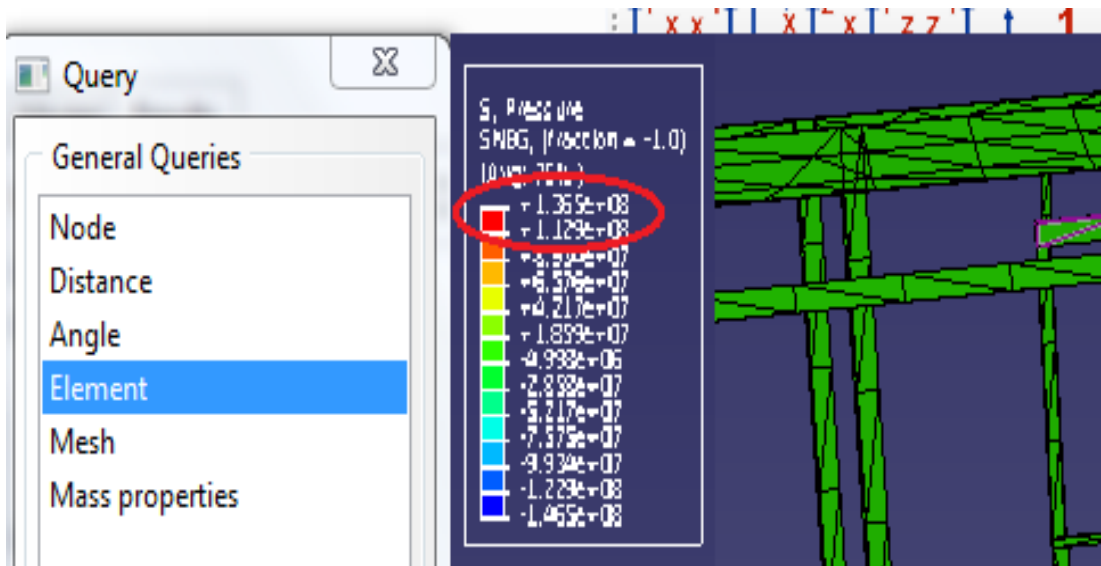


Fig. 4.12 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 3 para (S) en el plano “Pressure”.

Resultados de la prueba 4.

Resultados obtenidos del parámetro deformación (E). En el plano Máximo Principal. $E = 0.0015 \text{ m}$, mostrado en la Fig. 4.13.

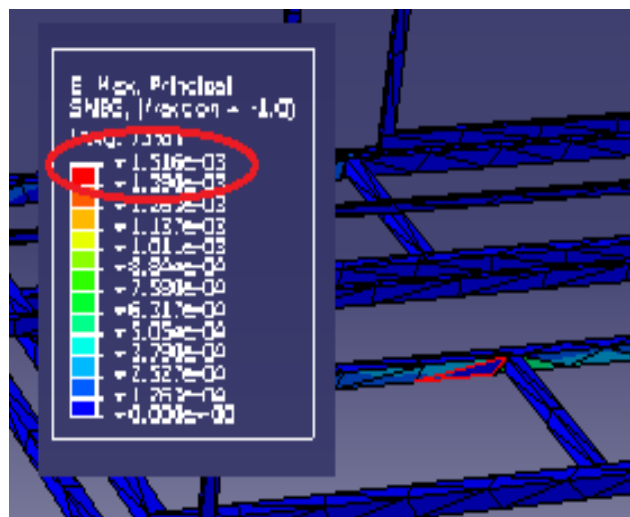


Fig. 4.13 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 4 para (E) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro Desplazamiento (U). En el plano Magnitud. $U = 0.009$ m, mostrado en la Fig. 4.14.

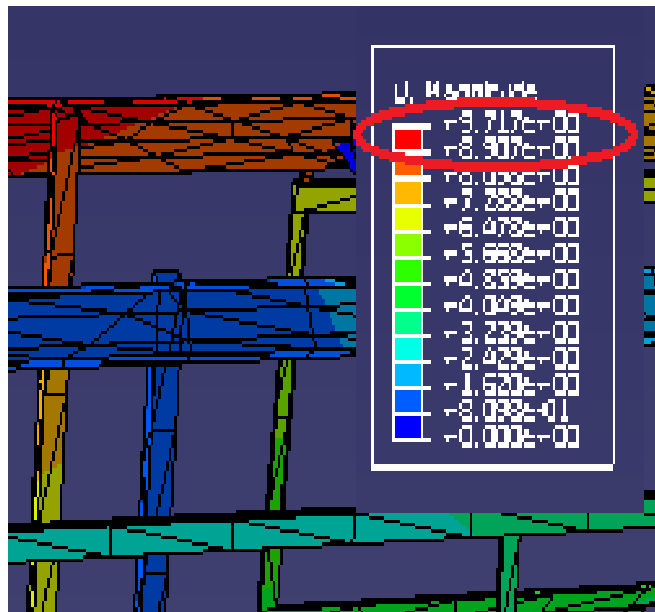


Fig. 4.14 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 4 para (U) en el plano magnitud.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano Máximo Principal. $S = 4.120$ E8 Pa, mostrado en la Fig. 4.15.

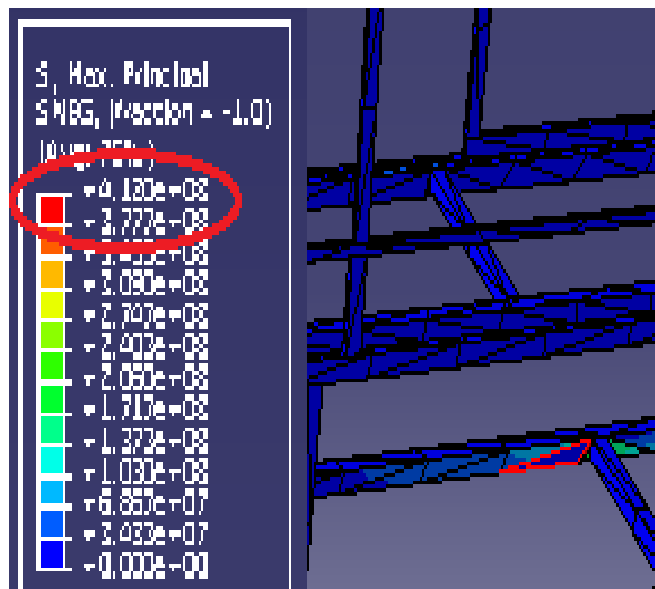


Fig. 4.15 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 4 para (S) en el plano máximo principal.

Resultados obtenidos del parámetro esfuerzo (S). En el plano "Pressure".
 $S = 6.228 \text{ E}7 \text{ Pa}$, mostrado en la Fig. 4.16.

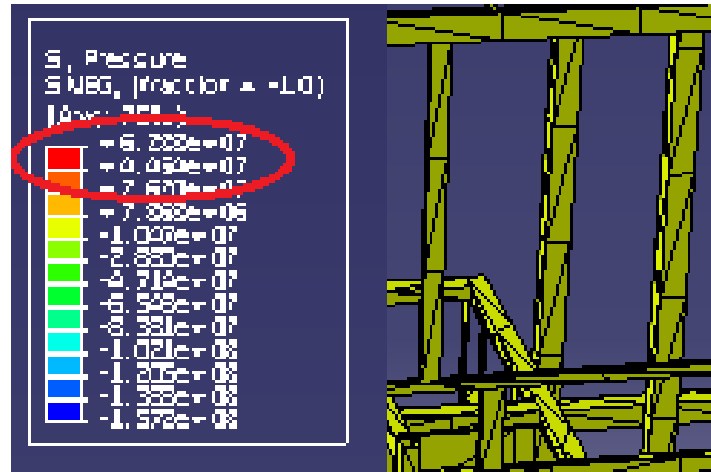


Fig. 4.16 Vista de la estructura del chasis integral de un midibús prueba 4 para (S) en el plano "Pressure".

4.3 Resultados obtenidos en las pruebas realizadas en Ansys

Resultados de la prueba 1.

Resultados obtenidos de la Deformación Máxima = 0.006 m, mostrado en la Fig. 4.17.

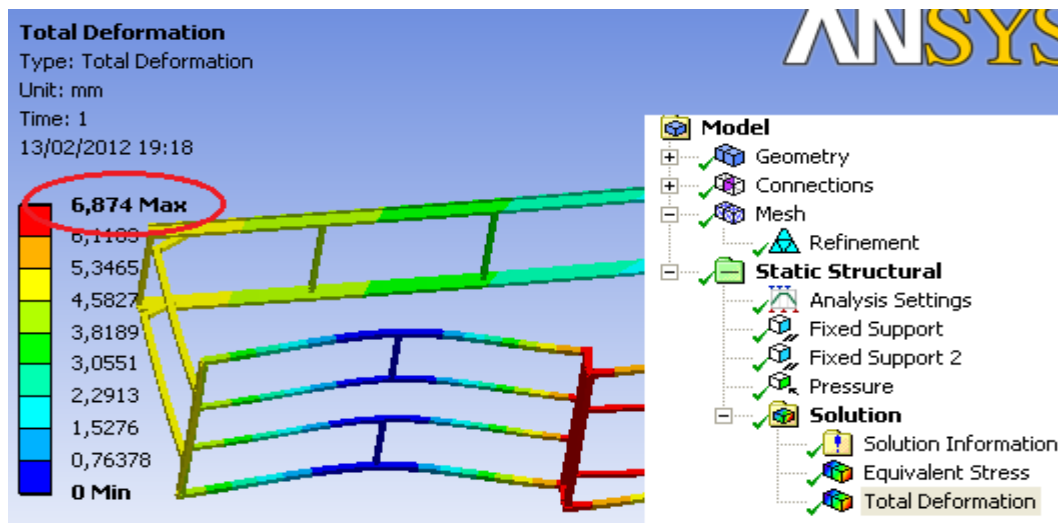


Fig. 4.17 Vista de la Estructura del chasis integral de un midibús prueba 1 para (S) en ansys.

Resultados obtenidos del Esfuerzo Máximo = 2.586 E8 Pa, mostrado en la Fig. 4.18.

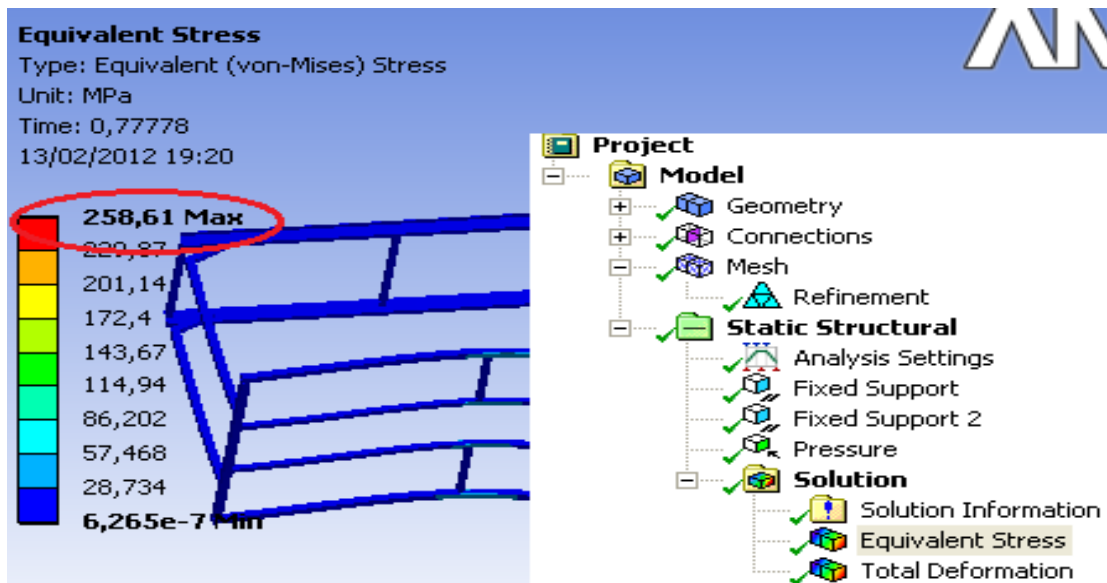


Fig. 4.18 Vista de la Estructura del chasis integral de un midibús prueba 1 para (E) en ansys.

Resultados de la prueba 2.

Resultados obtenidos de la Deformación Máxima = 0.006 m, mostrado en la Fig. 4.19.

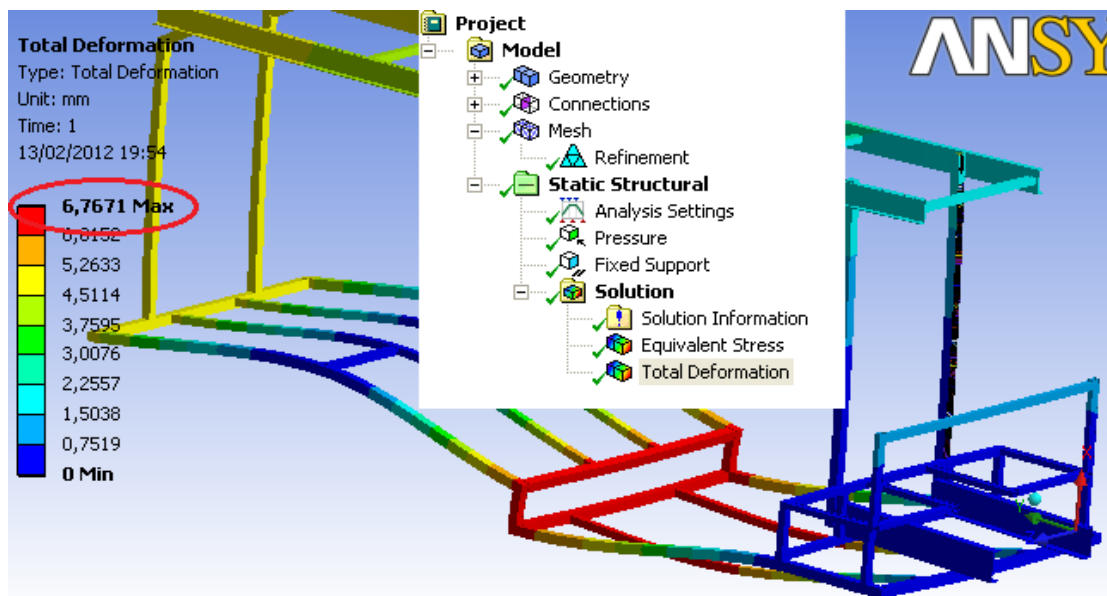


Fig. 4.19 Vista de la Estructura del chasis integral de un midibús prueba 2 para (S) en ansys.

Resultados obtenidos del Esfuerzo Máximo = 2.567 E8 Pa, mostrado en la Fig. 4.20.

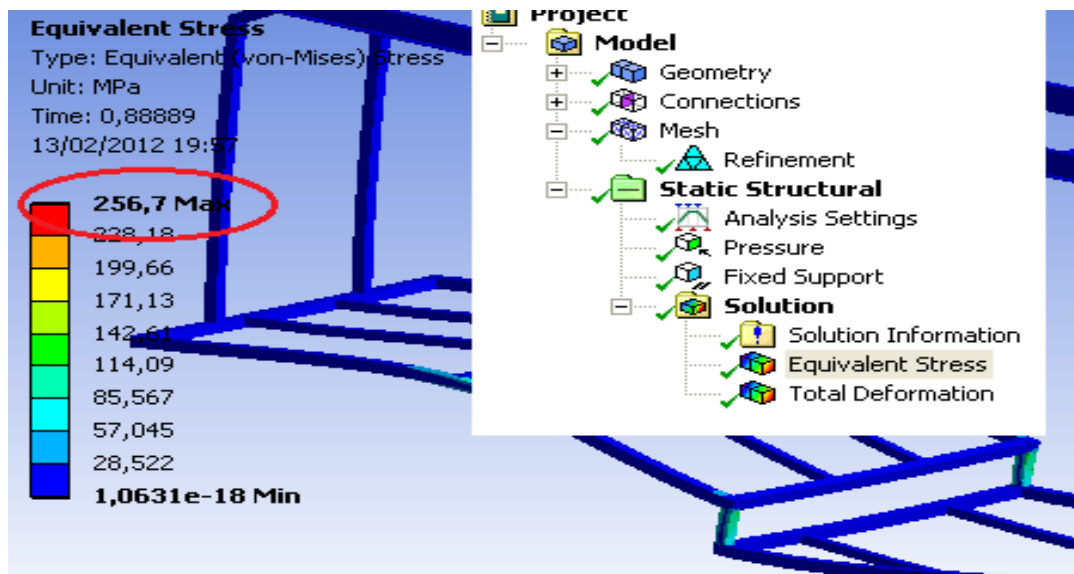


Fig. 4.20 Vista de la Estructura del chasis integral de un midibús prueba 2 para (E) en ansys.

Resultados de la prueba 3.

Resultados obtenidos de la Deformación Máxima = 0.006 m, mostrado en la Fig. 4.21.

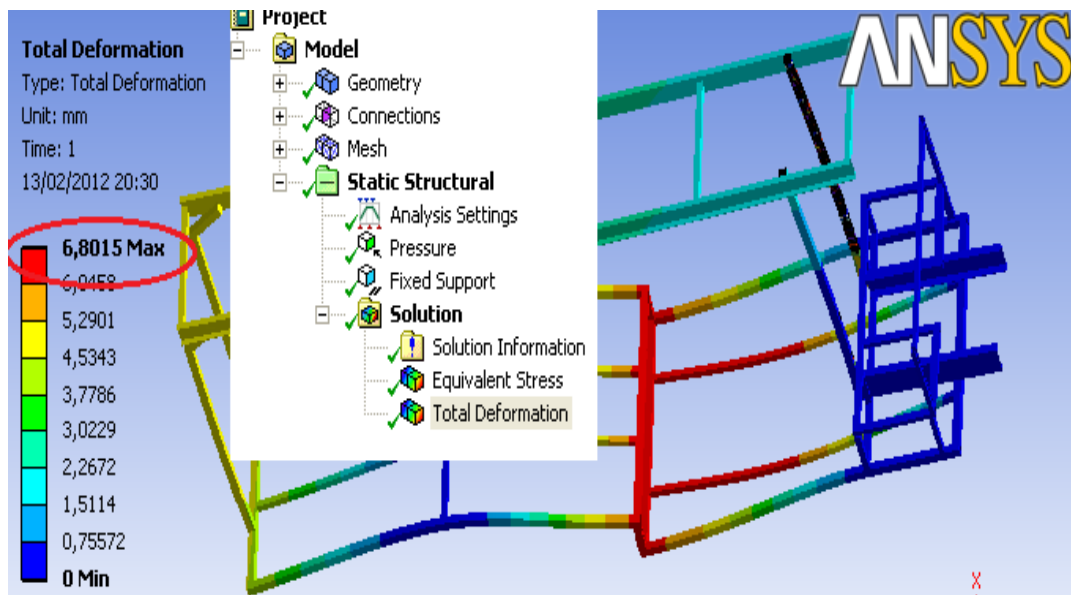


Fig. 4.21 Vista de la Estructura del chasis integral de un midibús prueba 3 para (S) en ansys.

Resultados obtenidos del Esfuerzo Máximo = 2.601 E8 Pa, mostrado en la Fig. 4.22.

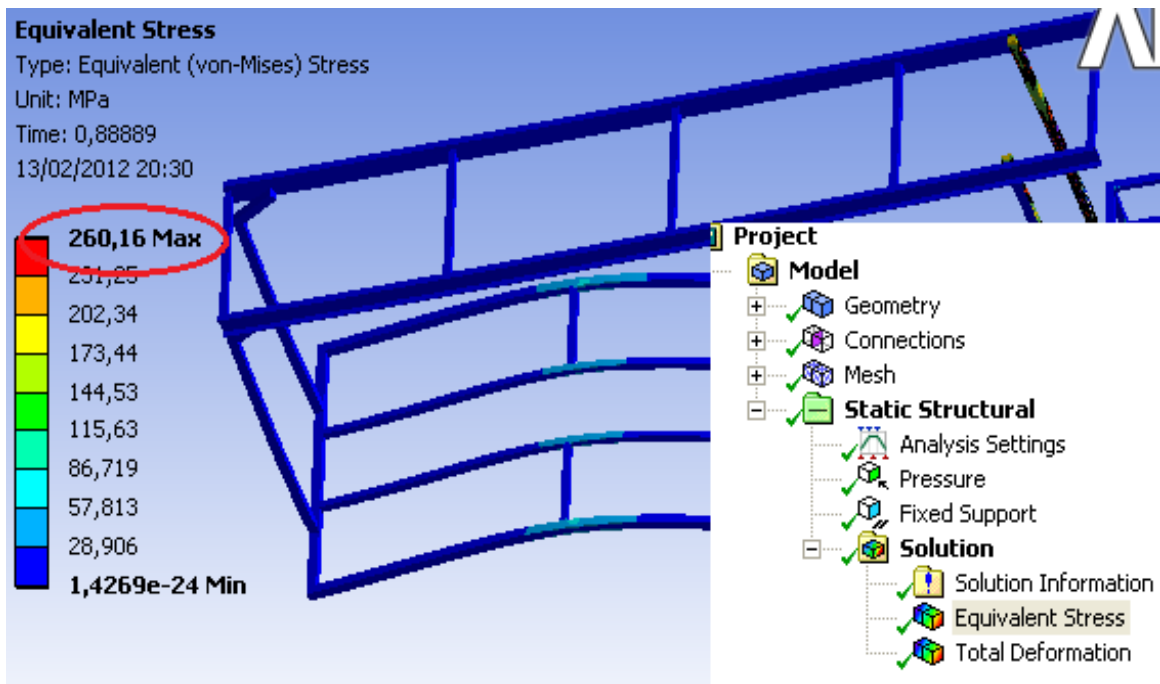


Fig. 4.22 Vista de la Estructura del chasis integral de un midibús prueba 3 para (E) en ansys.

4.4 Tabla comparativa de resultados

A continuación se muestra una tabla comparativa de los resultados utilizados en base a los distintos parámetros que se utilizaron y que ya fueron explicados anteriormente. Solo para mostrar de una manera ordenada, más clara y precisa las diferencias y discrepancias encontradas en todos los resultados.

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS						
PRUEBA	SOFTWARE	PARÁMETRO	UNIDAD	PLANO DE ANÁLISIS		
				PRINCIPAL	MAGNITUD	PRESIÓN
No.1	Ansys	Deformación (E)	m.	0.0068	---	---
		Esfuerzo (S)	Mpa.	258.61	---	---
	Abaqus	Deformación (E)	m.	0.0011	---	---
		Esfuerzo (S)	Mpa.	120.80	---	115.40
		Desplazamiento (U)	mm.	---	9.43	---
No.2	Ansys	Deformación (E)	m.	0.0067	---	---
		Esfuerzo (S)	Mpa.	256.70	---	---
	Abaqus	Deformación (E)	m.	0.0013	---	---
		Esfuerzo (S)	Mpa.	351.00	---	140.00
		Desplazamiento (U)	mm.	---	15.88	---

No.3	Ansys	Deformación (E)	m.	0.0068	---	---
		Esfuerzo (S)	Mpa.	260.16	---	---
	Abaqus	Deformación (E)	m.	0.0014	---	---
		Esfuerzo (S)	Mpa.	388.40	---	136.50
		Desplazamiento (U)	mm.	---	6.54	---
No.4	Abaqus	Deformación (E)	m.	0.0015	---	---
		Esfuerzo (S)	Mpa.	412.00	---	62.22
		Desplazamiento (U)	mm.	---	9.71	---

Tabla 4.1 Tabla de concentración de Resultados.

4.5 Comparación de resultados con la norma vigente y validación de resultados

En la Tabla 4.1, se presenta la compilación de resultados obtenidos, una vez realizadas todas las pruebas descritas anteriormente tanto en abaqus como en ansys.

Al realizar un análisis por separado entre los resultados obtenidos en cada software, se puede observar claramente que los resultados no son homogéneos o exactos entre sí. Sin embargo, sí son resultados aproximados, lo cual es entendible si se consideran las distintas condiciones que se seleccionaron para cada prueba. Es decir, que entre prueba y prueba variaron los puntos de encastre de la estructura lo cual invariablemente interviene en los resultados obtenidos.

Por otro lado, se hizo una comparación de los resultados obtenidos, abaqus vs ansys donde nuevamente se encuentran resultados discrepantes. En este caso es importante considerar una vez más, las distintas condiciones seleccionadas entre prueba y prueba. Además de recordar que para el análisis realizado en ansys, se omitieron algunas piezas laterales de la estructura como se menciono anteriormente, y aunque estas piezas no forman parte de los soportes principales de la estructura del chasis integral del midibús, si pueden representar una variación en los resultados.

También se debe recordar que para en análisis de la estructura del chasis integral del midibús en abaqus, la estructura fue modelada como una lámina “shell” y posteriormente se le otorgo un espesor, mientras que en ansys la estructura fue modelada como un sólido. Lo cual puede representar una variación en los resultados.

Sin embargo, el punto más importante a mencionar es que, aunque los resultados obtenidos en la simulación con ambos software del chasis integral del midibús, no son homogéneos, dichos resultados **se encuentran dentro de los parámetros establecidos, además presentan una deformación muy por debajo del límite máximo establecido por la norma oficial vigente, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999.** Lo anterior muestra que los resultados son validos y aceptables, y que la estructura del chasis integral del midibús, se encuentra diseñada por encima de los parámetros mínimos de diseño establecidos en la norma oficial vigente, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999.

4.6 Conclusiones

El presente trabajo se desarrollo el análisis por elemento finito del chasis integral de un midibús, manufacturado en la Universidad Autónoma de Querétaro.

Para realizar el modelado de la estructura y obtener los resultados deseados, se realizó una revisión completa al archivo de la estructura integral del chasis de un midibús que se encontraba en unigraphics (NX). Se corrigió la estructura, revisando piezas, sub-ensambles y ensamble general de la estructura.

Se revisaron y ajustaron piezas que se encontraban traslapadas unas sobre otras. Se limito el desplazamiento de cada pieza dentro del sub-ensamble al que pertenecían, y a su vez se limitaron estos sub-ensambles al acoplarse al

ensamble general. También se redibujó de sólido a lámina y viceversa la estructura completa del chasis integral de un midibus.

Todas estas dificultades y ajustes debían llevarse a cabo, para poder realizar un correcto modelado en abaqus y ansys de la estructura del chasis integral de un midibús.

Se realizó el análisis por elemento finito de la estructura del chasis integral de un midibús utilizando el software abaqus, así como el software de Ansys. Con dicho análisis se comprobó que la estructura construida previamente a la realización de este análisis, cumple con los parámetros de diseño mínimos requeridos de acuerdo a la norma oficial vigente, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, establecida en el país.

Con el desarrollo del análisis por elemento finito del chasis integral del midibús en dos software, se obtuvo la posibilidad de realizar un comparativo entre los resultados obtenidos en ambos programas. Aunque los resultados obtenidos no se asemejan cabalmente, todos y cada uno de los valores obtenidos en los resultados se encuentran dentro de los límites de diseño establecidos en la norma oficial vigente, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999.

Gracias al análisis por elemento finito de la estructura del chasis integral de un midibús y a los resultados obtenidos con la realización de este trabajo, se sugiere de manera concisa y segura, realizar una corrección en el diseño de la estructura. La mejora o aporte a futuras estructuras de chasis integral de un midibús se centra en la disminución del espesor en algunos elementos de la estructura. Esta recomendación se basa en el hecho de que la estructura del chasis integral de un midibús está construida por encima de los parámetros de diseño que establece la norma oficial vigente, comprobado después de realizar el análisis por elemento finito en abaqus y ansys.

La disminución de espesores en la estructura, es la única recomendación que se hace, debido a que el sugerir un cambio de diámetros o formas en algunas piezas de la estructura, requiere de un análisis completo al diseño general de la estructura del chasis integral de un midibús.

Con esta recomendación se pretende impactar en la disminución de costos de fabricación, aligerar el peso de la estructura, consumo de combustible y optimizar su funcionamiento.

Al adentrarnos en el desarrollo del presente trabajo, y con la finalidad de comparar los resultados obtenidos contra los parámetros que la norma oficial vigente exige, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999. Se encontró que la norma es poco estricta y que a grandes rasgos el único requerimiento que hace, es realizar un análisis por elemento finito, dicho esto textualmente sin ninguna especificación.

Establecido lo anterior e intentando realizar un aporte a la norma, se recomienda especificar él o los software que deben usarse para realizar el análisis por elemento finito, con el fin de estandarizar y homogeneizar los parámetros que se requieren, así como los resultados que se obtienen al realizar el análisis por elemento finito. Además de que la norma cuente con una descripción de los parámetros que deben ser revisados, analizados y monitoreados cuando se efectuó el análisis por elemento finito, entre los que destacan esfuerzo (E), deformación (S), desplazamiento (U), como se hizo en el presente trabajo, y de esta manera hacer un comparativo de resultados más específicos.

REFERENCIAS

1.- Departamento de ingeniería Eurocar México S.A. de C.V.

2004.

2.- Tesis Especificaciones de diseño para vehículos de transporte público.

Héctor Manuel Martínez Marín.

México 2009.

3.- Tesis Diseño y manufactura del chasis-carrocería para midibús.

Iván Zacatenco Ordaz.

Querétaro 2011.

4.- Diseño en Ingeniería Mecánica.

J.E. Shigley y C.R. Mischke.

McGraw Hill 2002.

5.- Manual de Física Elemental.

Koshkin N. I., Shirkévich M. G.

Editorial Mir 1975.

6.- Abaqus programa de elementos finitos Centro Nacional de Cálculo Científico
Universidad de los Andes.

Maylett Y. Uzcátegui Flores

Pagina web http://www.cecalc.ula.ve/documentacion/tutoriales/abaqus/introduccion_abaqus.pdf.

2012.

7.- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, TRANSPORTE TERRESTRE-SERVICIO DE AUTOTRANSPORTE ECONÓMICO Y MIXTO-MIDIBÚS-CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DE SEGURIDAD.

8.- Pagina web el rincón del NX, <http://www.rincad.es/viewforum.php?f=33>.

2011.

9.- Tesis Estudio de daños en estructuras usando análisis modal en un modelo instrumentado.

Raúl Chávez Romero.

Querétaro 2010.

10.- Secretaria de transporte y vialidad SETRAVI.

2003.

