

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

**ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE LA ESTRUCTURA DE UN
REMOLQUE FOOD TRUCK SOMETIDO A CARGAS DE IMPACTO LATERAL**

Edison Oswaldo Argüello Maya

Nota del autor

Edison Oswaldo Argüello Maya, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Julio Leguísamo, MsC.

Codirector: Dr. Edilberto Llanes PHD

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

earguello.mdm@uisek.edu.ec

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	8
Objetivo principal.....	8
Objetivos secundarios	8
ESTADO DEL ARTE.....	9
Los Food Truck como negocio	9
Tipos de estructuras para Food Truck.....	10
Estudios sobre estructuras.....	11
Normativa para la fabricación de estructuras.....	11
Matemáticas para los elementos finitos	14
Partes importantes de la estructura y materiales	16
Conceptos de física en cuanto al choque.....	17
Resistencia de Materiales.....	20
Software para modelado y análisis de elementos finitos	23

Software para cálculo de matrices.....	27
MÉTODO.....	29
Análisis de cargas.....	40
Análisis teórico matemático usando conceptos de impulso y cantidad de movimiento y resistencia de materiales en referencia al esfuerzo y deformación	45
Análisis del mismo fenómeno usando software de elementos finitos para obtener la deformación	49
Análisis del fenómeno por elementos finitos método directo.....	52
RESULTADOS.....	58
ALCANCE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	59
DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	59
Caso 1 – Cargas de 1.4M+V	61
Caso 2 – Cargas de 1.2M+1.6V+0.5G	64
Caso 3 – Cargas de 1.2M+0.5V+1.6G	67
Caso 4 – Cargas de 1.2M+1.6F+0.8Raf.....	70
Caso 5 – Cargas de 1.2M+0.5V+0.5F+1.3Raf.....	73
Caso 6 – Cargas de 1.2M+1.5Ab+0.5V	76
Caso 7 – Cargas de 0.9M-1.3Raf	79
Caso 8 – Cargas de 0.9M+1.3Raf	82
Caso 9 – Carga en techo.....	85

Caso 10 – Volteo.....	87
Caso 11 – Impacto Lateral	90
DISCUSIÓN	95
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
Anexos.....	107

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Edison Oswaldo Argüello Maya con cédula de ciudadanía 1708903024 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa Institucional vigente.

Edison Oswaldo Argüello Maya

C.C.: 1708903024

DEDICATORIA

Dedicado a Dios, mi amor Sonia, mis hijos y mis padres.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

RESUMEN

En la actualidad el apareamiento de los Food Trucks como un medio popular para el expendio de productos gastronómicos al alcance de la población de todos los estratos y con precios relativamente bajos, ante lo cual muchos emprendedores han detectado como una oportunidad de negocio que pueden ser ubicados en diversos lugares de las ciudades con una inversión relativamente baja y una tasa interna de retorno de corto plazo. Como consecuencia se ha acrecentado la demanda de Food Trucks y en el mercado existen metal mecánicas que en su mayoría los fabrican artesanalmente. Sobre esta base, la investigación toma un modelo típico de Food Truck remolcado para someterlo a análisis bajo cargas estáticas y dinámicas con el respaldo de un software especializado en cálculos por el método de elementos finitos. Con este estudio se obtuvieron planos y el detalle de la materia prima que garantice la resistencia y seguridad de esta estructura. En este proyecto se aplicaron metodologías utilizadas para la validación de las estructuras de los buses estipuladas en normas nacionales e internacionales, todo esto con el fin de facilitar su fabricación manteniendo la seguridad como elemento importante al momento de la manufactura.

Palabras clave: Elementos finitos, cargas dinámicas, estructura, *Food Truck*, establecimiento comercial, remolque, impacto.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

ABSTRACT

At present the food trucks are products for the products that are offered there and that enjoy acceptance in all corners of Ecuador. Many entrepreneurs have identified as a business opportunity because of its versatility that can be located in the most diverse places with a relatively low investment and a possible rapid return on capital. As this activity is part of an economic system, once it creates the need to meet the growing demand for food truck manufacturing, however, in the market there are only metal mechanics that build in a craftsmanship. For this reason a typical model is taken to undergo an analysis under static and dynamic loads, backed by software specialized in finite element calculation; Product of this study was obtained the plans and detail of the raw material that guarantees the strength and safety of the structure of the food cart. In order to obtain the objective, the methodologies used for the study of the structures of the buses stipulated in national and international standards are followed, everything related to the purpose of facilitating the manufacture while maintaining safety as an important element at the time of manufacture.

Key words: Finite elements, dynamic loads, structure, food truck, commercial establishment, trailer, impact.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador se está visibilizando en muchas ciudades la presencia de los *Food Trucks* que generalmente son estructuras móviles donde el espacio interno es adaptado para instalar equipos que ayudan a la preparación de productos alimenticios, algo parecido al proceso de un restaurante a pequeña escala y que está tomando fuerza principalmente en las ciudades grandes con diseños adecuados y ergonómicos en el interior, colores y marcas diferentes, para satisfacer las necesidades de importantes sectores de la población con estructuras parecidas, de fabricación artesanal; hoy por hoy, esta infraestructura móvil se ha convertido en una opción popular rentable de inversión que va ganando adeptos en el territorio nacional.

Debido a las características que presentan estos remolques nace la necesidad de realizar una investigación técnica mayor utilizando herramientas informáticas adecuadas y el conocimiento teórico científico disponible que permitirá analizar mediante elementos finitos, la estructura de un *Food Truck* remolcado y que está sometido a diferentes cargas respaldado además por los resultados generados por un software especializado.

El resultado obtenido al final de este trabajo será poner a disposición del público una propuesta de planos de la geometría, así como el detalle de que tipo de tubos se deben usar para garantizar la resistencia y seguridad de la estructura del *Food Truck*, información que será insumo para quienes opten por producir en serie este tipo de estructura móvil, considerando un modelo único, que pueda ser elaborado con mayor facilidad manteniendo la seguridad del producto final como elemento importante para su manufactura.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

ANTECEDENTES

En Ecuador lleva poco tiempo el apogeo de los *Food Trucks* y la ciudad de Quito es la primera del Ecuador en tener una normativa que regula estos emprendimientos, con el objetivo de que ejerzan su actividad económica de forma ordenada y segura; para ello, el Municipio de Quito ha expedido la Resolución A011 que permitirá el buen funcionamiento de este nuevo giro de negocio sobre establecimientos móviles (Gad Municipal del Distrito Metropolitano de Quito, 2016) la gran demanda de espacio público.

Se debe señalar que la Resolución A011 del cabildo quiteño recoge el trabajo técnico realizado por las secretarías de Territorio, Hábitat y Vivienda, Desarrollo Productivo y Competitividad y Salud y otras dependencias municipales involucradas, para que Quito cuente con esta regulación que contiene estudios técnicos en seguridad, ambiente y espacio público.

Para atender estas necesidades el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, ha expedido las Normas Técnicas de Uso y Ocupación Temporal del Espacio Público para Establecimientos Móviles (*Food Trucks*), en las que autoriza estas actividades como la venta de alimentos y bebidas, entre otras actividades.

El Municipio atendió este requerimiento porque se ha venido presentando la necesidad creciente respecto a la variedad de oferta de distintos tipos de comercialización de alimentos asociado también a una búsqueda de opciones de trabajo para la población; éstas alternativas convencionales al momento tienen una creciente demanda, por lo cual las personas han identificado estos negocios como una oportunidad que satisfaría con la oferta de los *Food Truck* técnicamente construidos.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia del análisis mediante elementos finitos de la estructura de un remolque *Food Truck* sometido a diferentes tipos de cargas radica en la necesidad de dotar de una fuente de consulta a diferentes usuarios finales como municipios, pequeñas y medianas empresas, metalmecánicas, emprendedores, estudiantes y público en general, pues los planos y la información acerca de los materiales que pueden ser empleados en la construcción de una estructura *Food Truck* servirían como punto de partida para fabricar estos establecimientos móviles que en la actualidad son muy demandados por la sociedad, pues al momento constituyen un nicho de mercado que no ha sido atendido en cuanto a aspectos de ingeniería, salubridad y seguridad.

Es importante conocer que en la base de datos <http://www.bibliotecasdelecuador.com/cobuec/> no existe ninguna tesis que haga referencia a estudios sobre la estructura de los *Food Truck* o norma técnica que coadyuven al sector metalmecánico para iniciar un proceso de construcción en serie de estos establecimientos móviles, determinándose que los trabajos de construcción son realizados con conocimientos empíricos sin el sustento científico referente a las dimensiones, materiales y especificaciones requeridas para guardar la seguridad necesaria manteniendo un umbral relativamente bajo en cuanto a mantener un diseño adecuado más no sobredimensionado; es decir, no se dispone del conocimiento de ingeniería para construir una estructura para un *Food Truck* remolcado, utilizando materiales comercializados en el Ecuador, que soporte cargas estáticas y dinámicas de impacto.

La necesidad de que la estructura sea analizada bajo diferentes cargas tiene su origen en la premisa de que estos pequeños establecimientos móviles se desplazan de un lugar a otro, siempre con el riesgo de que puedan sufrir percances al permanecer estacionados.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Los fenómenos de impacto sobre las estructuras se constituyen en interés especial de estudio, aunque por lo general su probabilidad de ocurrencia es baja, pero su efecto puede ser potencialmente catastrófico.

Por otro lado, al momento de fabricar un establecimiento móvil su estructura debe tener en cuenta la normatividad referente a sus dimensiones que tienen restricciones en cuanto al volumen y espacio y que en definitiva determinan el espacio público a ocuparse en las actividades señaladas, así como también de los implementos que deberán ser colocados en el modelado final, esto es; tanque de agua potable, espacio para tanque de GLP, cocinas, mesas, refrigerador, motor generador, recolector de desperdicios de aceite, agua, entre otros.

Existen varios trabajos de carácter académico que aunque no sean específicamente sobre *Food Trucks*, servirán de base para establecer los parámetros que constituyen punto de partida en el análisis de la propuesta de estructura para establecimiento móvil.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

JUSTIFICACIÓN

La razón de ser de la universidad y parte de sus competencias es aportar al desarrollo de la matriz productiva del país sobre la base de lo estipulado en la Constitución de la República del Ecuador en el Art. 33 que estipula que: “El trabajo es un derecho y un deber social, y un derecho económico, fuente de realización personal y base de la economía...”, el Art. 66 en su numeral 15 reconoce “El derecho a desarrollar actividades económicas, en forma individual o colectiva, conforme a los principios de solidaridad, responsabilidad social y ambiental.”, de igual manera, el Art. 325 señala que: “El Estado garantizará el derecho al trabajo, se reconocen todas las modalidades de trabajo, en relación de dependencia o autónomas, con inclusiones de auto sustento y cuidado humano y como actores sociales productivos a todas las trabajadoras y trabajadores”, el Art. 284 determina que la política económica tendrá entre otros objetivos el incentivar la producción nacional, la productividad y competitividad sistémicas y la acumulación del conocimiento científico y tecnológico.

Sobre la base de estos principios constitucionales la potencial fabricación de los *Food Trucks* también estarían contribuyendo al cambio de la matriz productiva al ensamblarlo con mano de obra ecuatoriana, en concordancia con el objetivo 10 del plan Nacional del Buen Vivir al impulsar la transformación de la matriz productiva, donde los desafíos actuales deben orientar la conformación de nuevas industrias y la promoción de nuevos empleos con alta productividad, competitivos, sostenibles, sustentables y diversos, con visión territorial y de inclusión social y económica, incentivando la inversión privada en estas nuevas actividades económicas.

La hipótesis que se establece como base de la investigación es probar que el modelo típico de Food Truck escogido se analice bajo cargas estáticas y dinámicas según normas correspondientes con la aplicación de un software especializado en cálculos por el método de elementos finitos, lo

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

que permitirá atender la necesidad de cubrir la demanda de Food Trucks en el mercado por parte de los emprendedores y por otro lado la industria metal mecánica contará con una propuesta validada técnicamente como se demostrará luego del análisis realizado en el desarrollo de este documento.

OBJETIVOS

Objetivo principal

Analizar la estructura de un remolque Food Truck sometido a cargas de impacto lateral mediante el método de elementos finitos para poner a disposición de la industria metal mecánica una propuesta de planos y que sea material de consulta validado con cálculo asistido por computadora con un software especializado.

Objetivos secundarios

- Conseguir información sobre la materia prima que se requerirá para la construcción de un *Food Truck* mediante la investigación de campo para obtener un producto que garantice la resistencia a las posibles cargas a las que será sometida la estructura.
- Realizar la simulación del impacto sobre la estructura de un Food Truck con un software especializado para determinar su comportamiento bajo ese tipo de cargas y con ello determinar la factibilidad de la propuesta.
- Generar planos con la geometría requerida para construir a futuro una estructura de *Food Truck* para aplicarlo directamente en la industria, información respaldada por el desarrollo matemático y asistido también por software.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

ESTADO DEL ARTE

Los Food Truck como negocio

Los *Food Trucks* en el Ecuador son una nueva tendencia, a tal punto que a la fecha de elaboración de esta tesis, la empresa de vehículos Cinascar vio una oportunidad de negocio y está incursionando en la venta de camiones con el cajón fabricado y equipado para funcionar como un establecimiento comercial móvil o *Food Truck* (Líderes Exprés, 2016).

Según los indicadores expuestos por el INEC en referencia al subempleo y empleo inadecuado (Castillo Añazco & Rosero Moncayo, 2015) se podría deducir que una buena alternativa de vinculación al ámbito laboral para un sector de la población estaría representado por la idea de emprender una actividad económica en un establecimiento comercial móvil. (Líderes, 2016)

Normalmente las personas que buscan entrar en este tipo de negocio acuden a metal mecánicas que son parte de la industria manufacturera y que trabajan de una manera artesanal. El INEC a través de su página oficial evidencia la importancia de este sector para la fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques cuya producción es significativa a nivel nacional con USD\$1 162 922 600 (INEC, 2011).

Con esta potencialidad latente arriba descrita se debe pensar que al pretender montar un proceso de fabricación de remolques *Food Truck*, se debe considerar que el producto final debe tener la geometría y materiales adecuados para que guarde aspectos de seguridad pues un factor a considerar es el alto índice de siniestros por distintas causas que hay en nuestro país. (Agencia Nacional de Tránsito, 2017)

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tipos de estructuras para Food Truck

Entre los tipos de estructuras que se oferta en el mercado nacional existen principalmente dos tipos de estructuras: las construidas sobre un vehículo de la **Figura 1** y las fabricadas para ser remolcadas como la **Figura 2**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

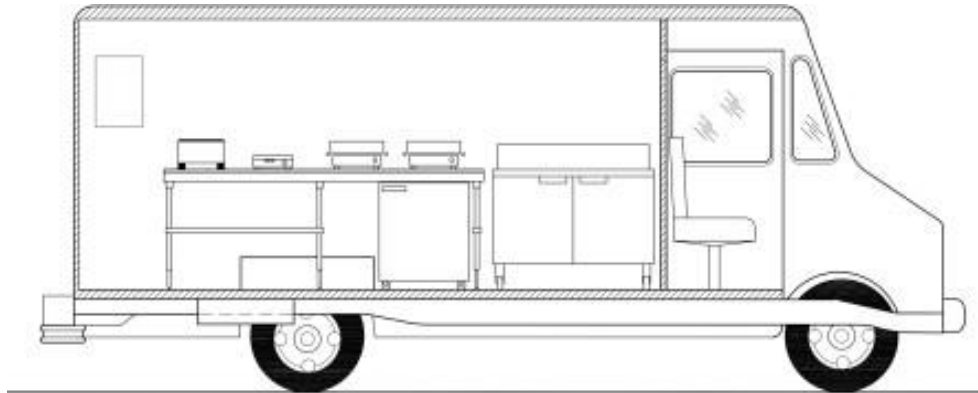


Figura 1. Esquema de un *Food Truck* construido sobre un camión

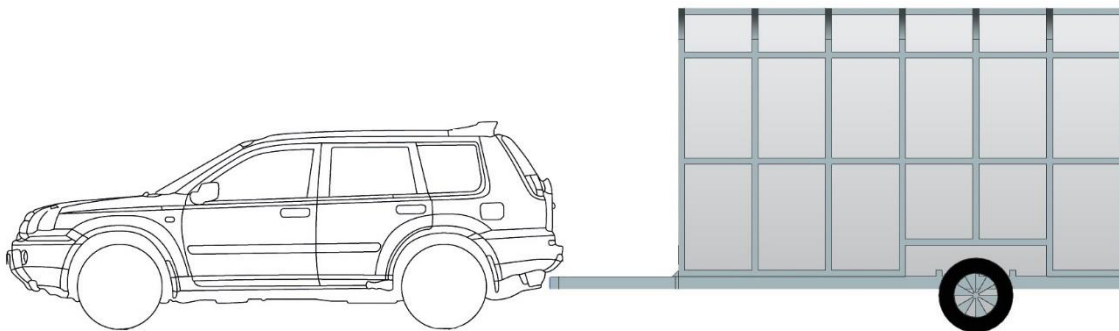


Figura 2. Esquema de un *Food Truck* remolcado

En este estudio se analizará una estructura típica de *Food Truck* remolcado (**Figura 3**) por ser la opción más accesible para el público en cuanto a costos, pues solo se requeriría hacer una adecuación en el vehículo familiar para movilizarlo; esto reduce el costo de hacerse de este negocio a la tercera parte.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Estudios sobre estructuras

La estructura de los buses interprovinciales es muy similar a la de los *Food Truck*, lógicamente las dimensiones cambian, pero la información generada por estudios tales como: Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros (Meneses, 2016) o Análisis estructural a cargas de impacto frontal de un bus tipo interprovincial mediante el método de elementos finitos (Manjarrés Arias & Santillán Mariño, 2016), serán muy útiles, pues serán la base o punto de partida para estudiar una estructura de menor tamaño, así como para comparar con la información que se obtendrá de un software para determinar la idoneidad de la estructura propuesta, en tal sentido, también se tendrá que acudir a la normativa del Instituto Ecuatoriano de Normalización que es útil para guiar este trabajo porque se tiene de base algunos conceptos, tales como los tipos de combinaciones de carga puesto que las estructuras deben ser diseñadas de manera que resistan los esfuerzos determinados según algunos métodos (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Normativa para la fabricación de estructuras

La normativa nacional general para transporte terrestre la encontramos en forma digital en el portal de la ANT, como se indicó anteriormente, los estudios o información sobre la estructura de los buses, será la base para el presente análisis por su similitud en cuanto a forma, materiales y tipos de carga. (Agencia Nacional de Tránsito, 2017)

Se tomará como punto de partida la Norma NTE INEN 1323: 2009 (INEN, 2009) donde se establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

para todas sus modalidades por la gran similitud que existe entre la estructura de un *Food Truck* y un Bus Interprovincial.

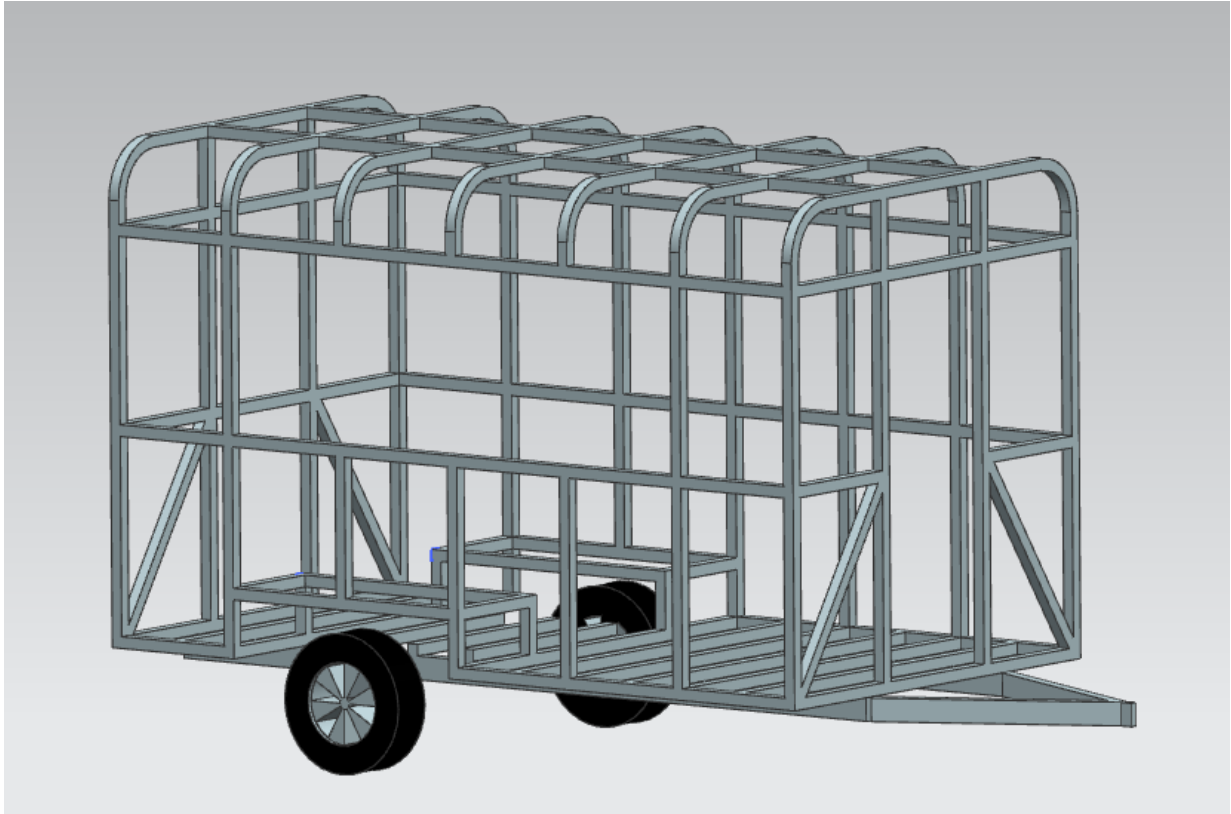


Figura 3. Modelo de un Food Truck elaborado en software CAD

Algunas definiciones son importantes de destacar como son los tipos de cargas que normalmente los laboratorios de ingeniería estudian antes de dar el visto bueno a un diseño:

- Carga de aceleración brusca que corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo debido a la inercia o resistencia que tienen los objetos a cambiar un estado de reposo relativo al movimiento
- Carga de frenado que es la fuerza que se produce cuando el vehículo frena, esto es, debido a la inercia o resistencia que tienen los objetos de cambiar de un estado de movimiento relativo al estático

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Carga de giro que es la fuerza que se produce cuando el vehículo gira, o sea cuando aparecen fuerzas centrípetas
- Carga muerta que corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios
- Carga viva que es la carga generada por la cantidad máxima de ocupantes del vehículo y que se distribuye uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería

Las estructuras de carrocerías deben ser diseñadas de manera que estén facultadas para resistir los esfuerzos generados por distintos tipos de combinaciones de las cargas antes mencionadas y para ello existen dos métodos según la norma INEN:

- Método ASD (Allowable strength design)
- Método LRFD (Load resistance factor design)

Al realizar el procedimiento por estos métodos la deformación de la estructura no debe superar el $1/240$ de su longitud total.

Al hablar de la resistencia de las estructuras, estas deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al cincuenta por ciento (50%) del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros (70 mm).
- Durante el ensayo de resistencia en el software de simulación de la estructura o una vez finalizado el mismo, la estructura debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

La resistencia de la estructura se la determina mediante cualquiera de los métodos contemplados en la regulación 66 de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 1986), así:

- Una prueba de vuelco en un vehículo completo de conformidad con el procedimiento determinado en la misma regulación
- Una prueba de vuelco en una sección del cuerpo o secciones representativas de una estructura completa
- Una prueba de péndulo en una sección o secciones del cuerpo
- Una verificación de la resistencia de la superestructura por cálculo

Una vez elaborado el modelo en tres dimensiones según las restricciones indicadas en la **Figura 4** y **Figura 5** estipuladas en la Resolución No. STHV-016 donde se resuelve expedir las normas técnicas de uso y ocupación temporal del espacio público para establecimientos móviles en el Distrito Metropolitano de Quito de la Secretaría de Territorio de la alcaldía (Gad Municipal del Distrito Metropolitano de Quito, 2016), lo sometemos a una simulación asistida por computador, beneficiándose de los avances de la tecnología en el campo del diseño, tal es el caso del programa HyperWorks, para luego comparar los resultados con un análisis de elementos finitos.

Matemáticas para los elementos finitos

En la actualidad para calcular de forma matemática la resistencia de una estructura es muy usado en método de elementos finitos, que es también la forma como trabajan los programas especializados de computación.

La técnica del elemento finito divide el dominio de la solución en regiones con formas sencillas o elementos como observamos en la **Figura 6**, este paso se llama *discretizar*; los cruces

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

de los límites de cada elemento forman nodos y estos lados a su vez forman líneas o planos nodales.

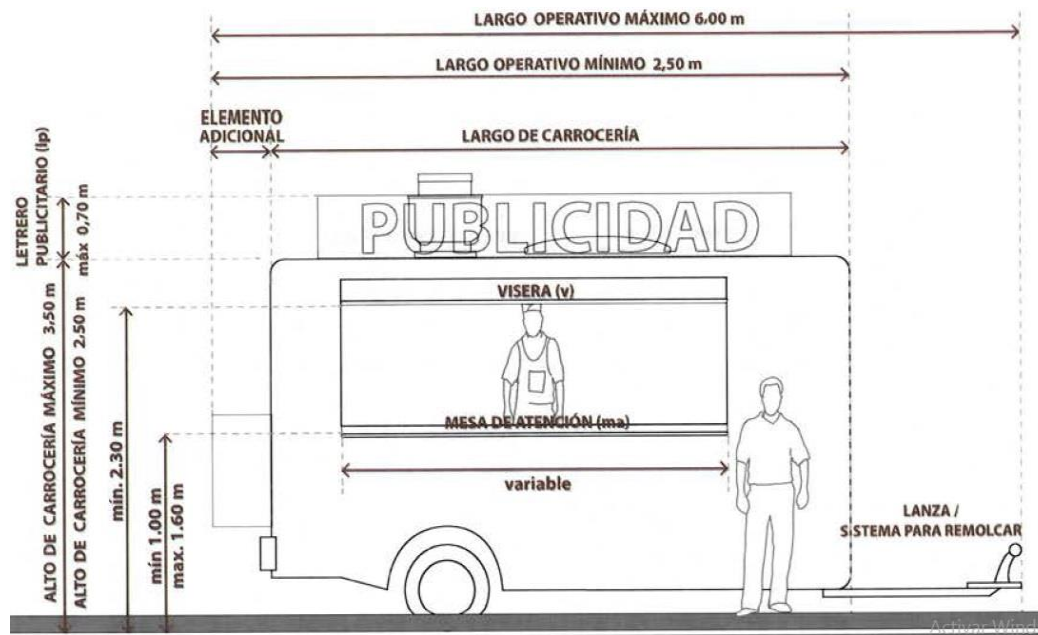


Figura 4. Dimensiones máximas y mínimas en vista lateral de un Food Truck normadas por el Municipio de Quito en Resolución No. STHV-016

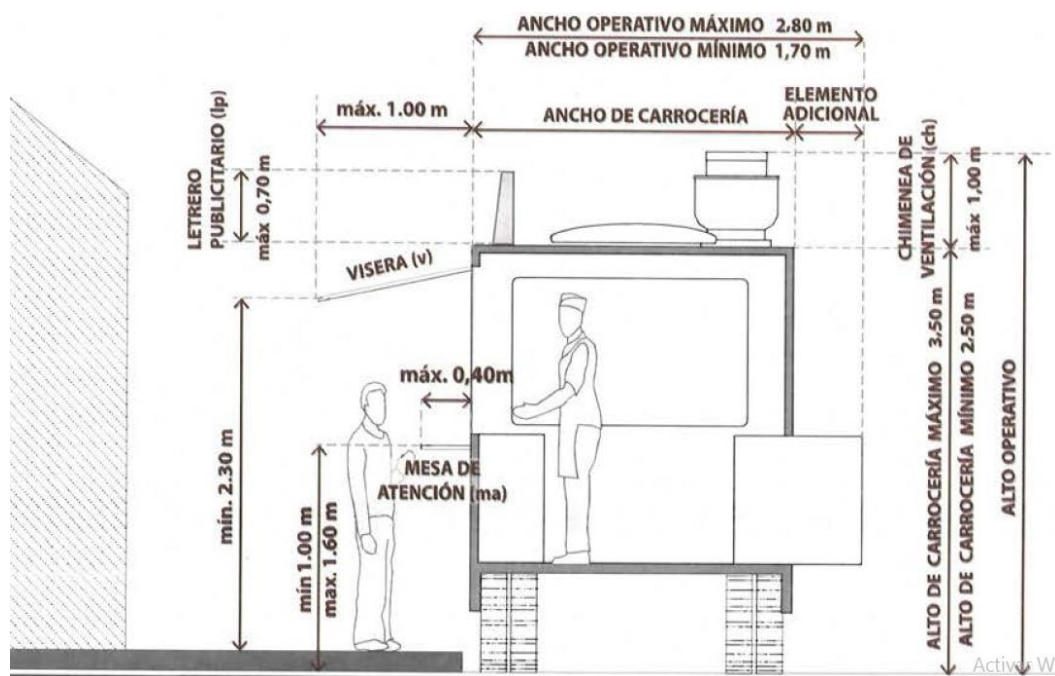


Figura 5. Dimensiones máximas y mínimas en vista frontal de un Food Truck normadas por el Municipio de Quito en Resolución No. STHV-016

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Luego el siguiente paso es formular ecuaciones que al resolverlas aproximen las soluciones para cada elemento discretizado. Una vez elegida la función de interpolación, hay que establecer la ecuación que rige el comportamiento del elemento en estudio; el método más común es el método directo, que es muy similar al método de ajuste de curvas. No obstante, estos datos lo que hacer es establecer las relaciones entre las incógnitas de la ecuación (Chapra & Canale, 2015).

El resultado tendrá ecuaciones que consisten en un sistema de ecuaciones algebraicas lineales cuya notación puede ser:

$$[F] = [K][u] \quad (1)$$

Donde $[K]$ se considerará como una propiedad del elemento o matriz de rigidez, $[u]$ corresponde al vector columna en la que se encuentran las incógnitas ubicadas en los nodos y por último el vector $[F]$ que es cualquier influencia externa aplicada en cada nodo como corresponda.

Una vez formuladas las ecuaciones para los elementos individuales se procede a ensamblar para el análisis del comportamiento de todo el sistema, teniendo en cuenta las condiciones de frontera consideradas para cada nodo del sistema.

Las soluciones pueden ser encontradas con la ayuda de software de resolución matricial como es el caso de este estudio en que se uso el SciLab de uso abierto al público.

Partes importantes de la estructura y materiales

Con la facilidad que presenta el cálculo asistido por computadora y corroborado por el análisis matemático, se verificará si los materiales planteados son los más idóneos, caso contrario se deberá replantear las dimensiones de los materiales o la geometría de las partes de la estructura que son en este caso tres.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

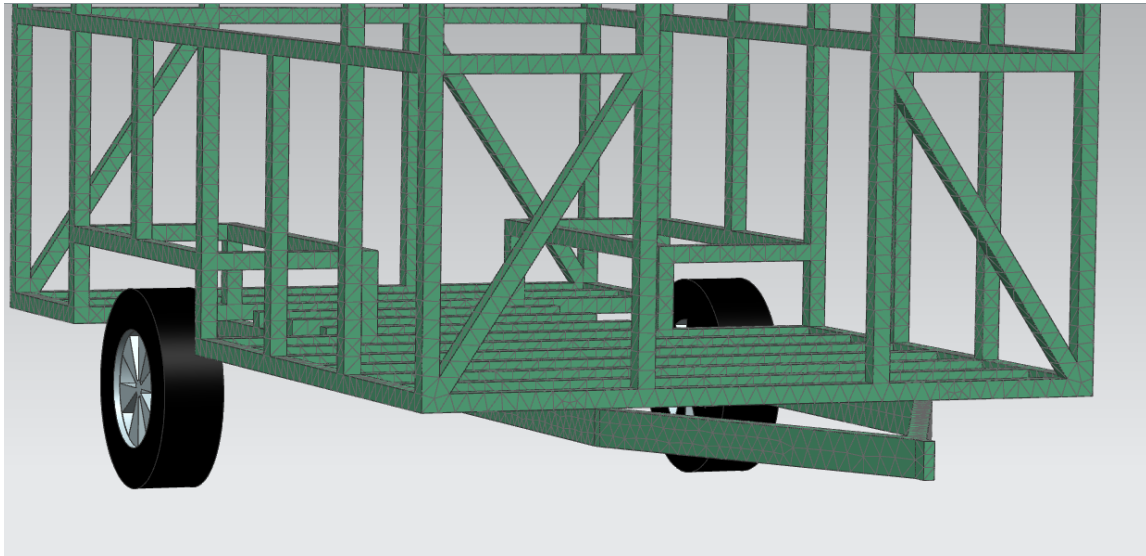


Figura 6. Estructura mallada donde se muestra la discretización por elementos finitos

Un bastidor que es una estructura compuesta por largueros (vigas longitudinales) y travesaños (vigas transversales) que de una forma u otra se deben fijar todos los elementos y grupos mecánicos que conforman el todo.

El empleo del bastidor ha sido limitado solo para vehículos todo-terreno, camiones, camionetas grandes y algunas camionetas livianas.

Es importante recalcar que el bastidor aporta gran rigidez y soporta grandes esfuerzos sin que influya su alineación durante la marcha por las irregularidades del camino.

El piso y carrocería que son elementos constitutivos que se ubican sobre el bastidor que son de gran importancia porque en ellos se ubicarán todos los accesorios para la operatividad del negocio.

Conceptos de física en cuanto al choque

Para orientar el trabajo se debe tener en cuenta que el choque en física se define como la colisión entre dos o más cuerpos de los cuales el impactado está en reposo. El choque físico o mecánico es percibido por una repentina aceleración o desaceleración causada normalmente por

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

un impacto (DeSilva, 2005), aunque cualquier tipo de contacto directo entre dos cuerpos provoca un choque. La característica principal es la duración del contacto que, generalmente, es muy corta y es cuando se transmite la mayor cantidad de energía entre los cuerpos.

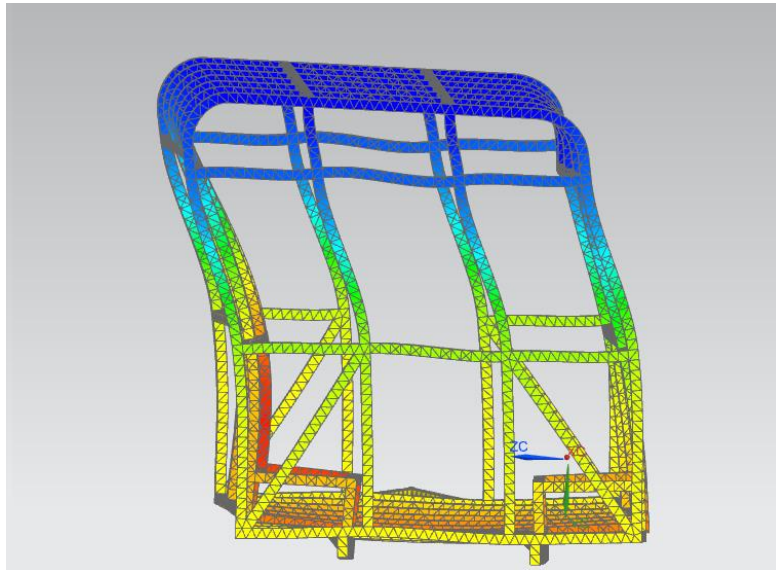


Figura 7. Ejemplo de simulación de impacto lateral en un *Food Truck*

A menudo por conveniencia la magnitud de un choque puede medirse como un múltiplo de la aceleración de la gravedad, que tiene un valor de $9,80 \text{ m/s}^2$ a nivel del mar.

Estos choques o interacciones entre los cuerpos donde existe contacto entre ellos durante un tiempo determinado, pueden ser choques elásticos, inelásticos y perfectamente inelásticos. Todos estos choques conservan su cantidad de movimiento, pero no así su energía mecánica, que en la mayoría de los casos solo se considera la energía cinética. Los choques elásticos mantienen el momentum inicial del sistema al igual que la energía cinética total del sistema. Este tipo de choque se ejemplifica con el juego de pool o billar. Mientras dura el choque cabe señalar que en el contacto de ambos cuerpos la energía se almacena en una deformación mínima y no permanente (Inzunza, 2002).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Las Colisiones elásticas son aquellas en las cuales no hay intercambio de masa entre los cuerpos que colisionan, sin embargo, hay conservación neta de energía cinética.

Las colisiones en las que la energía no se conserva producen deformaciones permanentes (**Figura 7**) de los cuerpos y se denominan colisiones inelásticas.

En un choque inelástico (o choque plástico) los cuerpos presentan deformaciones luego de su separación, esto es una consecuencia del trabajo realizado. En el caso ideal de un choque perfectamente inelástico, los objetos en colisión permanecen pegados entre sí.

En los choques inelásticos la energía cinética no se conserva, ya que parte de ella es se disipa al deformarse el cuerpo (Alonso, 1976).

Al impactarse dos vehículos lateralmente como en los *crash test* se tiene un ejemplo de choque inelástico pues permanecen juntos después del acontecimiento destructivo. Las fuerzas que se ejercen mutuamente son iguales y de sentido contrario. Si el choque es inelástico la energía cinética no se conserva y, como consecuencia, los cuerpos que colisionan pueden sufrir deformaciones y aumento de su temperatura.

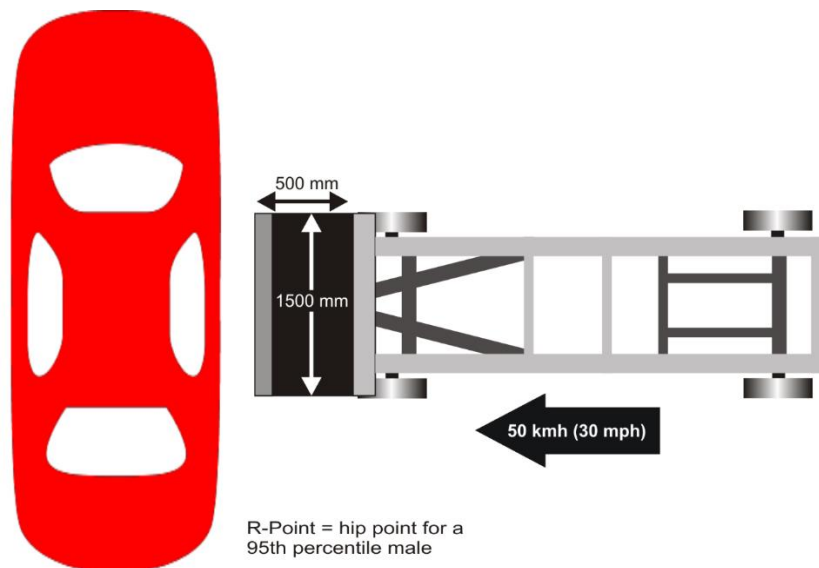


Figura 8. Infografía tomada del EURO NCAP SIDE IMPACT

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Cuando la barrera móvil se impacta (**Figura 8** y **Figura 9**) contra la estructura del Food Truck se provoca un choque inelástico en el simulador.

Resistencia de Materiales

Lo importante de la investigación a través de la simulación del procedimiento dictado en la norma, es verificar que ningún elemento sobrepase el volumen considerado como espacio de supervivencia; por este motivo se traerá a colación los conceptos de resistencia de materiales que es una clásica disciplina de la ingeniería mecánica, la ingeniería estructural y la ingeniería industrial que estudia la mecánica de sólidos deformables mediante modelos simplificados.

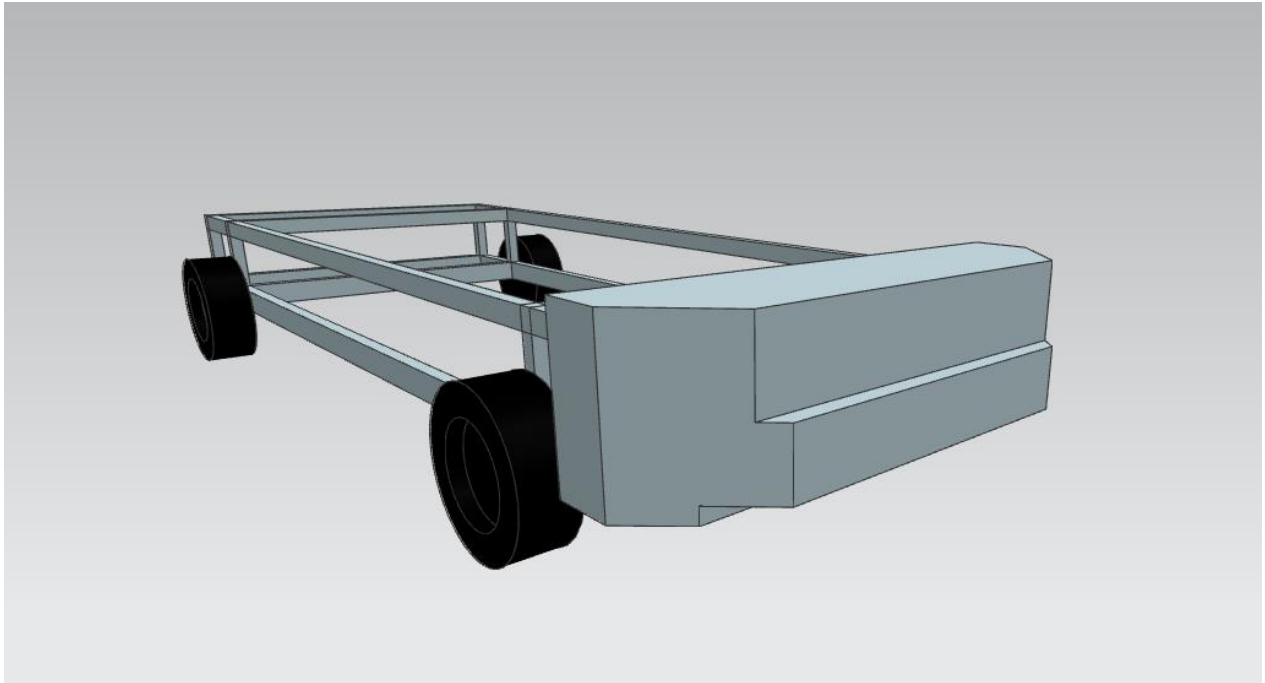


Figura 9. Barrera móvil modelada en NX

La resistencia de un elemento se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo. Un modelo de resistencia de materiales establece una relación entre las fuerzas aplicadas, también llamadas cargas o acciones, y los esfuerzos y desplazamientos inducidos por ellas. Generalmente

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

las simplificaciones geométricas y las restricciones impuestas sobre el modo de aplicación de las cargas hacen que el campo de deformaciones y tensiones sean sencillos de calcular.

Para el diseño mecánico de elementos con geometrías complicadas la resistencia de materiales suele ser abundante y es necesario usar técnicas basadas en la teoría de la elasticidad o la mecánica de sólidos deformables más generales. Esos problemas planteados en términos de tensiones y deformaciones pueden entonces ser resueltos de forma muy aproximada con métodos numéricos como el análisis por elementos finitos.

La información del material que se usará en el *Food Truck* determina la resistencia de la estructura en el simulador.

Cabe decir que el fabricante de los tubos estructurales comercializados en el Ecuador y que son usados entre otras cosas para la construcción de los establecimientos comerciales prueba con ensayos de tracción los valores publicados de resistencia última a la tracción y la resistencia a la deformación permanente.

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo de tracción hasta que se produce la rotura. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión deben ser pequeñas.

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young, que cuantifica la proporcionalidad anterior. Es el resultado de dividir la tensión por la deformación unitaria, dentro de la región elástica de un diagrama esfuerzo-deformación.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Coeficiente de Poisson, que evalúa la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- Límite de proporcionalidad: valor de tensión debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada de manera proporcional.
- Límite de fluencia o límite elástico aparente: valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.
- Límite elástico: Es la máxima tensión aplicable sin que se produzcan deformaciones permanentes en el material.
- Carga de rotura, resistencia última a la tracción: carga máxima resistida por la probeta al aplicársele una fuerza que produzca su rotura.
- Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta desde su punto de inicio hasta su ruptura y se expresa en tanto por ciento.
- Área de estricción: La reducción de área de la sección transversal es la diferencia entre el valor del área transversal inicial de una probeta de tensión y el área de su sección transversal mínima después de la prueba. En el rango elástico de tensiones y deformaciones en área se reduce en una proporción dada por el módulo de Poisson.

En el ensayo de tracción se genera una curva de esfuerzo vs deformación unitaria donde se registran varias de las propiedades mecánicas (**Figura 10**):

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

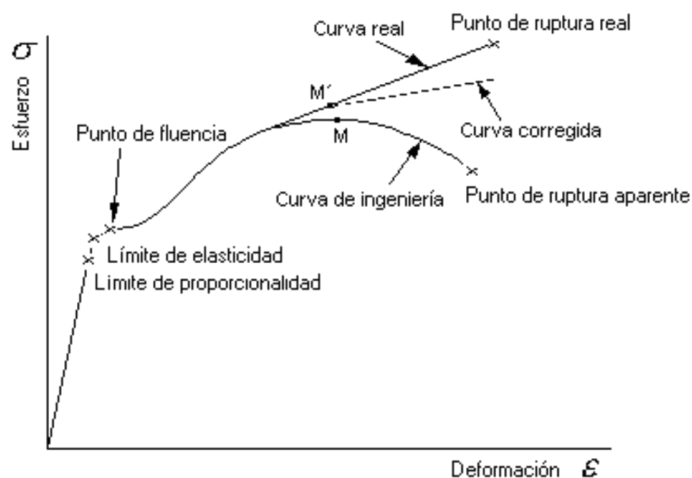


Figura 10. Curva esfuerzo – deformación unitaria de un material. Tomado de Mott R. 2009 Resistencia de Materiales Quinta Edición

Con estas consideraciones en cuanto a resistencia del material se procedería al análisis, sin embargo es importante indicar que para los Food Truck no existe normativa que evidencie o determine la zona de supervivencia; no obstante, el volumen que ocuparían las personas dentro del establecimiento comercial móvil estaría dado por el espacio entre el techo, piso y un metro que hay de espacio entre ambos mesones destinados a los diferentes servicios.

Software para modelado y análisis de elementos finitos

El modelado de la carrocería del Food Truck se la realizará en NX, también conocido como Siemens NX o simplemente Unigraphics, que es un paquete de software CAD/CAM/CAE desarrollado por la compañía Siemens PLM Software.

Entender cómo reacciona un componente o un conjunto a las tensiones es fundamental en cualquier sector, pero a medida que los productos y materiales se hacen cada vez más complejos, los ingenieros necesitan herramientas que les ayuden a formular sus ideas de manera virtual.

NX for Simulation incluye soluciones para una gran variedad de problemas de análisis estructurales dentro de un entorno de usuario unificado. Los ingenieros que necesitarán una herramienta para análisis estáticos lineales, otra para estudios de fatiga y otra más para análisis

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

no lineales tienen en este software todo en uno. En consecuencia, los ingenieros podrán consolidar las herramientas de análisis, y los ingenieros solamente necesitarán conocer una interfaz de usuario. El software para análisis estructurales de NX utiliza NX Nastran, el solver de FEA más avanzado en materia de rendimiento computacional, precisión, fiabilidad y escalabilidad. El solver NX Nastran se integra en el entorno de NX CAE, o bien puede utilizarse como solver empresarial independiente. NX CAE también es compatible con soluciones para análisis estructurales de otros solvers comerciales de elementos finitos, como Ansys, Abaqus y LS-Dyna (Siemens, 2017).

Sus usos, entre otros, son los siguientes:

- Diseño (modelado paramétrico y directo de sólidos/superficies)
- Análisis para ingeniería (estático, dinámico, electromagnético y térmico usando el método de elementos finitos, y análisis de fluidos usando el método de volúmenes finitos)
- Manufactura digital para la industria de la maquinaria
- Análisis lineal que resuelve una gran variedad de problemas de análisis en los que ningún material se fuerza más allá de su comportamiento lineal y en los que las deformaciones son pequeñas con respecto a sus dimensiones totales.
- Análisis no lineal que simula componentes sencillos sujetos a comportamientos no lineales (como un pasador de plástico) o conjuntos complejos (como el análisis de deformación del techo de un vehículo) utilizando solvers para análisis no lineales implícitos y explícitos.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Dinámica estructural que evalúa los efectos de una gran variedad de problemas de dinámica, como cargas transitorias, frecuencias, cargas aleatorias, respuesta a choques y dinámica rotacional.
- Análisis de fatiga y durabilidad para mejorar la durabilidad de los productos y valida la integridad estructural de los mismos durante toda la vida útil en condiciones de carga reales.

Esto garantiza que el modelado del Food Truck será realizado en un software capaz de soportar e inclusive compartir con otros programas la información para un correcto análisis de la estructura.

El software a utilizar es el Altair HyperMesh que es un programa de ingeniería asistida por computadora (CAE) que proporciona una interfaz gráfica al preprocesado de modelos de elementos finitos. Es parte del paquete de software HyperWorks de la empresa Altair (**Figura 11** y **Figura 12**).

Algunas de las capacidades de HyperMesh son:

- Modelado de geometría sólida y de superficies.
- Mallado con elementos barra, placa y sólidos.
- Actualización automática de la malla ante un cambio en la geometría.
- Generación automática de la superficie media de un sólido.
- Entorno de trabajo y generación de ficheros de entrada para diversos programas de cálculo

mediante elementos finitos (Nastran, Abaqus, Ansys, RADIOSS, OptiStruct, Marc, Actran, LsDyna, etc.).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

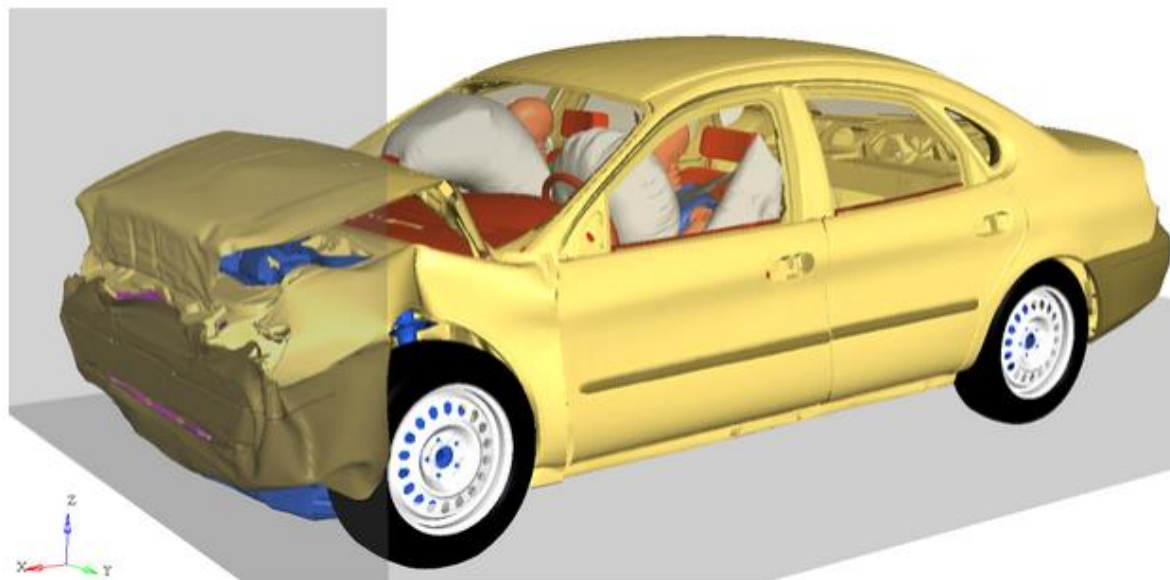


Figura 11. Ejemplo de análisis realizado en el Software HyperWorks

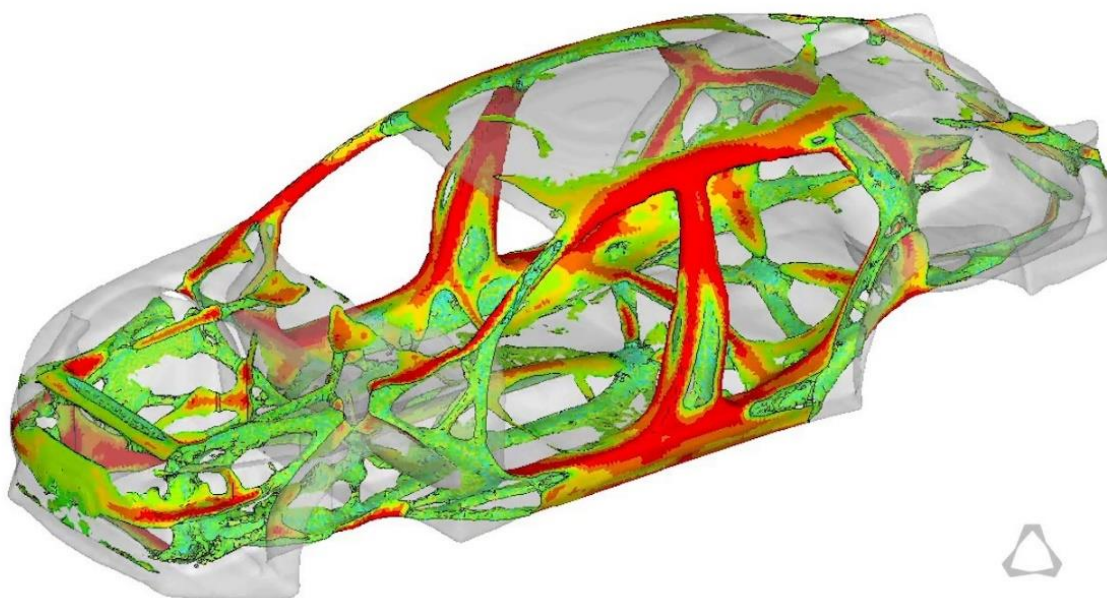


Figura 12. Ejemplo de simulación de deformación de un compacto de un vehículo

Para la simulación del impacto lateral se requieren tener en cuenta algunos conceptos como:

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Asignación de apoyos a la estructura.- Los soportes fijos son aplicados en los puntos específicos, con la finalidad de que al momento del ensayo virtual de impacto lateral, la estructura de la carrocería no se separe del chasis.
- Velocidad de la BDM.- La velocidad con la que cuenta la BDM para la ejecución de la simulación de impacto lateral es de 50km/h (13889 mm/s) como lo establece la regulación R95; Para la aplicación de la velocidad se selecciona todo lo que conforma la BDM.
- Duración del impacto y formulación de Hourglass.- El intervalo de tiempo para un impacto lateral entre dos vehículos, es de alrededor de 100ms. Sin embargo, en el mundo real la duración de la colisión puede variar, dependiendo de las circunstancias del accidente y los tipos de vehículos implicados. En colisiones rígidas la duración del impacto puede estar más cerca de 70 a 90 mseg. A medida que aumenta la cantidad de aplastamiento, existe más distancia para que el vehículo se mueva durante la fase de colisión, dando como resultado más tiempo de impacto para el ocupante. Mientras exista mayor rigidez en las estructuras de los vehículos involucrados en la colisión, esto provoca un choque más rígido con menos tiempo. El tiempo o duración del impacto utilizado en la simulación es de 80 ms. El tiempo de cálculo o solución es de aproximadamente 20 horas, la simulación se realizó en un ordenador Intel Core i7 a 3.4 GHz con una memoria RAM de 8 GB.

Software para cálculo de matrices

Scilab es un entorno de trabajo para realizar cálculos numéricos especialmente destinados a ingenierías. El programa contiene cientos de funciones matemáticas dando la posibilidad de añadir las propias si las escribimos en lenguajes como C o Fortran. Las funciones se pueden

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

mostrar gráficamente en 2D e incluso animarse en tres dimensiones. También permite crear simulaciones ODE y DAE.

Scilab es un software para análisis numérico, con un lenguaje de programación de alto nivel para cálculo científico. Las características de Scilab incluyen análisis numérico, visualización 2D y 3D, optimización, análisis estadístico, diseño y análisis de sistemas dinámicos.

El Consorcio Scilab (Scilab Consortium en inglés) fue creado en mayo de 2003 para ampliar y promover Scilab como software de referencia en todo el mundo en el mundo académico y la industria. En julio de 2008, con el fin de mejorar la transferencia de tecnología, el Scilab Consortium se unió a la Fundación Digiteo y desde julio de 2012, Scilab Enterprises desarrolla y publica Scilab. Este software Scilab posee su propio lenguaje de programación, orientado al uso de matrices y vectores (Wikipedia, 2015).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

MÉTODO

En la actualidad hay la tendencia mundial a recrear la realidad en ambientes virtuales para disminuir costos por experimentación con objetos reales como es el caso de los *Crash Test*. En este trabajo de investigación se seguirá la siguiente secuencia (**Figura 13**) para todo el proyecto hasta su culminación:

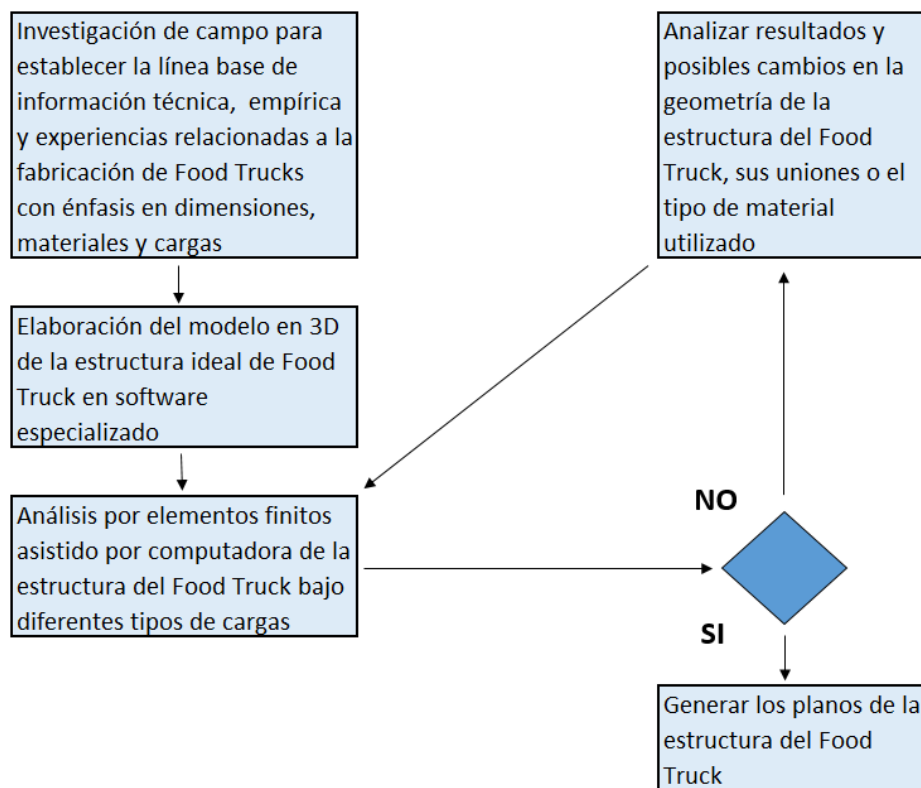


Figura 13. Proceso del trabajo de tesis

Para el desarrollo de este trabajo se prevé que se realizará investigación de campo para establecer la línea base de información técnica, empírica y experiencias relacionadas a la fabricación de Food Trucks con énfasis en dimensiones, materiales y cargas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), utilizando luego el método científico que permite obtener nuevos conocimientos para el desarrollo técnico de esta actividad y que permitirá determinar las necesidades y problemas a efectos de poder aplicar los conocimientos con fines prácticos con la

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

finalidad de presentar una idea clara de la problemática, esto es porque tiene que determinarse los materiales, procedimientos, dimensiones, procesos mecánicos al momento de fabricar un *Food Truck* para estar en sintonía con las metal mecánicas y generar una propuesta como fuente de consulta para obtener un producto de calidad.

Tabla 1

Metal Mecánicas visitadas para consulta de información referente a la fabricación de los Food Trucks

Nombre	Lugar	Observaciones
Remolques Colman	Av. Sebastián de Benalcázar y Aurelio Espinoza, Cerca al Parque de La Armenia - Quito	Fabrica remolques para venta de productos gastronómicos, con procedimientos estandarizados
Metalmecánica Lasso	Lasso - Cotopaxi	Fabrica remolques para venta de productos gastronómicos de manera artesanal
Masterax	N66-81 y de los Eucaliptos, Eloy Alfaro - Quito	Fabrica accesorios para vehículos y oferta remolques importados, para venta de productos gastronómicos sin embargo son pequeños y de elevado precio comparado con los de fabricación nacional y que tienen mayor tamaño
Zimports	Panamericana - Latacunga	Diseño y construcción de equipos para el transporte, tienen gran experiencia en fabricación de remolques Food Trucks, sus productos los vende incluso fuera de la provincia de Cotopaxi; ha logrado desarrollar un modelo accesible en precio, espacioso que goza de popularidad entre sus clientes. Con el tiempo ha ido variando las dimensiones y materiales para ser eficiente y tener mayor rendimiento
Furgometal	Panamericana Sur Km 18 1/2 - Quito	Construyen furgones para camiones de excelente calidad y si se les solicita pueden fabricar Food Trucks. No tienen un modelo definido pues lo solicitan al cliente

Nota: Locales recomendados por dueños de Food Trucks

La ciencia se construye a partir de la superación gradual de sus errores por tanto esta metodología empírico-analítica tiene la característica de que es autocorrectiva y progresiva, sin considerar que sus conclusiones son infalibles o finales. El método está abierto a la

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

incorporación de nuevos conocimientos y procedimientos con el fin de asegurar un mejor acercamiento a la verdad.

El procedimiento más común es la identificación de un problema de investigación, formulación de hipótesis, prueba de hipótesis y resultados.

El presente trabajo expone una propuesta de investigación para comprobar el comportamiento de los componentes de un establecimiento móvil bajo diferentes cargas.

Debido a la creciente demanda de establecimientos móviles para negocios pequeños, las empresas metal mecánicas tienen la obligación de realizar ensayos que exijan a las estructuras y más componentes que conforman un bus para comprobar el buen funcionamiento de las mismas con el fin de salvaguardar la vida de las personas, por esta razón, es importante realizar estudios avanzados de ingeniería analizando el comportamiento dinámico cuando la estructura experimenta impactos. Los ingenieros y diseñadores de estructuras se ven comprometidos a investigar y validar sus propuestas en los escenarios que puedan ocurrir en la realidad.

Para este estudio se realizará pruebas con el método de elementos finitos (MEF) que consiste en modelar en 3D los componentes que conforman un diseño de estructura para un *Food Truck*, posteriormente se discretiza en elementos independientes creando un modelo matemático al cual se agregarán condiciones de borde que son datos que el software necesita para simular fuerzas, presiones, aceleraciones y otras propiedades físicas que serán resueltos por MEF cuyos resultados serán valores de esfuerzos, deformaciones, desplazamientos, factores de seguridad entre otros datos y permitirán el análisis de los puntos más críticos.

En la actualidad en el Ecuador se realizan aplicaciones prácticas de la tecnología de la Ingeniería Asistida por Computador, lo que está normado en la NTE INEN 1323:2009 y dentro de la cual está la evaluación estructural por cargas estáticas y de vuelco de autobuses, lo que ha

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

permitido desarrollar propias metodologías, para resolver problemas de diseño en la industria de fabricación de estructuras para autobuses aplicando ingeniería asistida por computador y a su vez se puede conocer si la estructura va a ser segura antes de ser fabricada y su consiguiente movilización.

La gran ventaja que brinda el MEF es la de poder corregir errores en el diseño de los prototipos en este caso del Food Truck antes de que se produzcan daños por choques determinado puntos débiles de la estructura propuesta.

Con este antecedente se decidió optar por usar el software *HyperWorks* para someter el modelo desarrollado en esta investigación a pruebas de distintos tipos de cargas.

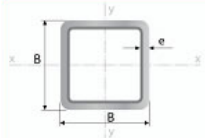

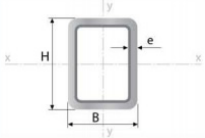
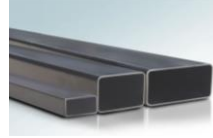
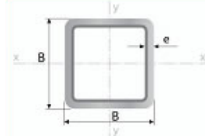

En las visitas a diferentes talleres metal mecánicas de Quito y Latacunga se pudo constatar que existen principalmente tres tipos de material usado para fabricar los Food Trucks Tabla 2:

- Para el bastidor se requiere usar tubo rectangular de 100 x 50 x 3 Norma de calidad: ASTM A 500 Gr. A, B ó C y Norma de Fabricación: NTE INEN 2415 (**Figura 14**)
- En el piso se requiere usar tubo rectangular de 50 x 50 x 4 Norma de calidad: ASTM A 500 Gr. A, B ó C y Norma de Fabricación: NTE INEN 2415 (**Figura 15**)
- En la estructura de las paredes y techo se requiere usar tubo rectangular de 50 x 50 x 1.5 Norma de calidad: ASTM A 500 Gr. A, B ó C y Norma de Fabricación: NTE INEN 2415 (**Figura 16**)

Cabe indicar que al modelar la estructura del Food Truck en el software NX no es necesario hacerlo con tubos porque al pasar el archivo en formato IGES al HyperWorks, este último tiene la opción de definir el grosor del elemento (**Figura 17**); esto es, debido a que el NX solo permite simular con cargas estáticas, mientras que en HyperWorks se puede hacerlo con cargas dinámicas.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 2

Especificaciones de los tubos usados en el análisis								
Uso de tubo	B (mm)	H (mm)	e (mm)	Peso (Kg/m)	Módulo de resistencia (cm ³)	Norma calidad ASTM A 500 Gr. A, B ó C	Plano de sección del tubo	Imagen de los tipos de tubos
Tubo para el piso	50	50	4	5.45	9.54	Sy = 317 MPa Su = 400 MPa		
Tubo para el bastidor	50	100	3	6.60	21.30	Sy = 317 MPa Su = 400 MPa		
Tubo para los parantes y techo	50	50	1.50	2.24	4.43	Sy = 317 MPa Su = 400 MPa		

Nota: Datos obtenidos de la página oficial de www.ipac-acero.com y del libro Resistencia de materiales de Robert Mott 5ta Ed 2009

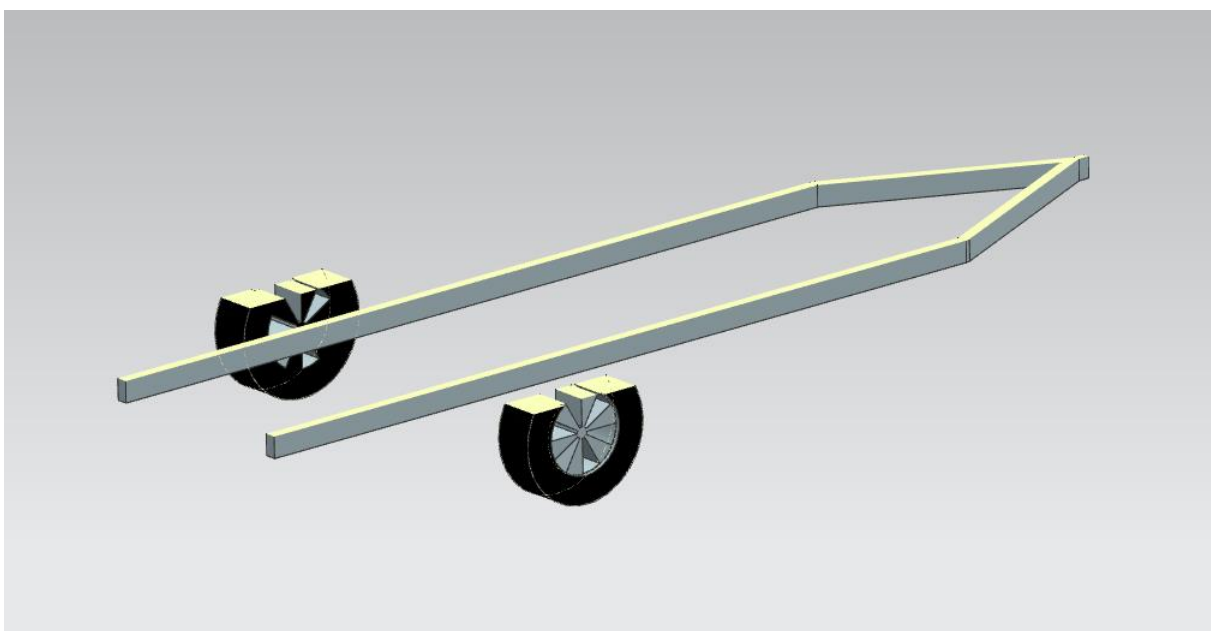


Figura 14. Para el bastidor se requiere usar tubo rectangular de 100 x 50 x 3

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

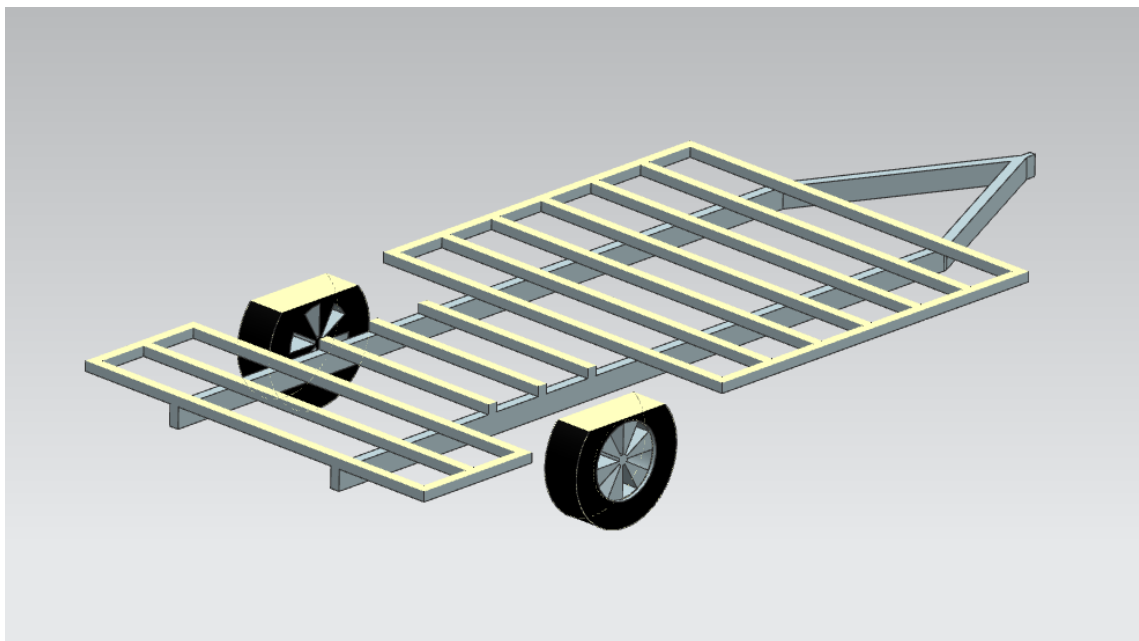


Figura 15. En el piso se requiere usar tubo rectangular de 50 x 50 x 4

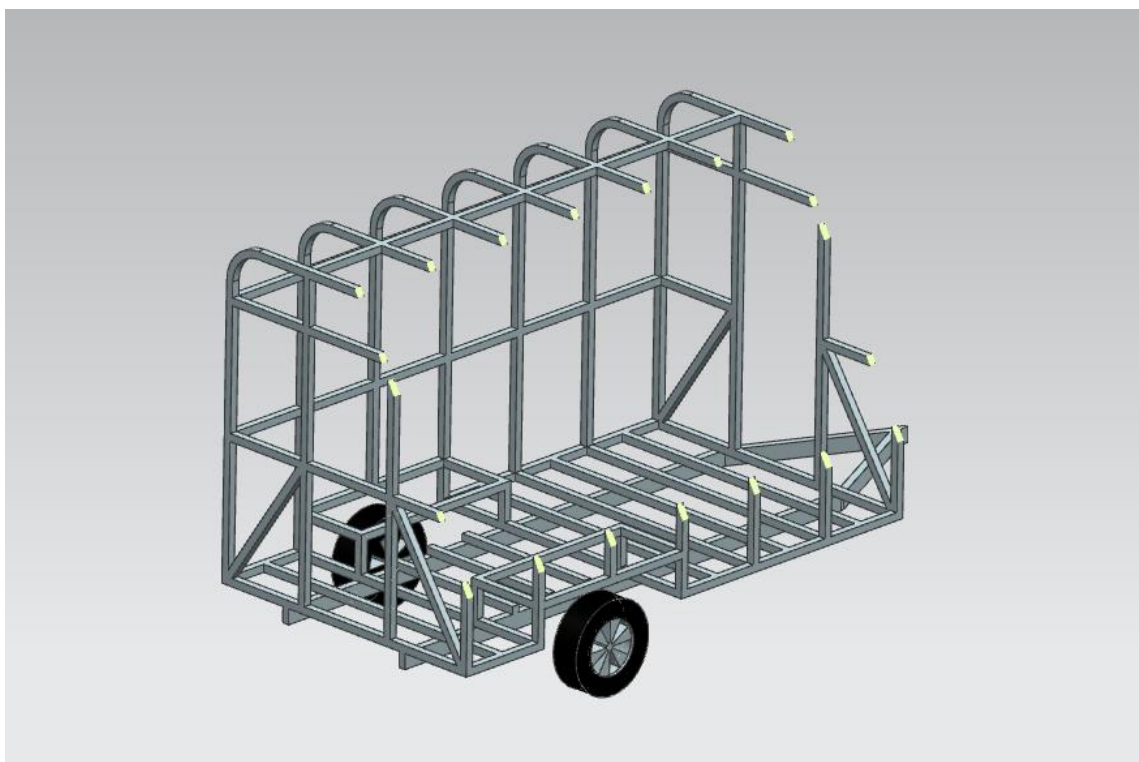


Figura 16. En la estructura de las paredes y techo se requiere usar tubo rectangular de 50 x 50 x 1.5

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

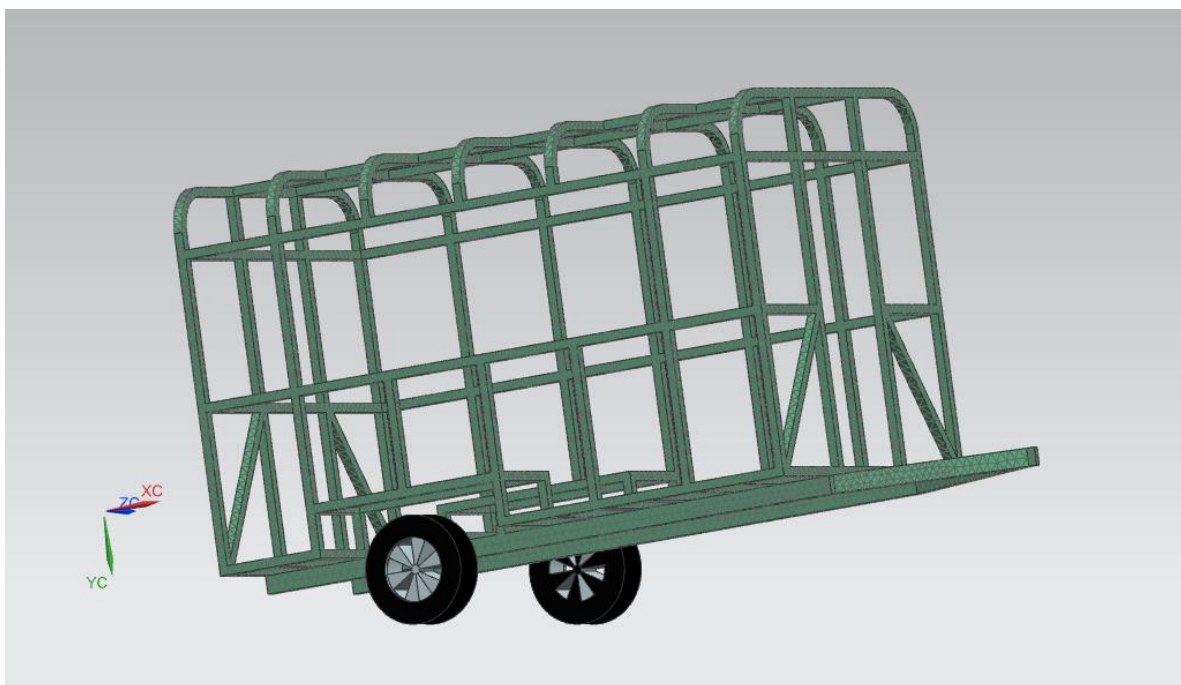


Figura 17. Estructura del Food Truck mallada antes de la simulación de cargas estáticas

Para determinar el tamaño de malla idóneo se tiene que usar la que menos error genera, relacionando el tamaño de malla con los grados de libertad y determinando el error con los desplazamientos generados por el software como se ve en Tabla 3.

Tabla 3

Cuadro de validación de malla

Tamaño de malla en mm	Grados de libertad	Desplazamiento en mm	Error
5	25 927 500 000	1,747	
15	7 842 000 000	1,667	4,6%
25	150 000 000	2,175	30,5%
50	50 500 000	1,349	38,0%

Nota: Al realizar al análisis en el software con distintos de malla se genera el número de grados de libertad así como se obtiene el desplazamiento

El tamaño de la malla que debe usarse es la que produce el menor error posible, no necesariamente es la más pequeña o la más grande en este sentido se puede ilustrar de la siguiente manera con la **Figura 18**.

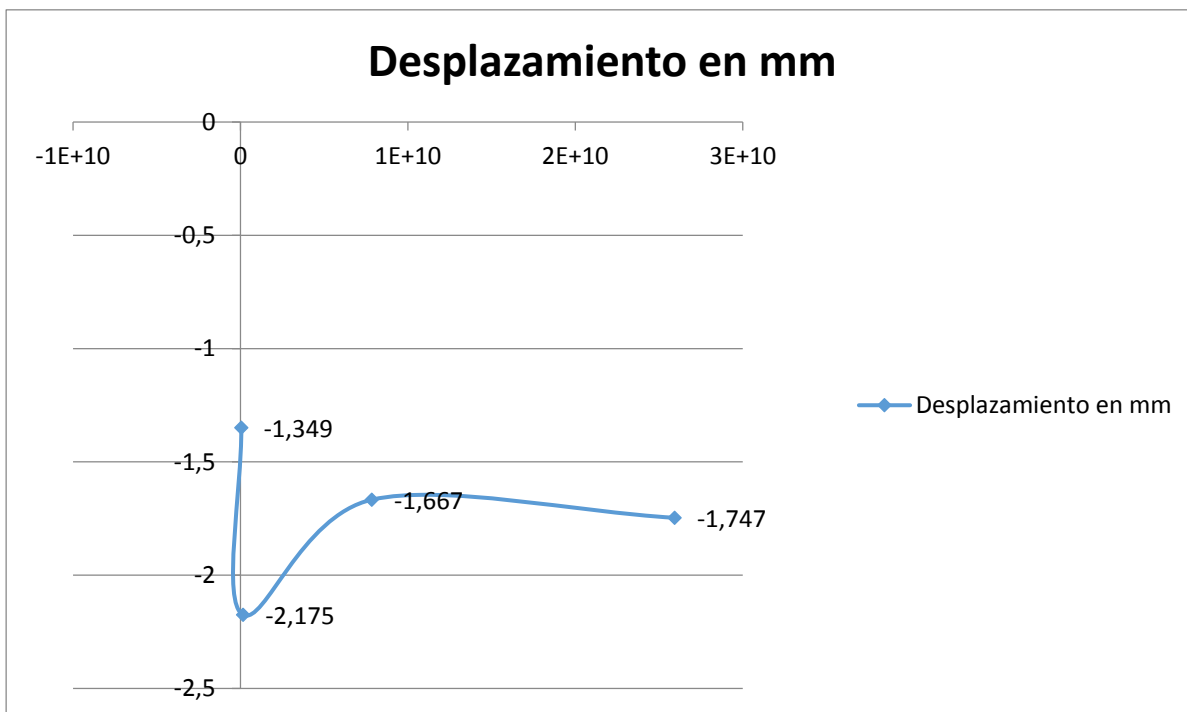


Figura 18. Diagrama del desplazamiento vs error construido a partir de la información proveída por el software

En tal virtud el software generó resultados en esta investigación usando una malla cuadrada que tiene en promedio 15 mm de lado (**Figura 19**).

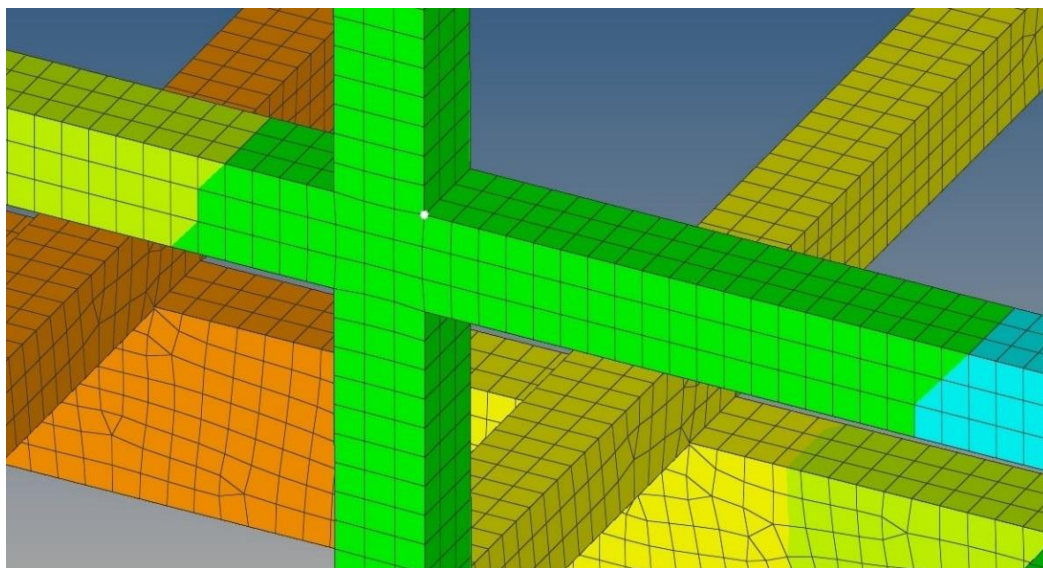


Figura 19. Malla cuadrada de 15 mm de lado en promedio en las partes más homogéneas

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

En esta investigación de campo también se pudo determinar que las medidas más óptimas aproximadas (**Figura 20**) para fabricar un establecimiento comercial y que cumplan con la normativa del Municipio de Quito son:

- En referencia al cajón tendría que ser aproximadamente de 3600 mm de largo
- El ancho del cajón debe tener 2000mm
- El cajón debe tener 2150mm de alto a partir del piso

Las separaciones de las vigas deben ser de 245mm para que sea una base firme e idónea para colocar una plancha que conformaría el piso de la estructura.

La estructura de las paredes deberá sostenerse con siete parantes y tienen que coincidir en su base con las vigas del piso correspondientes.

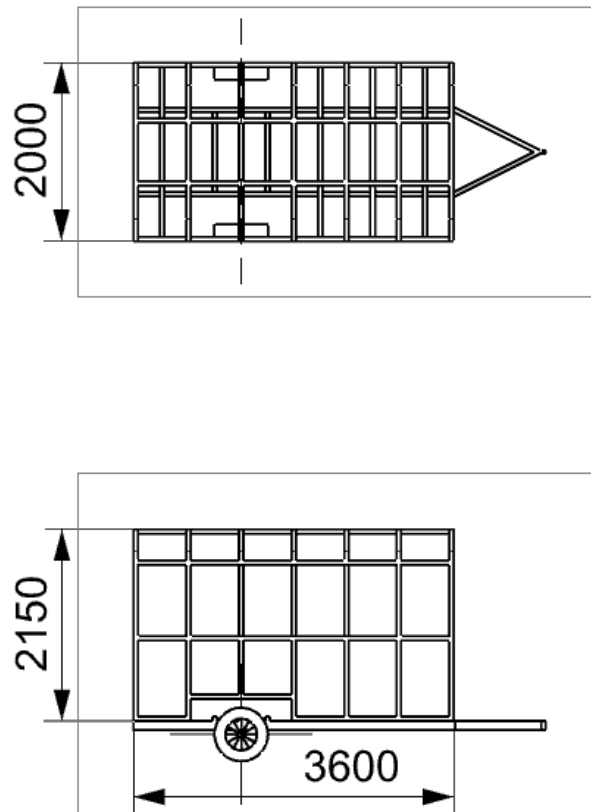


Figura 20. Medidas principales en milímetros de la propuesta de *Food Truck*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

El triángulo para remolque que se conecta a la barra de tiro del vehículo sobresale del cajón unos 900 a 1000 mm, mientras que las vigas del bastidor están separadas entre sí 900 mm.

El método sugerido en esta tesis no está normado en la actualidad para los Food Truck pero ha tomado como referencia los análisis estructurales cuasi-estáticos y dinámicos de la norma NTE INEN 1323.2009 a la que se sujetan los fabricantes de los buses en el Ecuador, por ser las estructuras muy similares a la propuesta planteada.

Se debe indicar que actualmente solo el Municipio de Quito ha emitido normas relativas a los establecimientos comerciales móviles.

Las normas que regulan la fabricación de las unidades de transporte en el Ecuador se basan a su vez en normas internacionales, estas dictan el procedimiento que ayuda a:

- Simular el comportamiento de la estructura del Food Truck ante combinaciones de carga propuestas en NTE INEN 1323:2009
- Simular el comportamiento de la estructura del Food Truck ante un fenómeno de vuelco con los parámetros estipulados en la NTE INEN 1323:2009
- Realizar pruebas de colisión lateral basado en el Reglamento 95 de la Comisión Económica para Europa (ECE R95)

Por lo expuesto el Método de Elementos Finitos es usado como una herramienta efectiva para simular el comportamiento de estructuras de geometría compleja bajo distintos tipos de cargas, proveyendo de manera efectiva las distribuciones de esfuerzos y deformaciones unitarias difíciles de obtener de otra manera.

Se modela geoméricamente la estructura del Food Truck en tres dimensiones en un software CAD que en este caso es el NX (**Figura 21**) con los valores obtenidos en la investigación de

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

campo; luego se pasa al formato IGES para que pueda ser abierto en el software *HyperWorks*, donde se ejecuta el mallado de la estructura considerando los criterios más adecuados.

Una vez que se tiene el modelo mallado, se aplica la combinación de cargas de acuerdo a norma NTE INEN 1323:2009 que determina que la deformación máxima de los elementos no debe superar el $1/240$ de la longitud del elemento.

De igual manera se aplica conforme al requerimiento de la norma NTE INEN 1323:2009 una carga equivalente al 50% del peso máximo admisible del chasis, distribuida uniformemente sobre el techo del Food Truck y la deformación no debe superar los 70mm.

A continuación se simula el volcamiento de la estructura usando el software especializado de alto nivel de ingeniería, teniendo en cuenta las propiedades del material, geometría, formas y pesos reales críticos sean soportados, según norma.

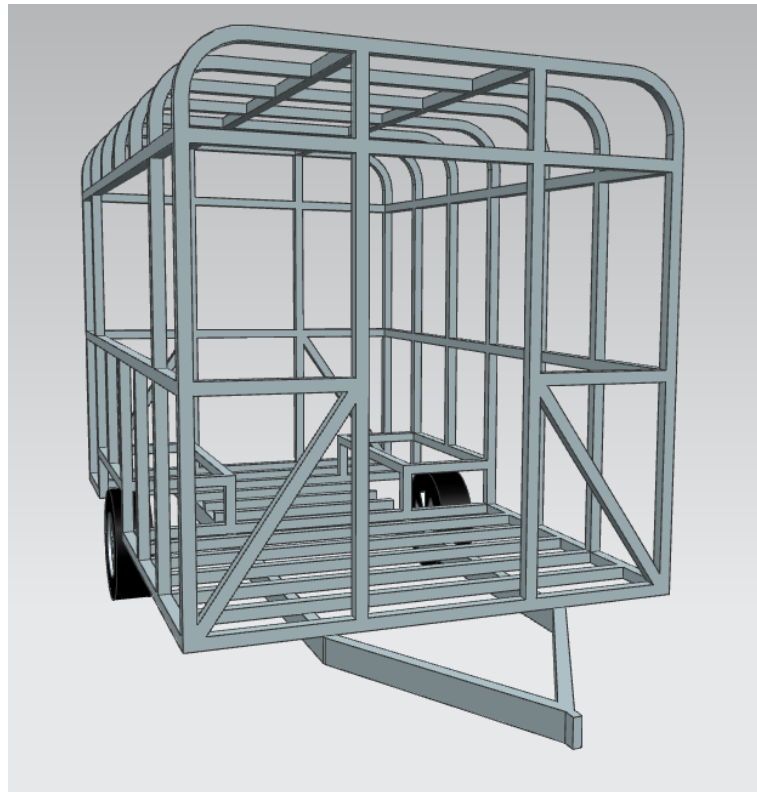


Figura 21. Modelo generado en Software NX

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Análisis de cargas

Carga muerta (M) que corresponde al peso total del Food Truck, con todos los accesorios como en la **Figura 22**, listo para usar.



Figura 22. La carga muerta se conforma con todos los accesorios del establecimiento móvil

Con las dimensiones establecidas en esta propuesta el peso muerto para un Food Truck de hamburguesas (Ejemplo) con el equipamiento normal requerido es de 900 Kg como se detalla en la Tabla 4.

Carga viva (V) que es el peso de los ocupantes; con las medidas propuestas podrían entrar hasta 4 personas, por tanto, se hablaría de una carga de 280 Kg, pues la norma NTE INEN 1323:900 indica que se debe considerar por persona un peso de 70Kg.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 4

Cálculo del peso mueto del Food Truck

Parte del Food Truck	Especificación	Peso
Tubo cuadrado para piso	50 x 50 x 4	39,38
Tubo rectangular para Bastidor	50 x 100 x 3	60,72
Tubo cuadrado para parantes y techo	50 x 50 x 1.50	183,46
Plancha antideslizante para piso	1230 x 2440 x 3 (x2)	151,10
Plancha inoxidable para paredes y techo al inteior	1220 x 2440 x 1.20 (x3)	84,12
Plancha galvanizada para paredes y techo al exterior	1220 x 2440 x 0.70 (x3)	49,08
Peso de tanque de gas de GLP		15,00
Cosinas, mesones, refrigerador, tanque de agua, tanque para residuos, otros		318,00
Peso total		900,86

Nota: Datos obtenidos de la página oficial de IPAC ACEROS y datos de catálogos de productos para restaurantes

La carga de giro se calcula con la fórmula de la fuerza centrípeta, así:

$$F_C = \frac{m V t^2}{r} \quad (2)$$

Se tomará 8% de peralte que variará el valor de la fuerza centrípeta.

A continuación en la siguiente Tabla 5 se registran las demás cargas estipuladas en norma:

Tabla 5

Valores de cargas que deben tomarse en cuenta para el análisis

Tipo de carga	Ref. Norma	Valor
Carga muerta (M)	NTE INEN 1323:2009	8 829.00 N
Carga viva (V)	NTE INEN 1323:2009	2 749.60 N
Carga de giro (G)	NTE INEN 1323:2009	2 091.02 N
Carga de frenado (F)	NTE INEN 1323:2009	4 721.12 N
Carga de aceleración brusca (Ab)	NTE INEN 1323:2009	4 721.12 N
Carga de resistencia aerodinámica (Raf)	NTE INEN 1323:2009	3 105.02 N

Nota: Cabe indicar que cuando el Food Truck está siendo transportado, no hay ocupantes en su interior, no obstante para efectos de cálculo e incrementar el factor de seguridad este valor se tomará en cuenta. Información tomada de la norma NTE INEN 1323: 2009

Para diseñar considerando factores de seguridad por resistencia de materiales es necesario apearse al método LRFD (*Load Resistance Factor Desing*)

$$1.4 M + V \quad (2)$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

$$1.2 M + 1.6 V + 0.5 G \quad (3)$$

$$1.2 M + 0.5 V + 1.6 G \quad (4)$$

$$1.2 M + 1.6 F + 0.8 Raf \quad (5)$$

$$1.2 M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 Raf \quad (6)$$

$$1.2 M + 1.5 Ab + 0.5 V \quad (7)$$

$$0.9 M - 1.3 Raf \quad (8)$$

$$0.9 M + 1.3 Raf \quad (9)$$

Durante el ensayo de resistencia de la estructura la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento *Regulation 66 de la Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure* de las Naciones Unidas.

Bajo ninguna circunstancia el espacio de supervivencia (**Figura 23**) será invadido en las pruebas de simulación, porque si pasara significaría que en una eventualidad que genere un esfuerzo sobre la estructura y esta se deforme de tal manera que ingrese a la zona de supervivencia, esta se tornaría insegura para sus ocupantes.

El volumen comprendido entre el piso, techo e interior del Food Truck dispuesto para el espacio de supervivencia tiene las siguientes medidas:

- Ancho de 800 mm
- Largo de 3000 mm
- Altura de 1900 mm

En el análisis del comportamiento de la estructura al someterlo a impacto se requiere realizar el procedimiento descrito en la regulación ECE que indica que para este estudio se debe simular

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

el choque lateral con una Barrera Deformable Móvil o BDM (**Figura 24**) que deberá ser modelada conforme a los requisitos establecidos en la regulación R95.

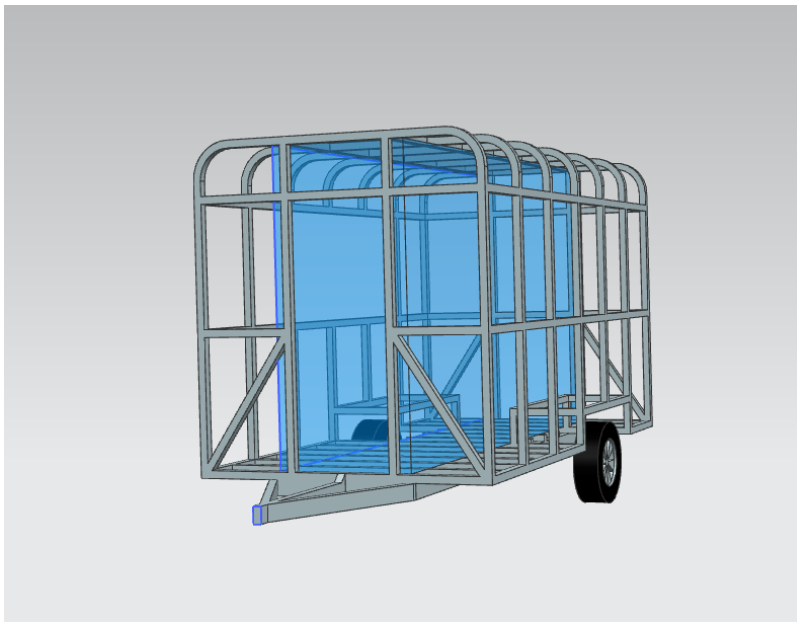


Figura 23. Espacio de supervivencia

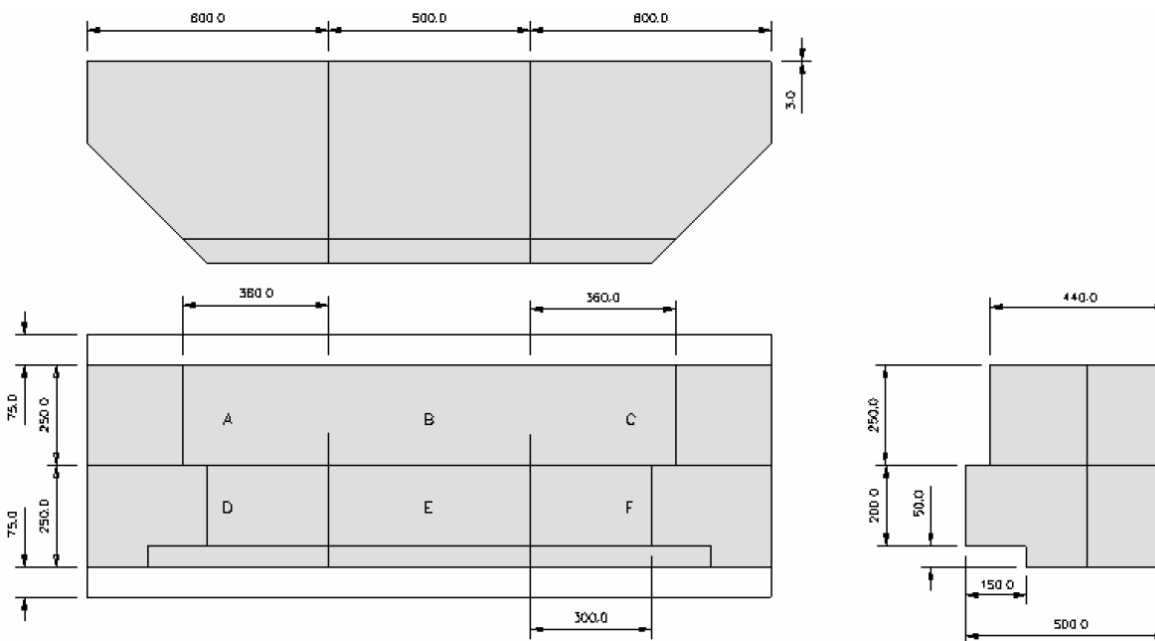


Figura 24. Medidas de la Barrera Deformable Móvil. Tomado del *Arup Cellbond Barrier Models 2006. AE-MDB Side Impact Barrier Model*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

En el simulador se evaluará un impacto lateral sobre la estructura del Food Truck como indica la **Figura 25**.

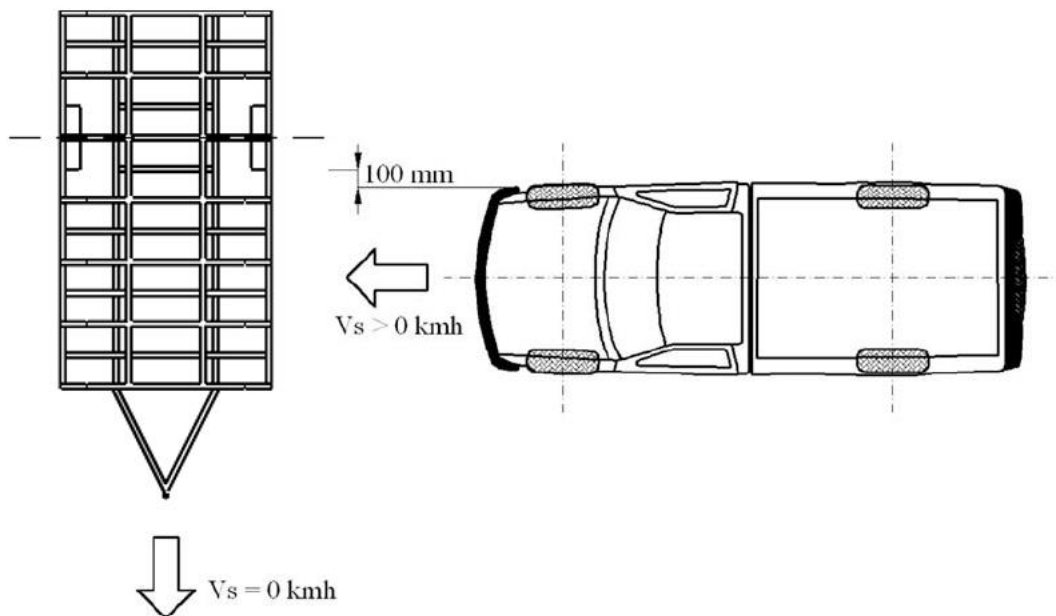


Figura 25. En el software de simulación se evalúa un impacto de un vehículo (Ejemplo) a $50 \pm 1 \text{ km/h}$. Adaptado de Kwasniewski L. 2007. *Crash and safety assessment program for paratransit buses*

El programa *HyperWorks* permite evaluar la estructura en caso de volteo, lo que incrementa el espectro para la toma de decisiones en función de observar las partes afectadas (**Figura 26**).

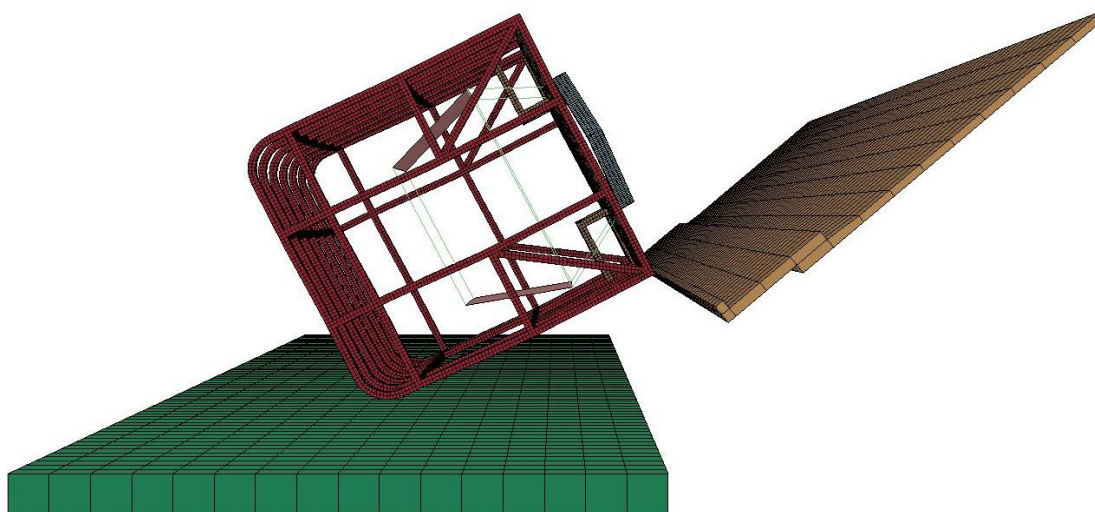


Figura 26. Simulación de volteo en *HyperWorks*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Análisis teórico matemático usando conceptos de impulso y cantidad de movimiento y resistencia de materiales en referencia al esfuerzo y deformación

Para el cálculo de la fuerza del choque de los cuerpos analizados (**Figura 27**) se recurre a la teoría del impulso y cantidad de movimiento, donde el impulso se define como el incremento de la cantidad de movimiento (P) y es igual a la masa (m) por la velocidad final (V_f) menos la masa por la velocidad inicial (V_o), considerando que el choque de dos vehículos es totalmente inelástico se tiene conforme los datos de la Tabla 6.

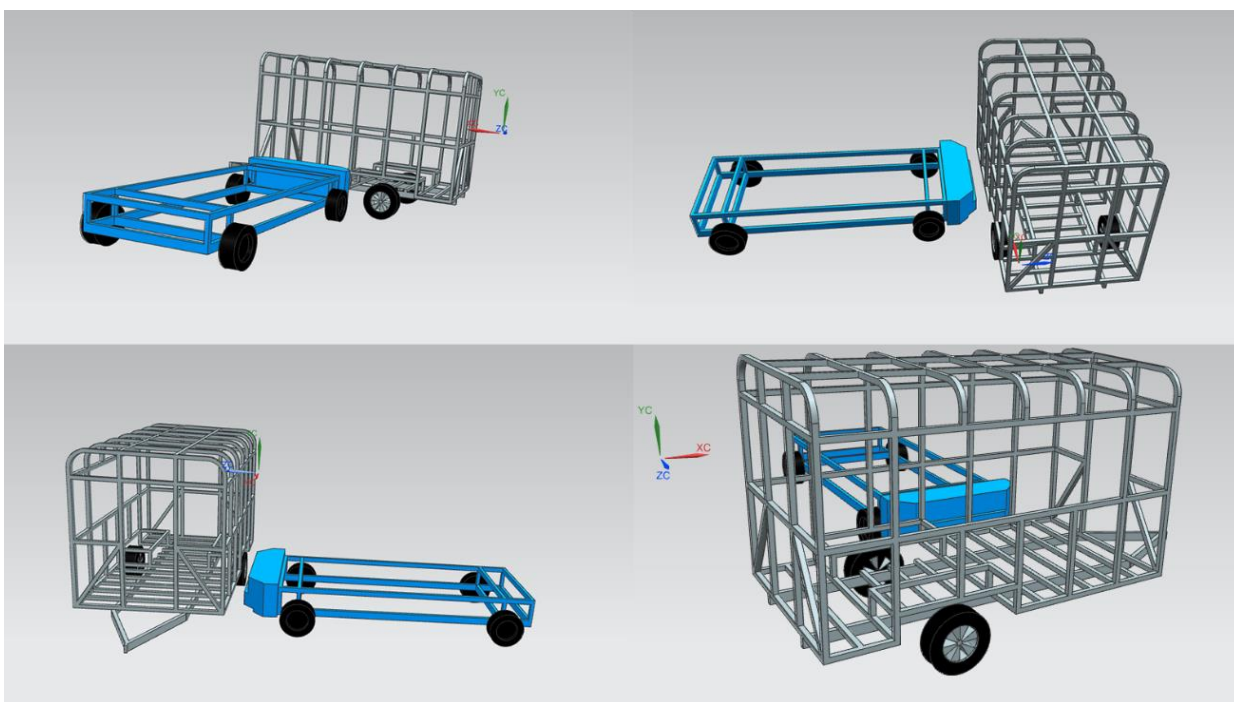


Figura 27. La barrera móvil se impacta a 50 Km/h. Diferentes vistas de los cuerpos a impactarse.

Cantidad de movimiento inicial es igual a la cantidad de movimiento final por el principio de conservación de la cantidad de movimiento (Ecuación 10) y se usan las variables de la Tabla 7.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 6

Datos para el cálculo de la fuerza de choque usando la teoría del impulso y cantidad de movimiento

Concepto	Valor
Velocidad inicial del Food Truck	Cero
Velocidad de la barrera móvil	50 Km/h
Tiempo de contacto en el choque	20 ms
Masa del Food Truck (Carga muerta + carga viva)	1181.49 Kg (m1)
Masa de la barrera móvil	1500 Kg (m2)

Nota: Estos datos son tomados en base a la información generada para calcular los requerimientos de las normas antes citadas

Tabla 7

Conceptos de los factores utilizados en las fórmulas

Concepto	Sigla
Cantidad de movimiento	P
Masa	m
Velocidad	V
Velocidad Resultante	VR
Variación de la cantidad de movimiento	I
Fuerza	F
Tiempo	t

Nota: Siglas utilizadas en el desarrollo del cálculo de los datos

$$P1 = P2$$

$$m1 \cdot Vo1 + m2 \cdot Vo2 = m1 \cdot Vf1 + m2 \cdot Vf2 \quad (10)$$

Por ser un choque totalmente inelástico las masas se suman:

$$VR = \frac{m1 \cdot Vo1 + m2 \cdot Vo2}{m1 + m2} \quad (11)$$

$$VR = 27.97 \frac{Km}{h}$$

Entonces se puede calcular la fuerza necesaria para producir este movimiento del Food Truck:

$$I = \Delta P = Pf - Po \quad (12)$$

$$P = mV$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

$$I = \Delta P = m V_f - m V_o$$

$$I = \Delta P = 1181.49 \text{ Kg} \left(27.97 \frac{\text{Km}}{\text{h}} - 0 \right)$$

$$I = 9\,179.52 \text{ Kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

$$F = 458\,976.05 \text{ N}$$

La zona de impacto distribuirá esta fuerza entre las barras que sostienen la viga lateral.

Para analizar la deformación en las barras se divide la fuerza entre 6 soportes (**Figura 28**) y se tiene la fuerza individual:

$$F_i = \frac{F}{6}$$

$$F_i = 76\,496.01 \text{ N}$$

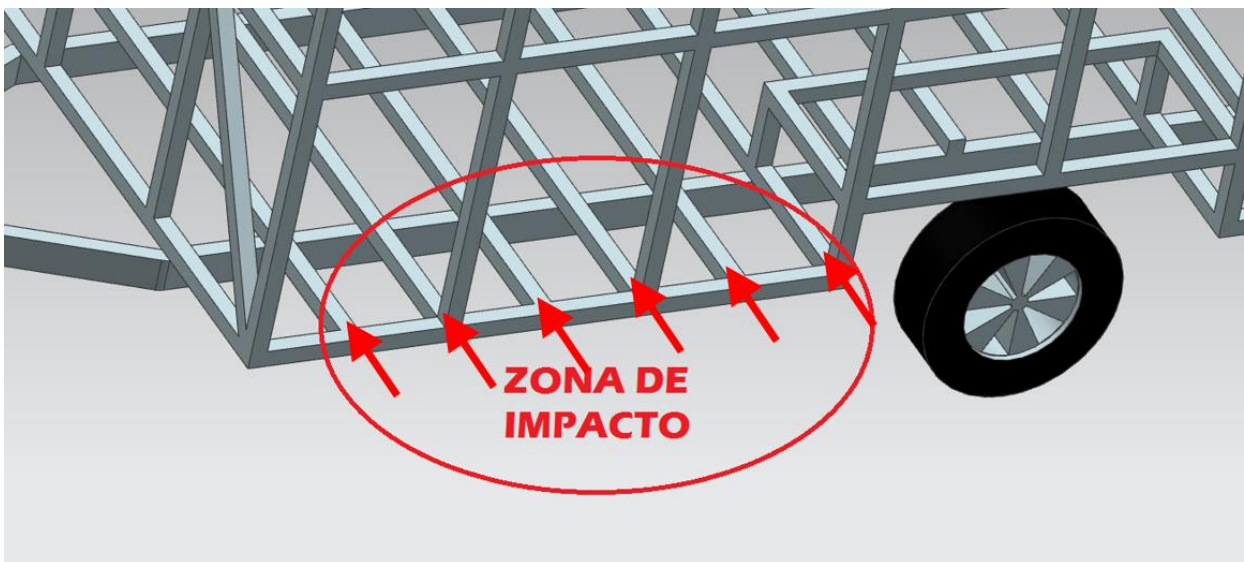


Figura 28. La zona de impacto comprende 1 500 mm que es el ancho de la barrera móvil

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Al aplicar mecánica de materiales tomando la muestra de una viga, se puede obtener el esfuerzo normal por compresión al que está sometida, así como su deformación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

El área corresponde a la sección de un tubo hueco de 50 x 50 x 4:

$$A = 736 \text{ mm}^2$$

Por tanto el esfuerzo al que está sometida la barra es:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{76\,496.01 \text{ N}}{736 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 103.93 \text{ MPa}$$

Se compara con el esfuerzo último a la tensión del material (ASTM A500) para determinar si la viga se rompe conforme los datos de la Tabla 8;

$$S_u = 400 \text{ MPa}$$

Tabla 8

Cuadro comparativo de valores de resistencia

Resistencia del material	Resistencia calculada
400 Mpa	103.93 Mpa

Nota: El esfuerzo calculado no supera la resistencia última a la tracción del material, lo que determina que no se fracture o rompa

Por tanto no supera el límite y no se convierte en un objeto peligroso para los ocupantes, pues no se rompe, esto quiere decir que, en el instante analizado la fuerza generada que actúa en el elemento separado para el estudio, no supera el límite último a la tensión lo que indica que el material no se ha roto aunque se deforme.

Para determinar su deformación total por resistencia de materiales se determina de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{F L}{A E} \quad (13)$$

$$\delta = \frac{76\,496.01 \times 450 \text{ mm}}{736 \text{ mm}^2 \times 207 \text{ GPa}}$$

$$\delta = 0.221 \text{ mm}$$

Análisis del mismo fenómeno usando software de elementos finitos para obtener la deformación

Al realizar la misma experiencia en software de elementos finitos sobre la parte analizada en la resolución matemática se obtiene resultados parecidos y se procede de la siguiente manera como indica la **Figura 29**:

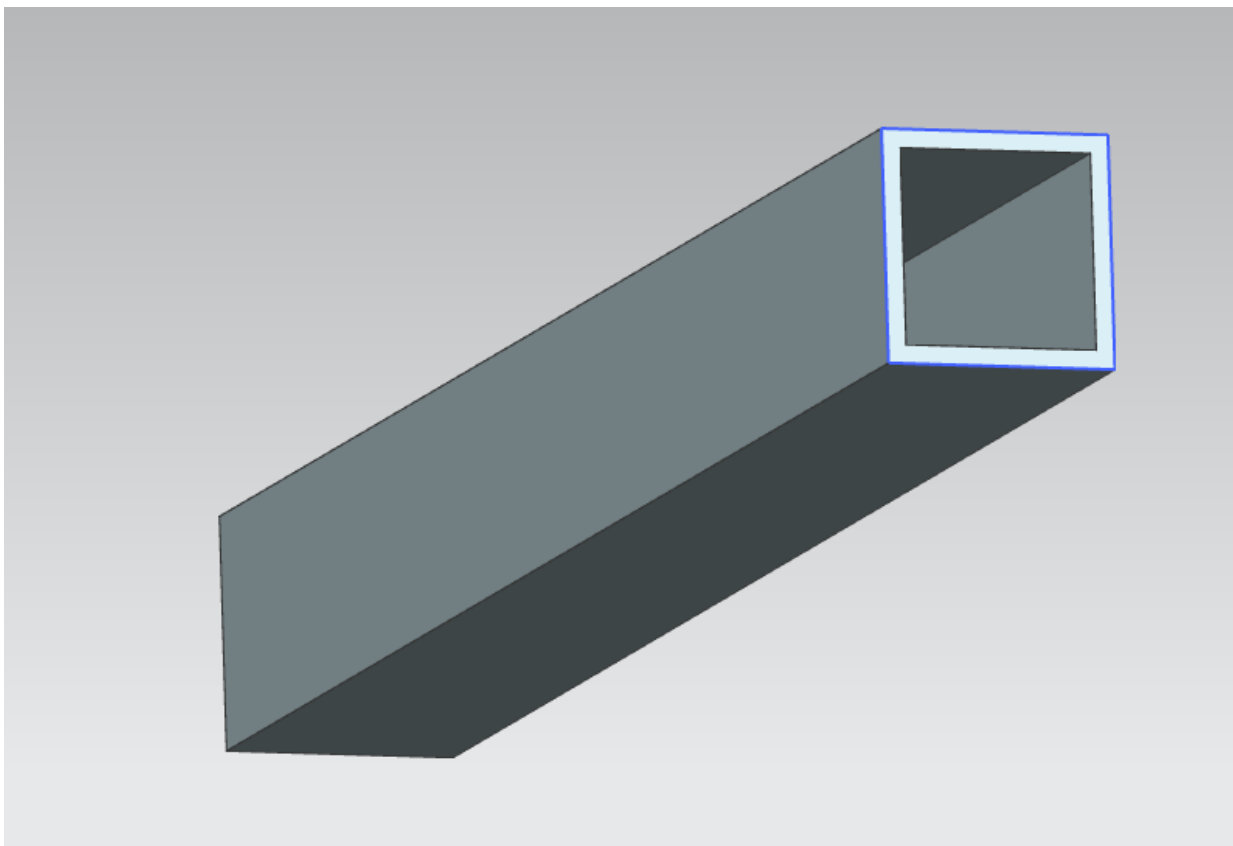


Figura 29. Modelado del elemento

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Después del modelado el siguiente paso es realizar el mallado para que sea aplicable el método de elementos finitos en la simulación del software, así se tiene como indica la **Figura 30**.

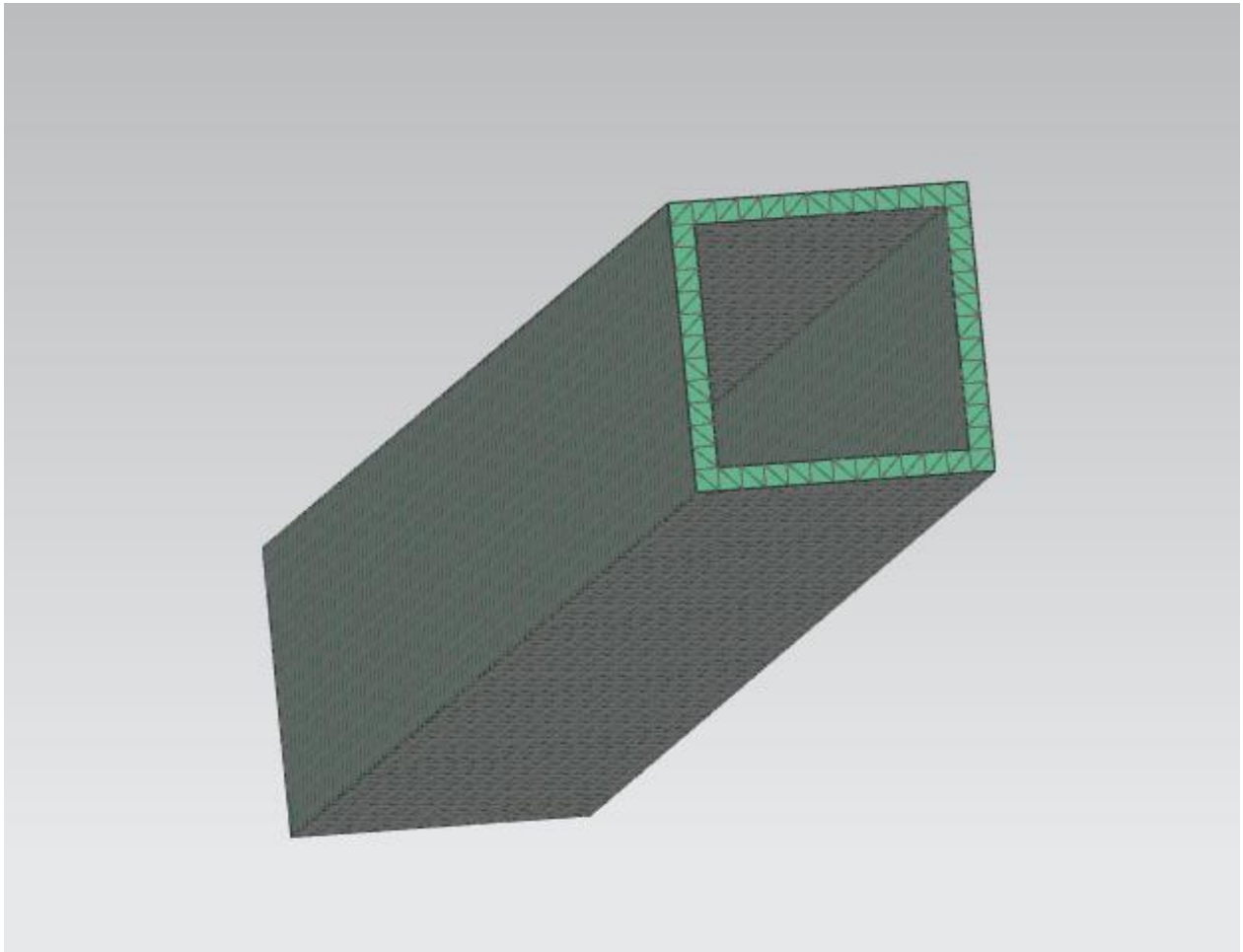


Figura 30. Mallado del elemento analizado

Luego se aplica axialmente la misma fuerza normal de compresión que se utilizó en el cálculo matemático del método anterior que tiene un valor de 76 496.01 N en el extremo del elemento como indica la **Figura 31** y también se aplica una restricción fija en el otro extremo mostrado en la **Figura 32**.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Estos pasos representan el ingreso de las condiciones de frontera como el valor de la fuerza ejercida en el extremo mientras que al otro lado se fijó como punto de sujeción, así se ingresa la información que requiere el software para el análisis.

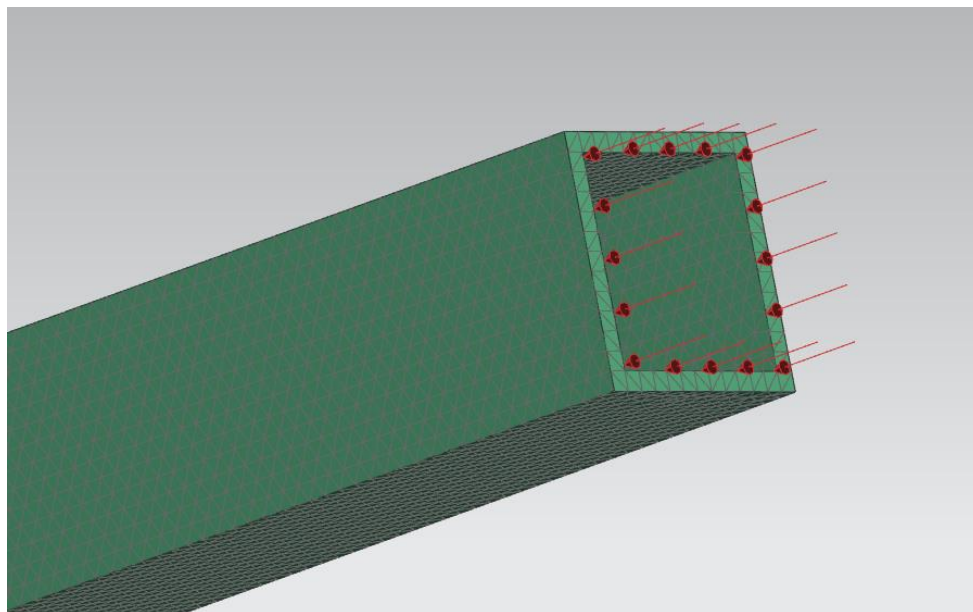


Figura 31. Aplicación de una fuerza en el extremo del elemento

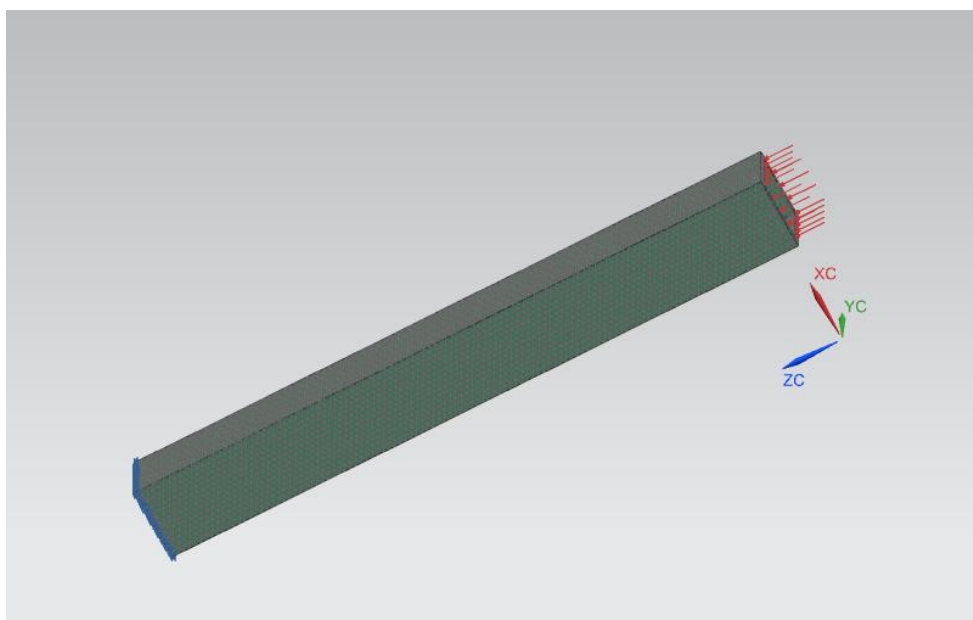


Figura 32. Aplicación en el elemento de una restricción fija en el extremo opuesto al de la fuerza

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

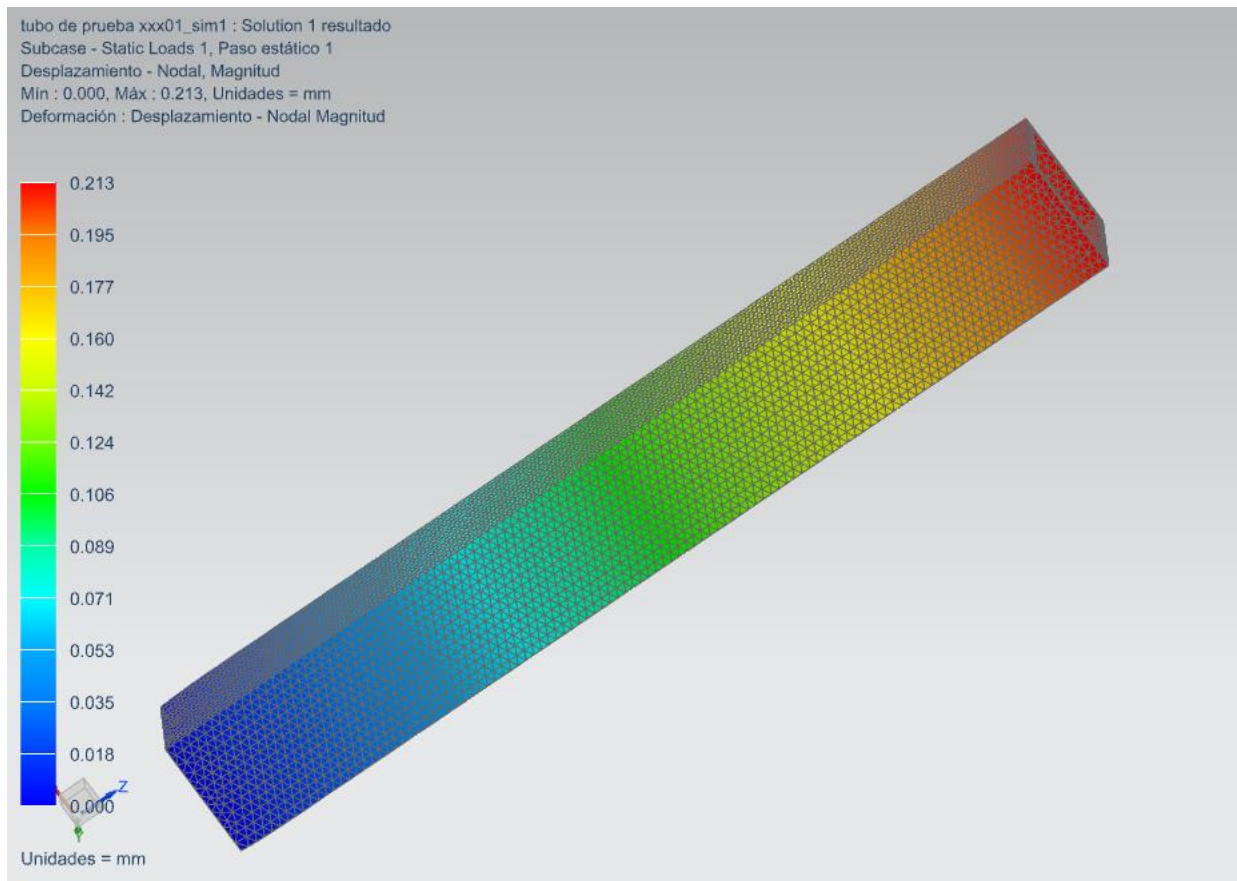


Figura 33. Parte de la estructura analizada en software en términos de deformación. Def Max 0.213 mm

En el gráfico la parte roja (**Figura 33**) significa que es donde se ejerce la fuerza normal de compresión, es por ésta razón que se genera la mayor deformación y va disminuyendo mientras se acerca al punto de fijación.

El resultado del cálculo del software es de 0.213 mm de deformación total de la parte analizada por este método.

Análisis del fenómeno por elementos finitos método directo

El elemento finito es un método que permite resolver problemas de ingenierías como el propuesto (**Figura 34**) que compara resultados usando el método directo, como se demuestra a continuación:

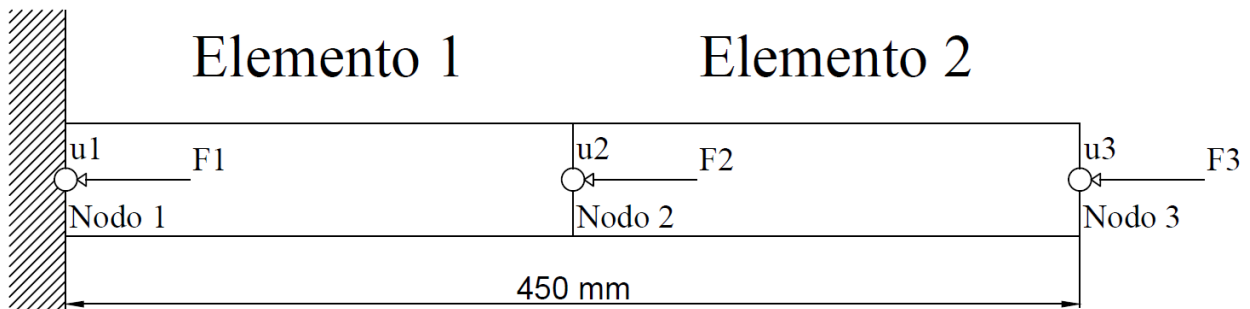


Figura 34. Parte de la estructura del *Food Truck* analizada

Donde u representa el desplazamiento del nodo y F la fuerza aplicada en el mismo nodo.

Este elemento estructural unidimensional uniforme de eje recto se somete a una carga normal axial de compresión, con el método directo se determina la matriz de rigidez, para ello se discretiza el dominio en dos elementos generándose además tres nodos; el nodo uno restringido por tanto su desplazamiento es cero y en el nodo dos no actúa ninguna fuerza, así se tiene las siguientes condiciones de frontera en la Tabla 9:

Tabla 9

Condiciones de frontera para resolver el mismo caso por el método de elementos

Concepto	Valor
Desplazamiento u_1	0
Fuerza F_2	0
Fuerza F_3	76 496.01 N
Fuerza F_1	Incógnita
Desplazamiento u_2	Incógnita
Desplazamiento u_3	Incógnita

Nota: Valores de cada nodo propuesto para la resolución del ejercicio

Cada elemento tendrá dos grados de libertad, entonces se necesitan dos ecuaciones para describir las características de fuerza – deformación. Según la teoría se tiene dos tipos de notaciones:

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

La forma general

$$[F] = [K] [u] \quad (14)$$

Donde: [K] es la matriz de rigidez y [u] es el vector de desplazamientos nodales y [F] es el vector de fuerzas nodales.

La notación matricial general para cada elemento con dos grados de libertad

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{ii} & K_{ij} \\ K_{ji} & K_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 & K12 \\ K21 & K22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

La matriz de rigidez para cada elemento discretizado que en este caso será una estructura matricial de dos por dos.

$$K = \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \quad (17)$$

Se calcula el valor de K que es una constante para reemplazar en la matriz tomando en cuenta la longitud del elemento por la propia definición de los coeficientes de rigidez Kij de la teoría básica de la resistencia de materiales en mecánica de sólidos donde el desplazamiento de un elemento uniforme viene dado por:

$$u = \frac{F L}{A E} \quad (18)$$

Por lo tanto el valor constante K es:

$$K = \frac{E A}{L} \quad (19)$$

$$K = \frac{207 \text{ GPa} \times 736 \text{ mm}^2}{225 \text{ mm}}$$

$$K = 677 \, 120 \, 000 \frac{N}{m}$$

Por tanto las matrices para los dos elementos de este caso quedan así:

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Para el elemento 1:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 \\ -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix}$$

Para el elemento 2:

$$\begin{bmatrix} F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 \\ -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Ensamblando las matrices para tener una matriz de rigidez global se generan las siguientes matrices:

Para el elemento 1 se tiene:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 & 0 \\ -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Para el elemento 2 se tiene:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 \\ 0 & -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Sistema global representado con la matriz de rigidez:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 & 0 \\ -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 + 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 \\ 0 & -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Aplicar las condiciones de frontera:

$$u1 = 0; F2 = 0; F3 = 76\ 496.01\ \text{N}$$

Reemplazando en el vector de fuerzas y vector de desplazamiento en la matriz global:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ 0 \\ 76\ 496.01\ \text{N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 & 0 \\ -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 + 677\ 120\ 000 & -677\ 120\ 000 \\ 0 & -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Se resuelve el sistema de ecuaciones y se obtiene dos subsistemas:

$$F1 = -677\ 120\ 000\ u2$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 76\ 496.01\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\ 354\ 240\ 000 & -677\ 120\ 000 \\ -677\ 120\ 000 & 677\ 120\ 000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$$

Resolviendo las matrices con el *Open Software Scilab*:

$$K = [1\ 354\ 240\ 000, -677\ 120\ 000; -677\ 120\ 000, 677\ 120\ 000]$$

$$F = [0; 76\ 496.01N]$$

$$u = K^{-1}F \quad (20)$$

```

Scilab 6.0.0 Console
Archivo Editar Control Aplicaciones ?
--> K=[1354240000,-677120000;-677120000,677120000]
K =

  1.354D+09  -6.771D+08
 -6.771D+08   6.771D+08

--> F=[0;76496.01]
F =

  0.
  76496.01

--> U=inv(K)*F
U =

  0.000113
  0.0002259
  
```

Nombre	Value	Tipo	Visibilidad
F	[0; 7.65e...	Double	local
K	[1.35e+0...	Double	local
U	[0.000113...	Double	local

```

Historial de comandos
--// --06/08/2017 15:16:26 --//
--k
--K=[1354240000,-677120000,-677120000,6771
--K=[1354240000,-677120000;-677120000,6771
--F=[0;76496.01]
--U=inv(K)*F
  
```

Figura 35. Cálculo de operaciones entre matrices realizado en el *Open Software Scilab*

El desplazamiento calculado en Scilab (**Figura 35**) lo obtiene en metros, por lo tanto la respuesta para comparar con las resoluciones anteriores se las coloca en milímetros:

$$u_2 = 0.113\ mm$$

$$u_3 = 0.225\ mm$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Los datos obtenidos en referencia al desplazamiento son los mismos para ello se lo compara en la siguiente Tabla 10:

Tabla 10

Comparativo de resultados obtenidos con diferentes métodos

Conceptos de resistencia de materiales - Esfuerzo deformación	Software de Elementos finitos	Elementos finitos método directo
0.221 mm	0.213 mm	0.225 mm

Nota: Resultados muy similares con una diferencia mínima comparada con la magnitud de la fuerza aplicada en la parte analizada

RESULTADOS

Los resultados obtenidos producto del proceso descrito anteriormente son aplicables exclusivamente en las condiciones de las pruebas simuladas y normadas en tres documentos de referencia:

- Norma NTE INEN 1323:2009 que indica un método para realizar un proceso de análisis bajo cargas estáticas, no obstante, la mencionada norma carece de alguna metodología para desarrollar estudios bajo cargas dinámicas a pesar de basarse en la misma norma extranjera que la contiene.
- Regulation No. 66 Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure donde estipula un procedimiento para la prueba de volteo.
- Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral, que establece un método para llevar a cabo pruebas en vehículos de uso familiar.

Además la validez del estudio también estaría sujeta a que la ejecución de todas las operaciones de manufactura, responsabilidad del fabricante, estén de manera adecuada, cumpliendo con los estándares de calidad reconocidos en la industria.

Las normas antes referidas son para reglamentar la fabricación de vehículos de varios tipos, más en este caso, el Food Truck no es un tipo de vehículo convencional pero se tomó como referencia esta normativa para establecer un punto de partida para futuros análisis u otras investigaciones.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

ALCANCE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos son solamente aplicables al modelo de estructura, planos y bastidor que se cita en la presente tesis en las condiciones indicadas por la normativa NTE INEN 1323:2009, la *Regulation No. 66 Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure* para la prueba de volteo y lo pertinente del Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral.

En los ensayos se ha considerado que no se tiene defectos de soldadura en la manufactura de la estructura y que los planos adjuntos se han respetado a cabalidad. Los resultados tienen validez bajo las condiciones estáticas y dinámicas, requerimientos explicados en las normas antes mencionadas. El cambio de las condiciones queda fuera del alcance de la presente tesis y sus resultados, aquí mostrados no podrán usarse para otro modelo de estructura diferente al mencionado, aunque si puede servir de referencia.

DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Para que sea mejor entendido el trabajo desarrollado en esta tesis se puede indicar que el análisis principal se está evaluado en once casos de los cuales se distribuye así: nueve casos bajo cargas estáticas estipuladas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 y dos bajo cargas dinámicas de los cuales uno está establecido en la norma NTE INEN 1323:2009 y el otro en bajo los parámetros establecidos en lo pertinente del Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Se debe indicar que las cargas son de tipo vectorial por lo tanto no se debe sumar sus magnitudes por cuanto según el caso son fuerzas con magnitudes diferentes y es probable que su dirección también lo sea.

En el siguiente gráfico se diferencian las tres partes más importantes de la estructura del *Food Truck*, el bastidor, el piso y parantes con el techo juntos.

El software HyperWorks permite generar mallas independientes como se muestra en la **Figura 36**, lo que permite darle los espesores necesarios de acuerdo a las necesidades de construcción, se recuerda que los espesores para la fabricación son:

- Para el piso tubos 50x50x4
- Para el bastidor tubos 100x50x3
- Para los parantes y techo tubos 50x50x1.5

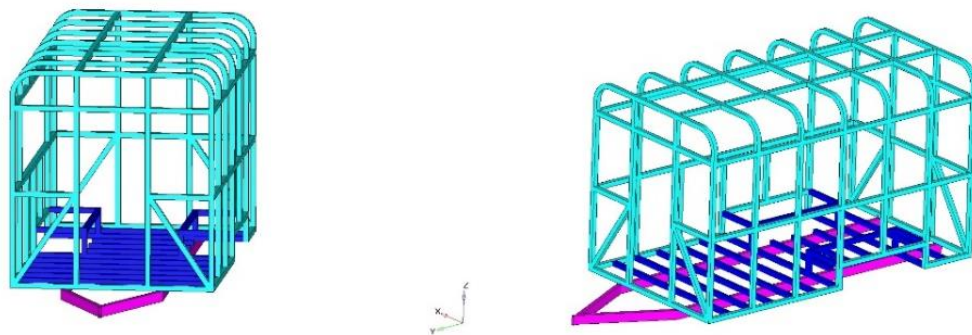


Figura 36. Distintas vistas del modelo de la estructura formato IGES abierto en HyperWorks donde se separan el bastidor, piso y parantes

Los esfuerzos generados al ser aplicados las cargas como indica la norma se aplican vectorialmente (Cepeda Miranda, 2006), es decir se distribuyen a lo largo del piso, en los parantes y el en frente y se multiplican por los factores de seguridad estipulados.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 1 – Cargas de 1.4M+V

El primer caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso del Food Truck (**Figura 37**).

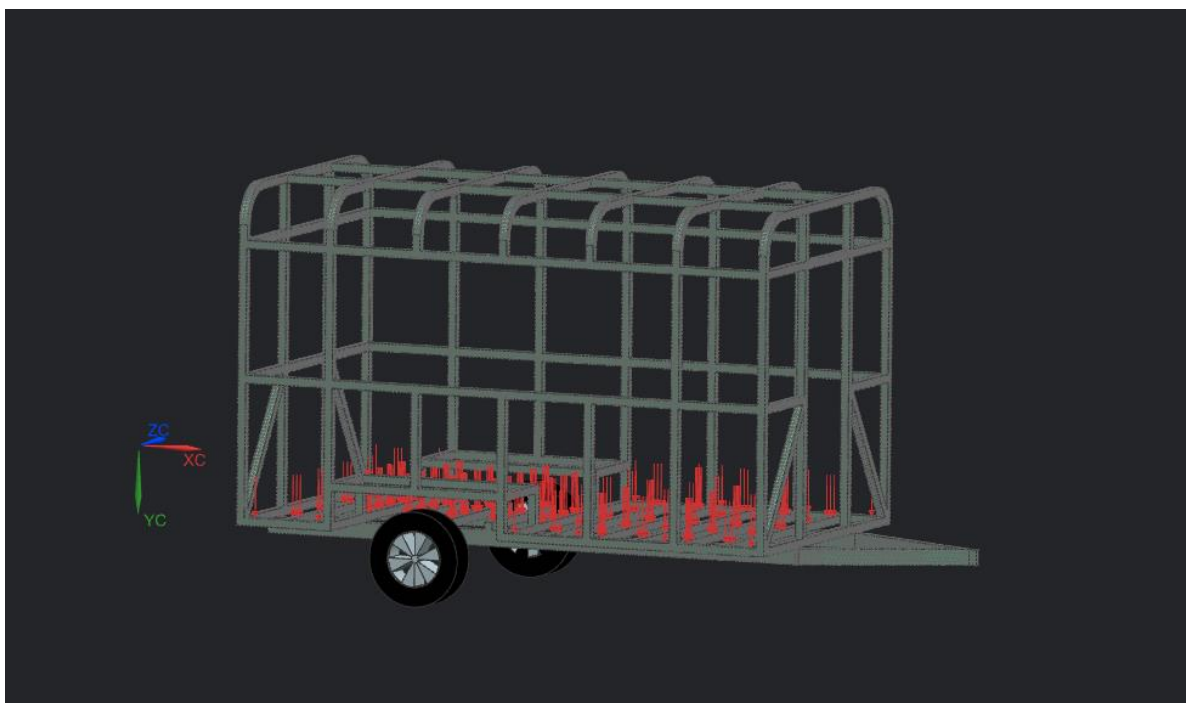


Figura 37. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 1 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 1 se reflejan en la siguiente Tabla 11 y los resultados en la Tabla 12.

Tabla 11

Valores de cargas para el CASO 1 (1,4M+V)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,4M	12360,60	Piso
V	2749,60	Piso

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 38** y **Figura 39**):

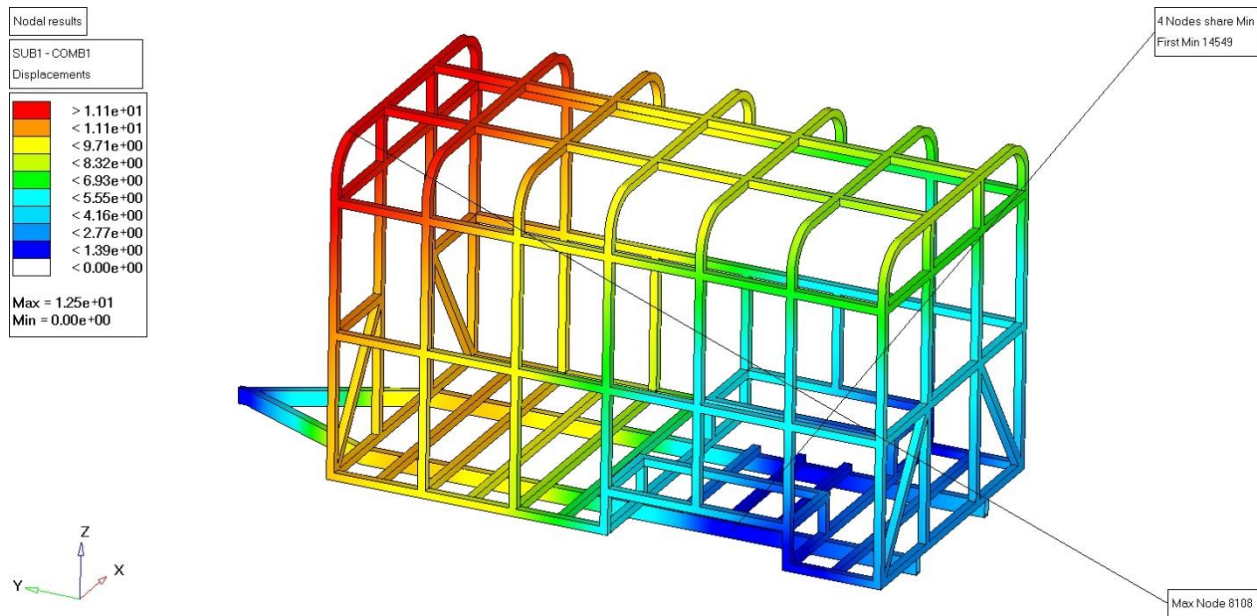


Figura 38. Resultado de la deformación aplicada a las combinaciones del Caso 1

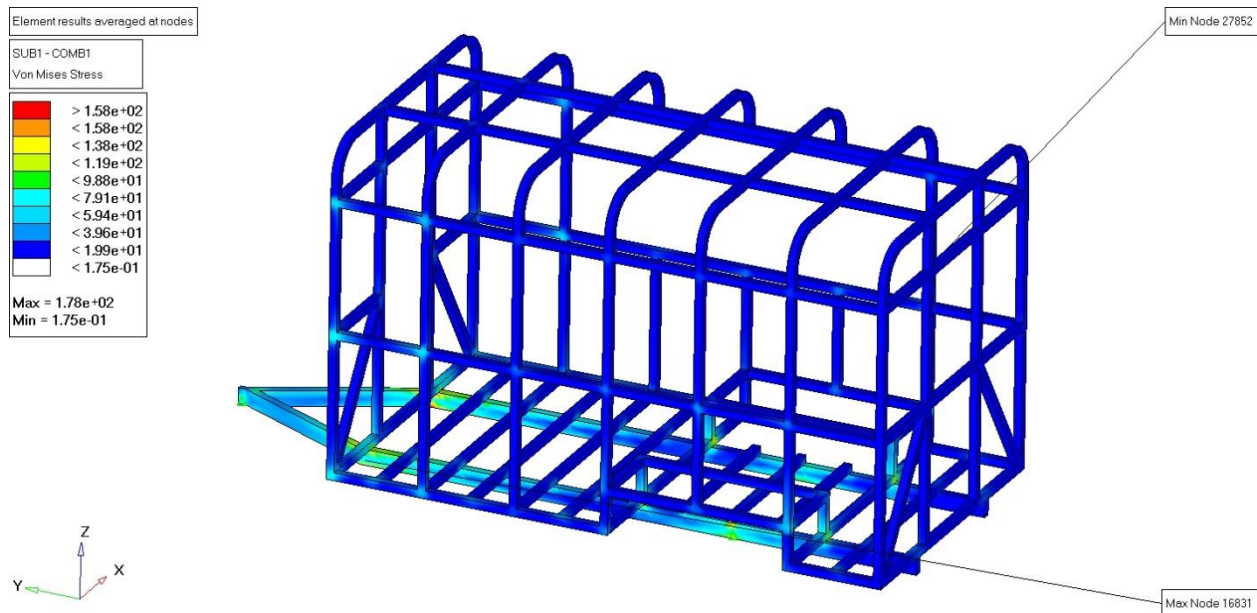


Figura 39. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 1

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 12

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 1

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
1	1.4 M + V	4600	19,16	12,50	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 40**.

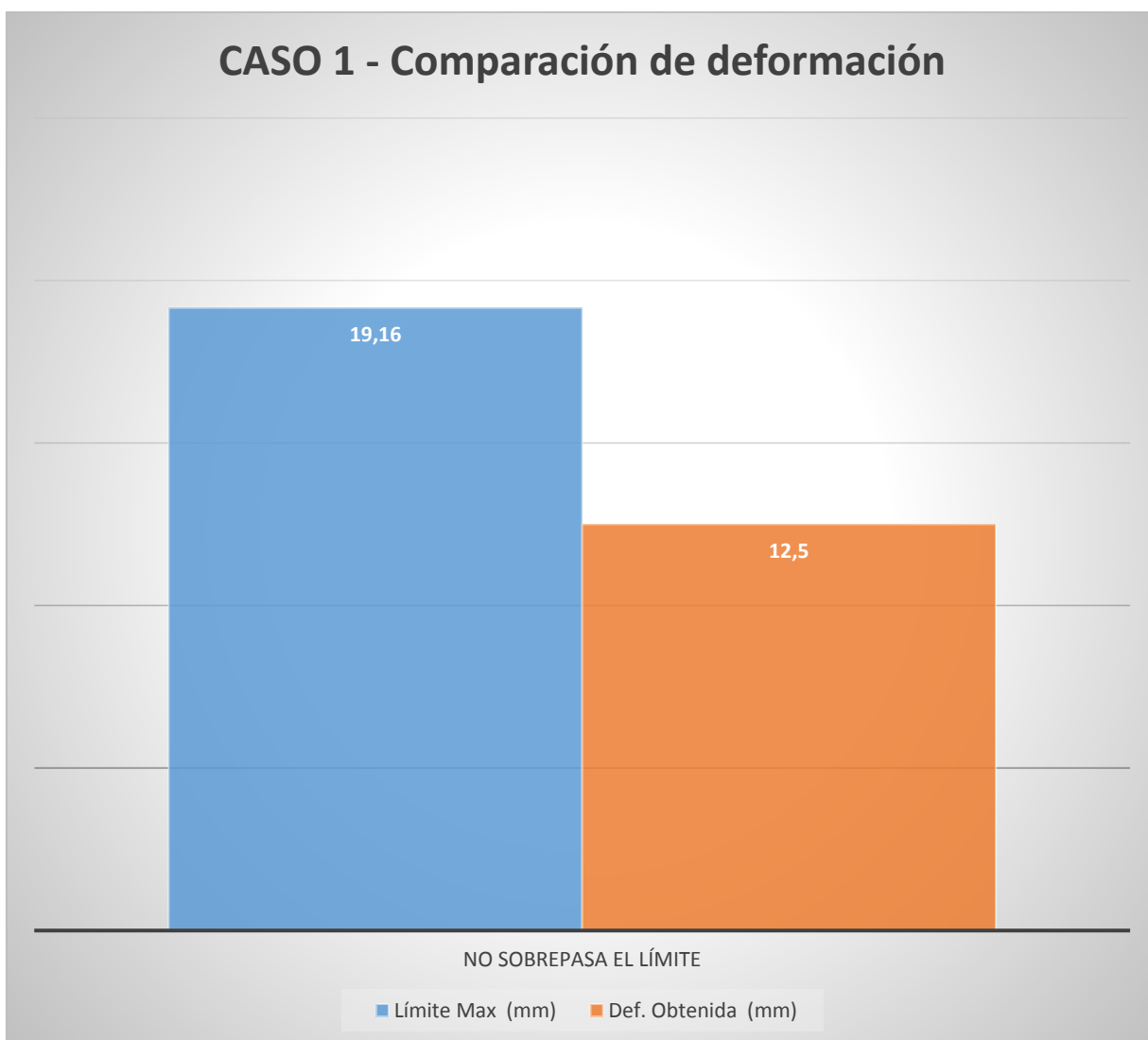


Figura 40. Resultado gráfico de la deformación Caso 1

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 2 – Cargas de 1.2M+1.6V+0.5G

Este caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso y en un lado del Food Truck (**Figura 41**).

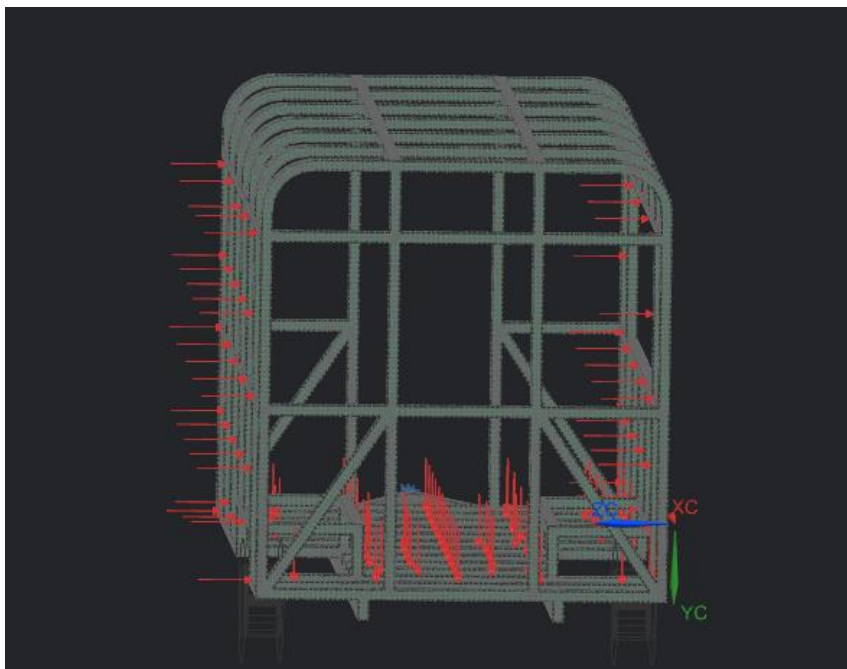


Figura 41. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 2 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 2 se reflejan en la Tabla 13 y los resultados en la Tabla 14:

Tabla 13

Valores de cargas para el CASO 2 (1,2M+1,6V+0,5G)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N
Carga de giro (G)	2091,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
1,6V	4399,36	Piso
0,5G	1045,51	Pared Lateral

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 42 y Figura**

43):

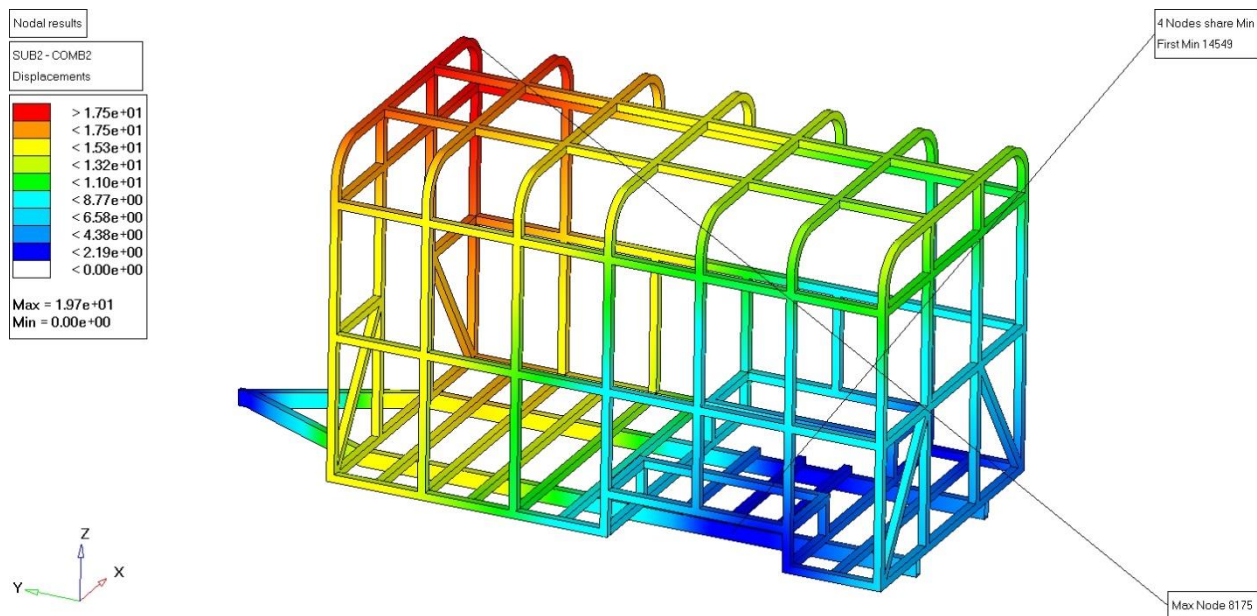


Figura 42. Resultado de la deformación aplicadas las combinaciones del Caso 2

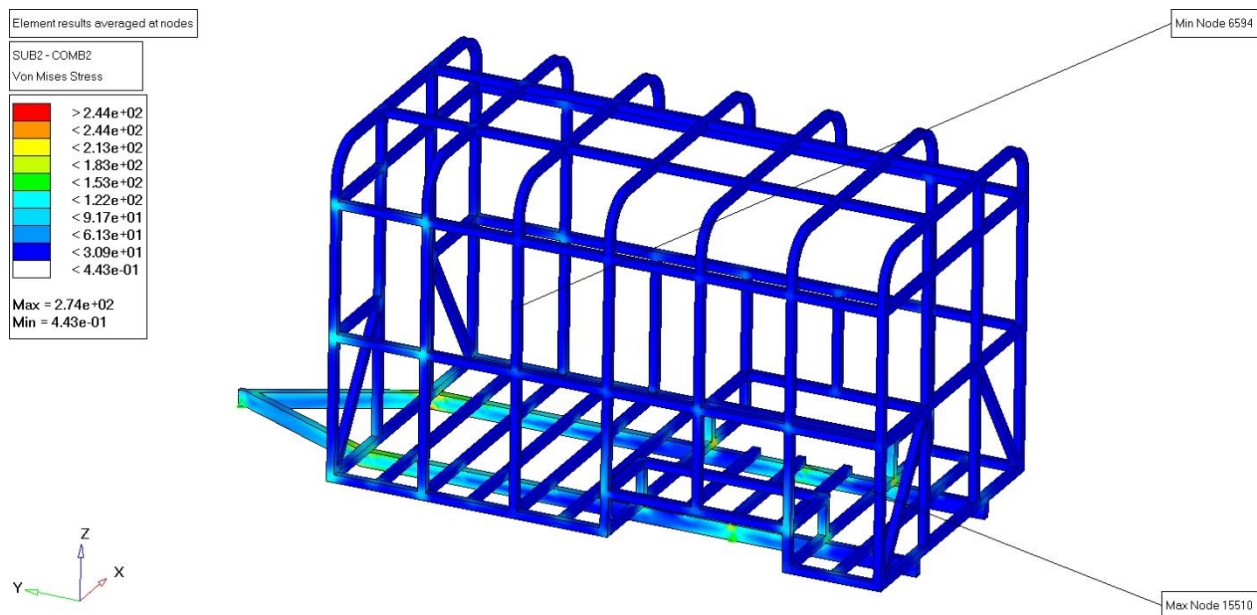


Figura 43. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 2

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 14

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 2

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
2	1.2 M + 1.6 V + 0.5 G	4600	19,16	19,10	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 44**.

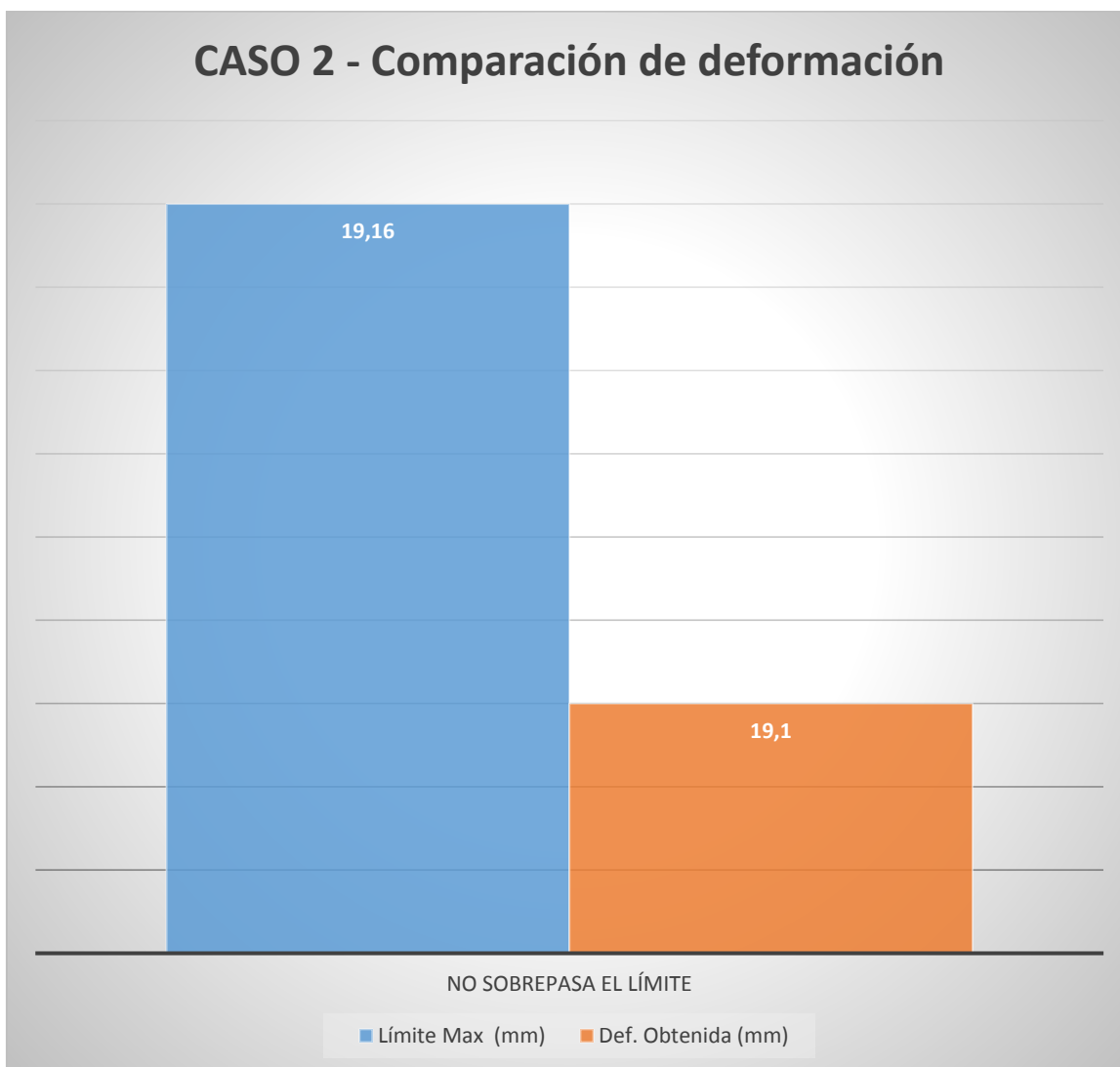


Figura 44. Resultado gráfico de la deformación Caso 2

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 3 – Cargas de 1.2M+0.5V+1.6G

Este caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso y en un lado del Food Truck con distintos factores que en anterior caso (Figura 45).

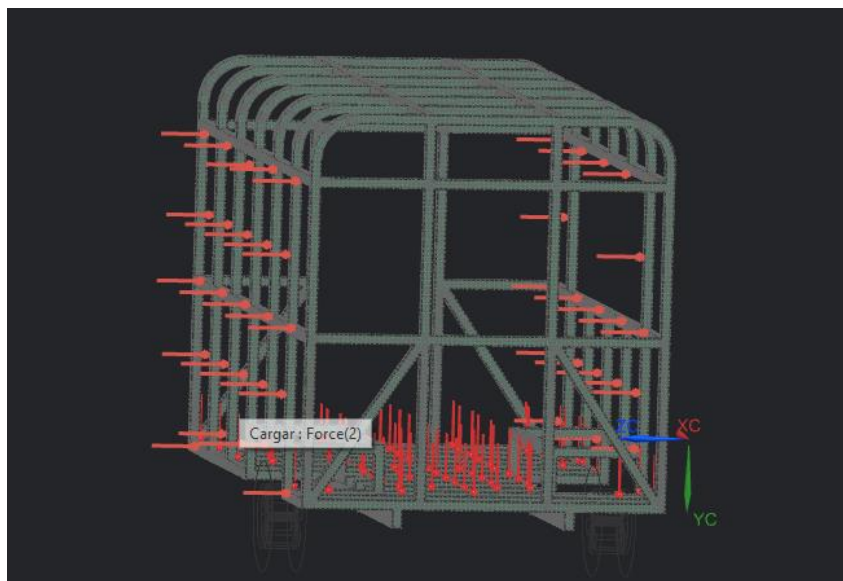


Figura 45. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 3 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 3 se reflejan en la Tabla 15 y los resultados en la Tabla 16.

Tabla 15

Valores de cargas para el CASO 3 (1,2M+0,5V+1,6G)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N
Carga de giro (G)	2091,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
0,5V	1374,80	Piso
1,6G	3345,63	Pared Lateral

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 46 y Figura**

47):

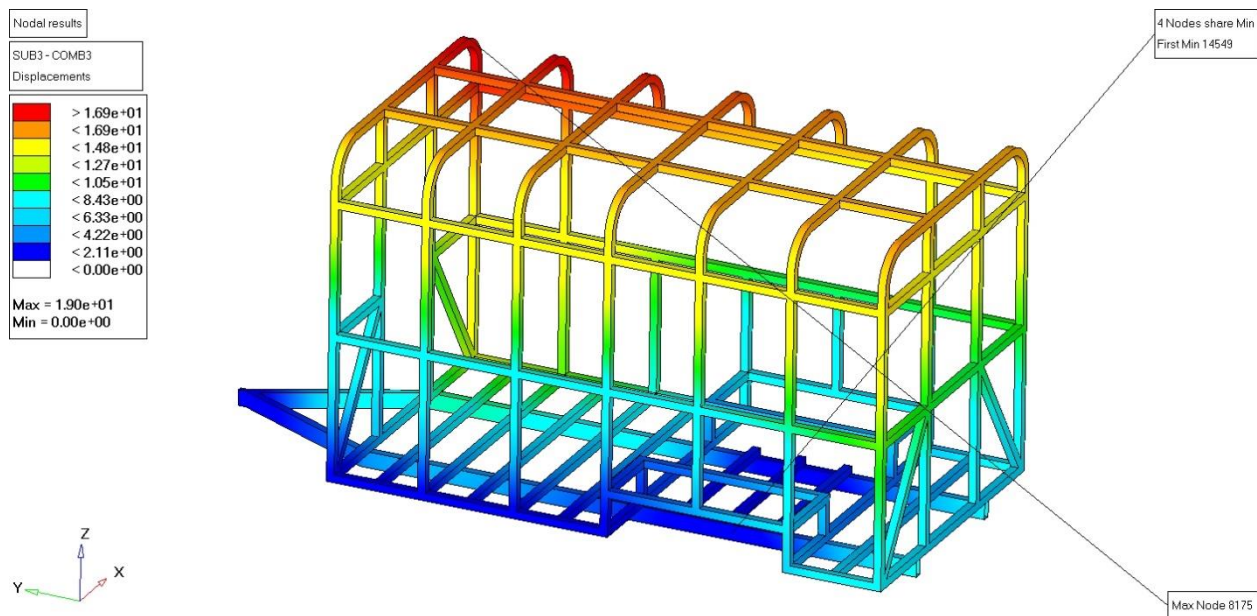


Figura 46. Resultado de la deformación aplicadas las combinaciones del Caso 3

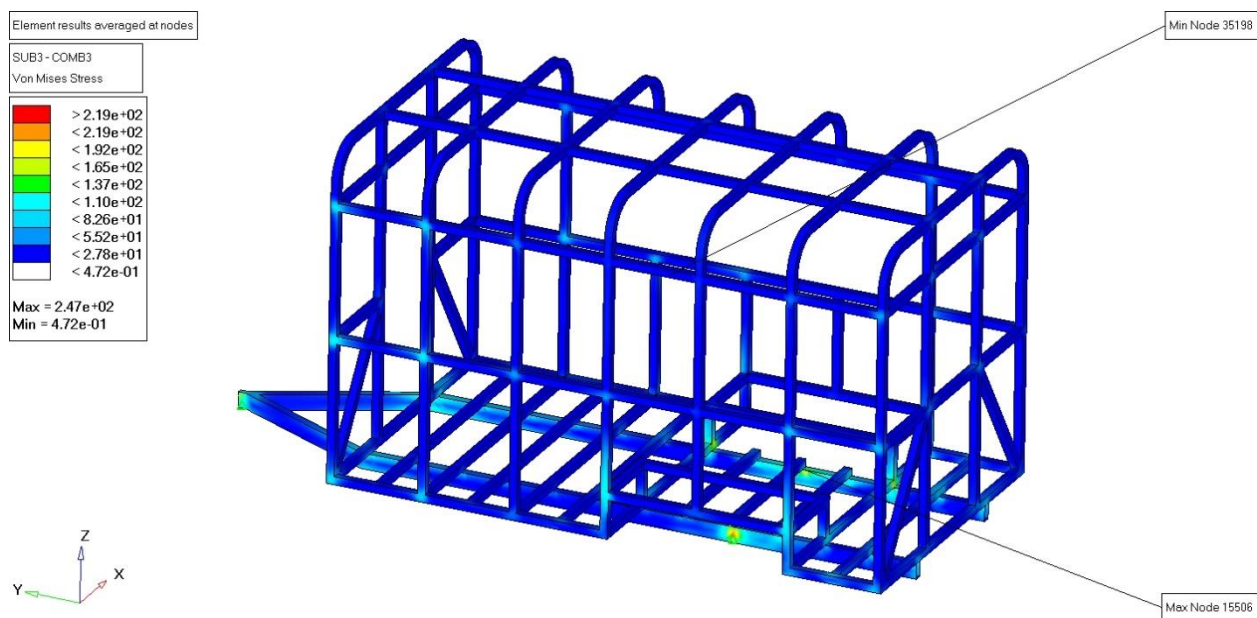


Figura 47. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 3

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 16

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 3

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
3	1.2 M + 0.5 V + 1.6 G	4600	19,16	19,00	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 48**.

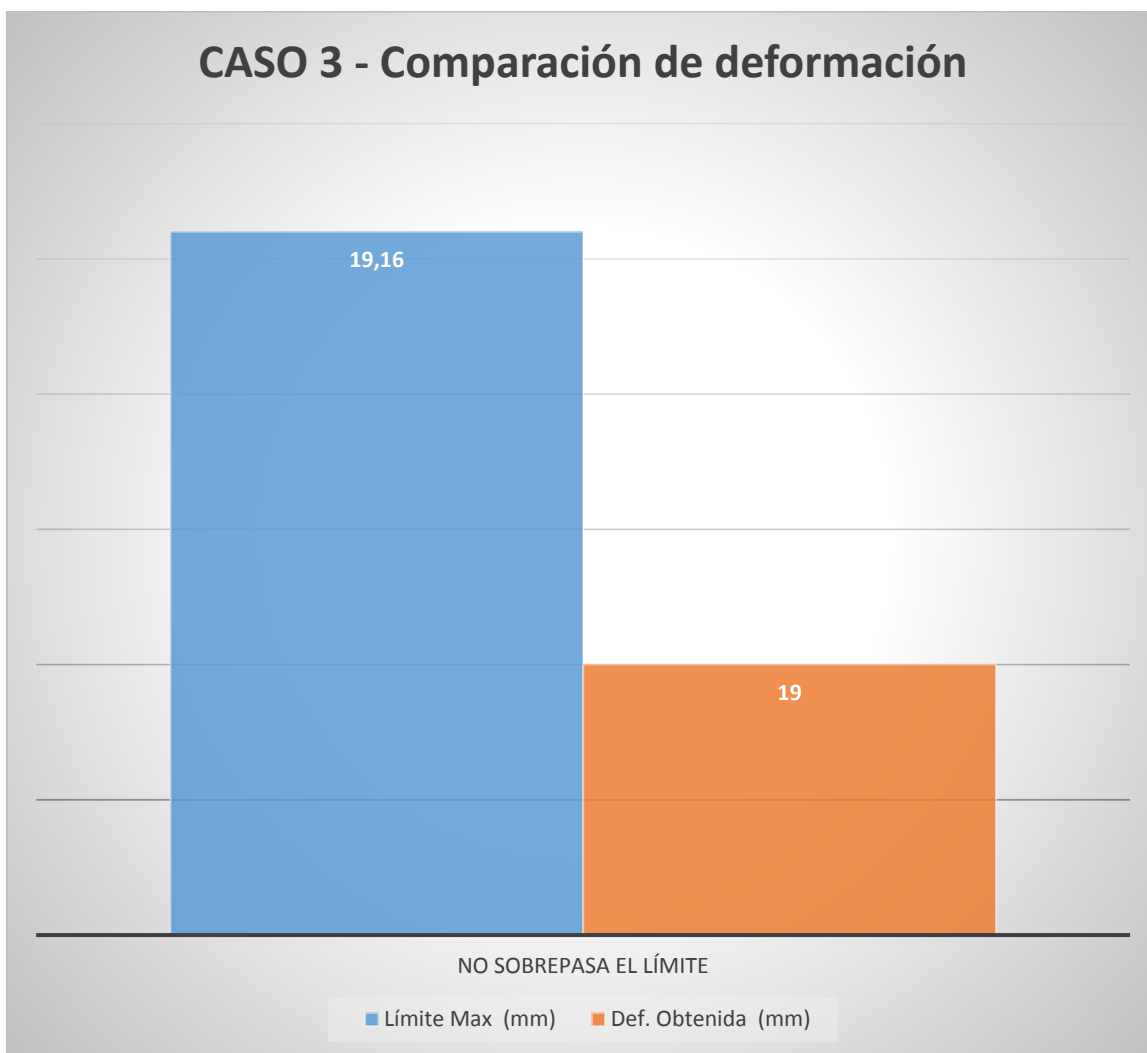


Figura 48. Resultado gráfico de la deformación Caso 3

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 4 – Cargas de 1.2M+1.6F+0.8Raf

Este caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso, el frente y en todos los parantes del Food Truck (**Figura 49**).



Figura 49. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 4 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 4 se reflejan en la Tabla 17 y los resultados en la Tabla 18.

Tabla 17

Valores de cargas para el CASO 4 (1,2M+1,6F+0,8Raf)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de frenado (F)	4721,12	N
Carga de resistecia aerodinámica (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
1,6F	7553,79	en todos los parantes
0,8Raf	2484,02	Frente

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 50 y Figura**

51):

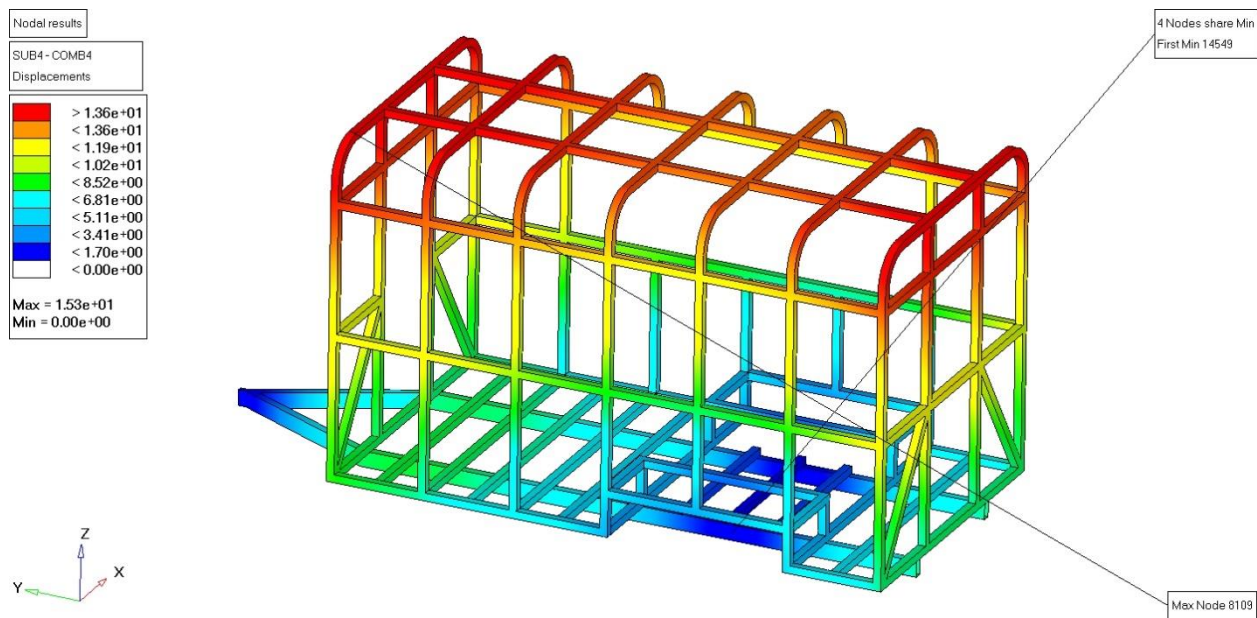


Figura 50. Resultado de la deformación aplicadas las combinaciones del Caso 4

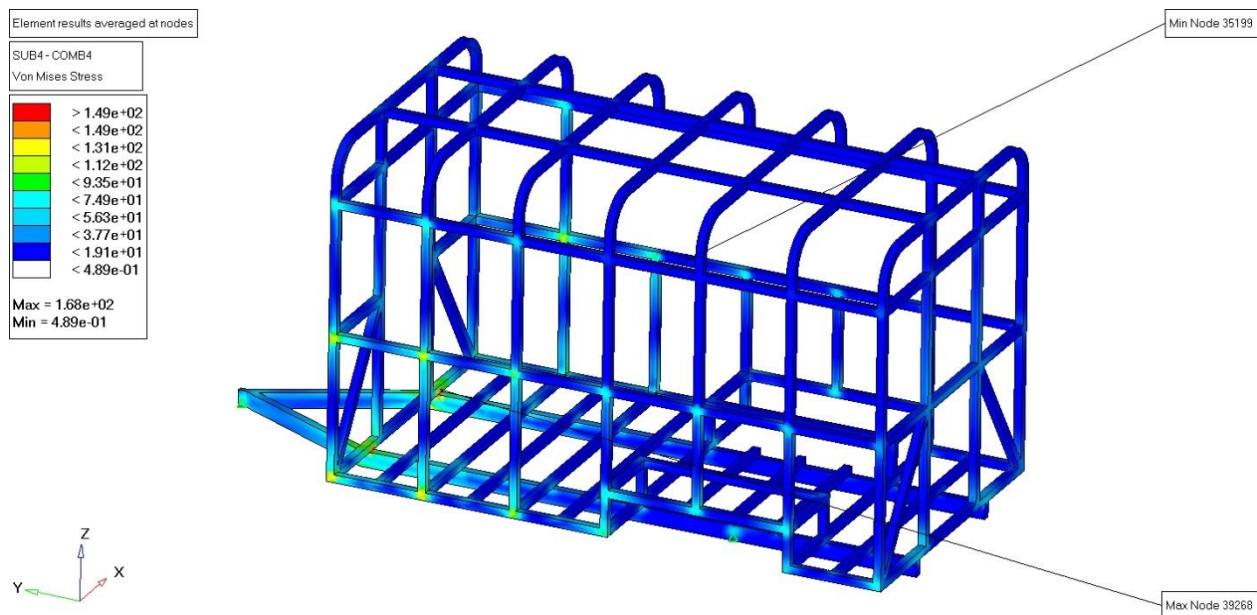


Figura 51. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 4

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 18

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 4

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
4	1.2 M + 1.6 F + 0.8 Raf	4600	19,16	15,30	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 52**.

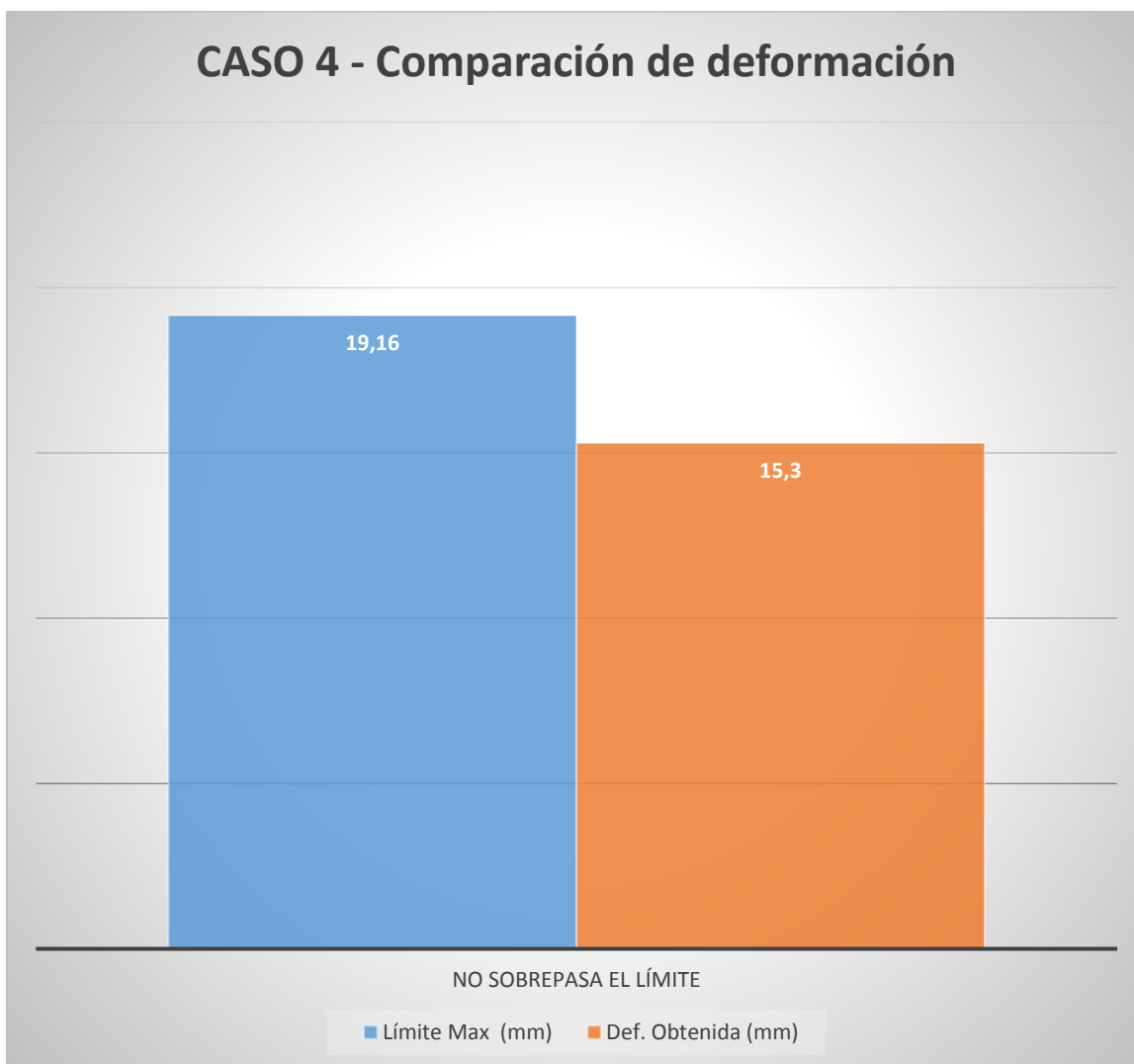


Figura 52. Resultado gráfico de la deformación

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 5 – Cargas de $1.2M+0.5V+0.5F+1.3Raf$

Este caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso, el frente y en todos los parantes del Food Truck, con diferentes factores respecto del caso inmediato anterior (**Figura 53**).

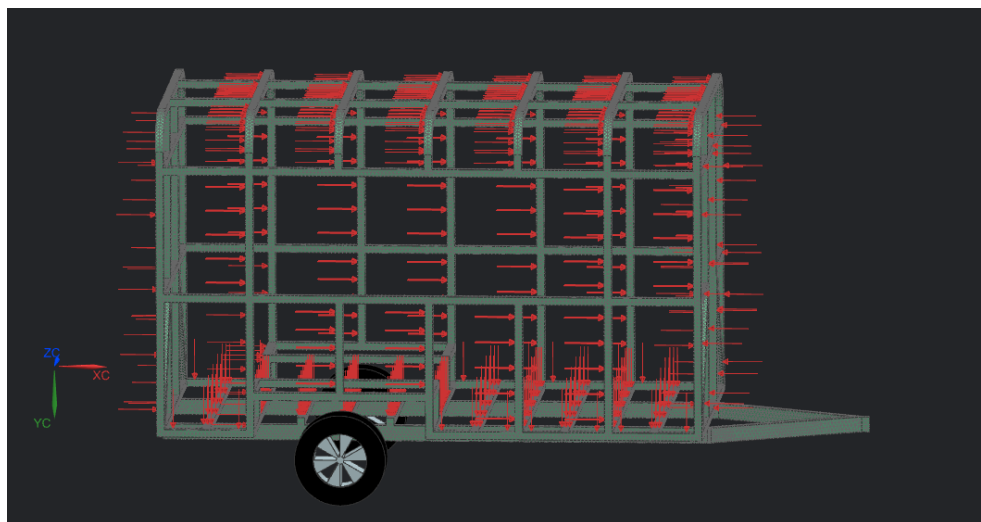


Figura 53. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 5 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 5 se reflejan en Tabla 19 y los resultados en Tabla 20.

Tabla 19

Valores de cargas para el CASO 5 ($1,2M+0,5V+0,5F+1,3Raf$)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N
Carga de frenado (F)	4721,12	N
Carga de resistencia aerodinámica (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
0,5V	1374,80	Piso
0,5F	2360,56	en todos los parantes
1,3Raf	4036,53	Frente

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 54 y Figura**

55):

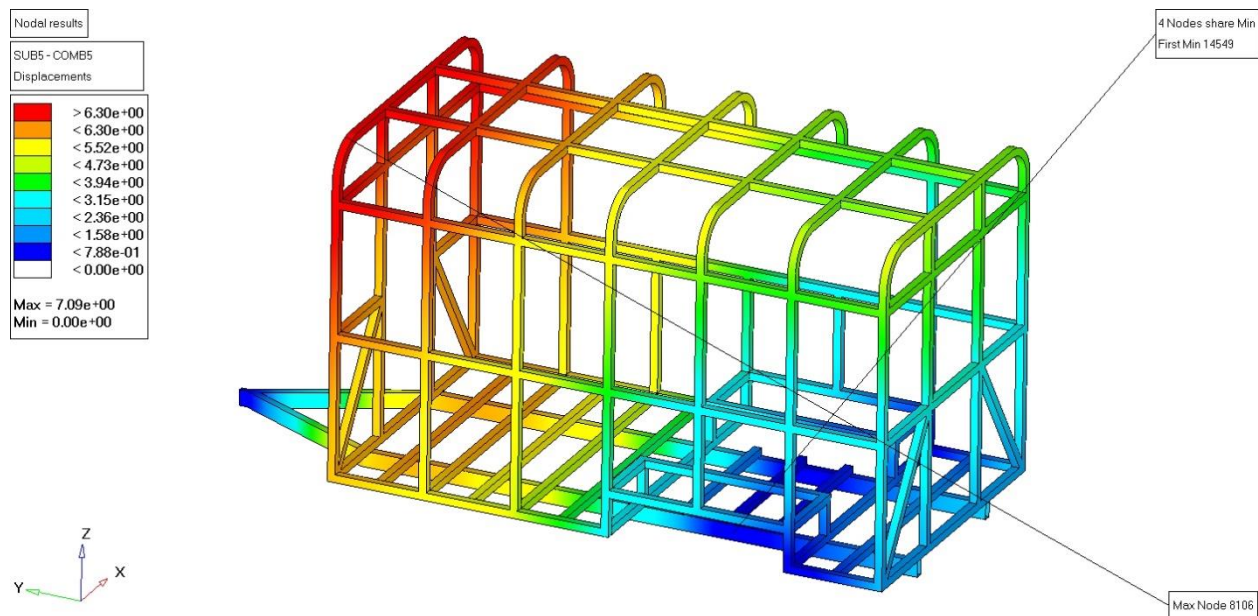


Figura 54. Resultado de la deformación aplicada a las combinaciones del Caso 5

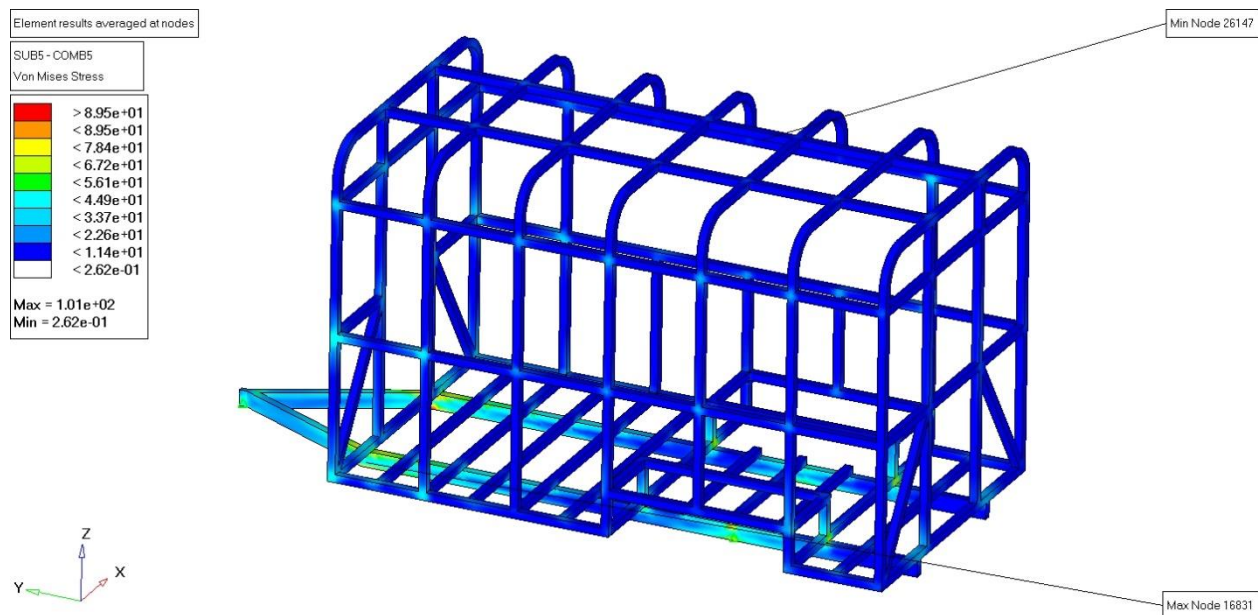


Figura 55. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 5

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 20

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 5

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
5	1.2 M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 Raf	4600	19,16	7,09	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 56**.

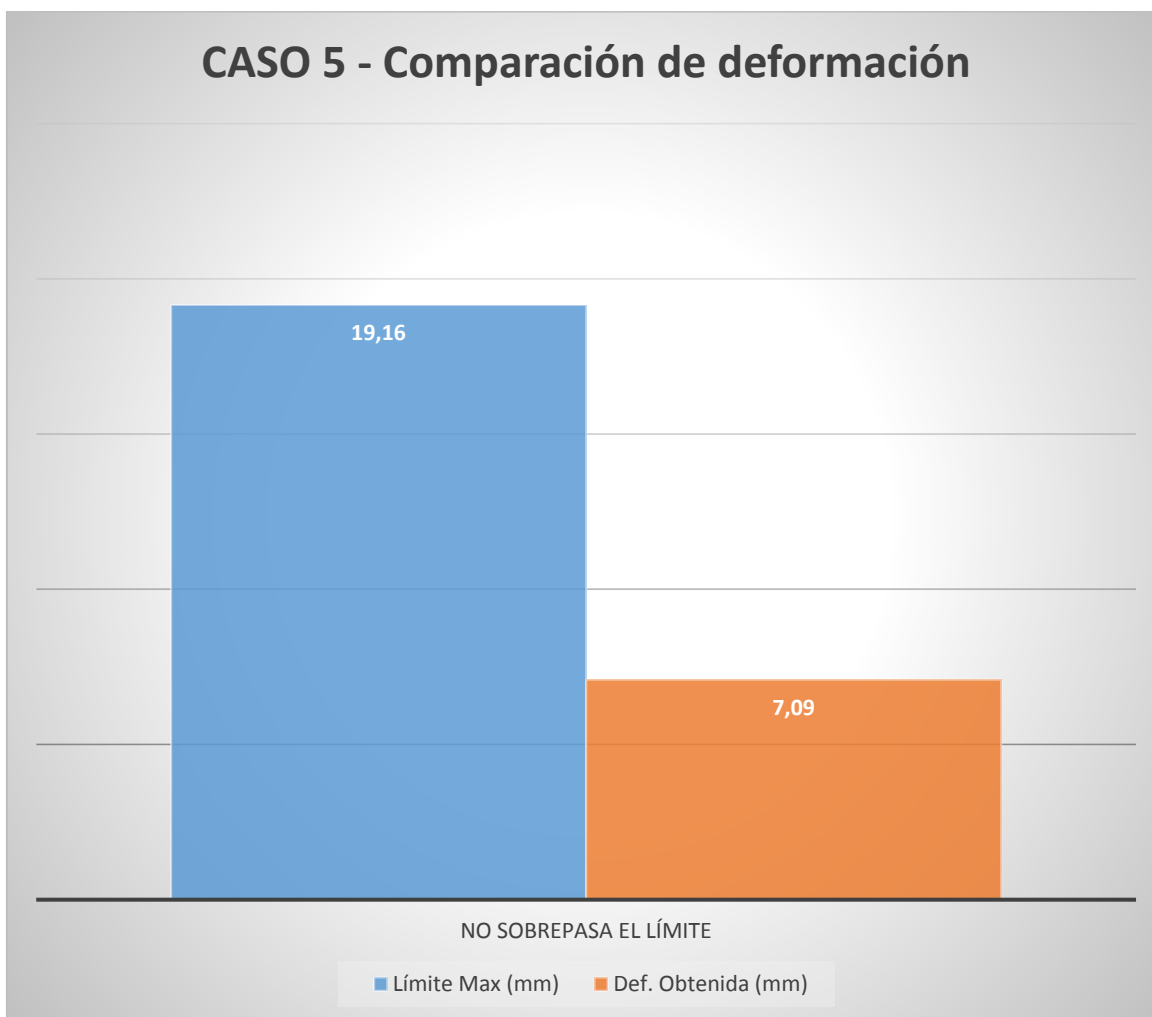


Figura 56. Resultado gráfico de la deformación

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 6 – Cargas de 1.2M+1.5Ab+0.5V

Este caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso y en todos los parantes del Food Truck (Figura 57).



Figura 57. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 6 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 6 se reflejan en la Tabla 21 y los resultados en la Tabla 22.

Tabla 21

Valores de cargas para el CASO 6 (1,2M+1,5Ab+0,5V)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de aceleración brusca (Ab)	4721,12	N
Carga viva (V)	2749,60	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
1,5Ab	7081,68	en todos los parantes
0,5V	1374,80	Piso

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 58 y Figura 59**):

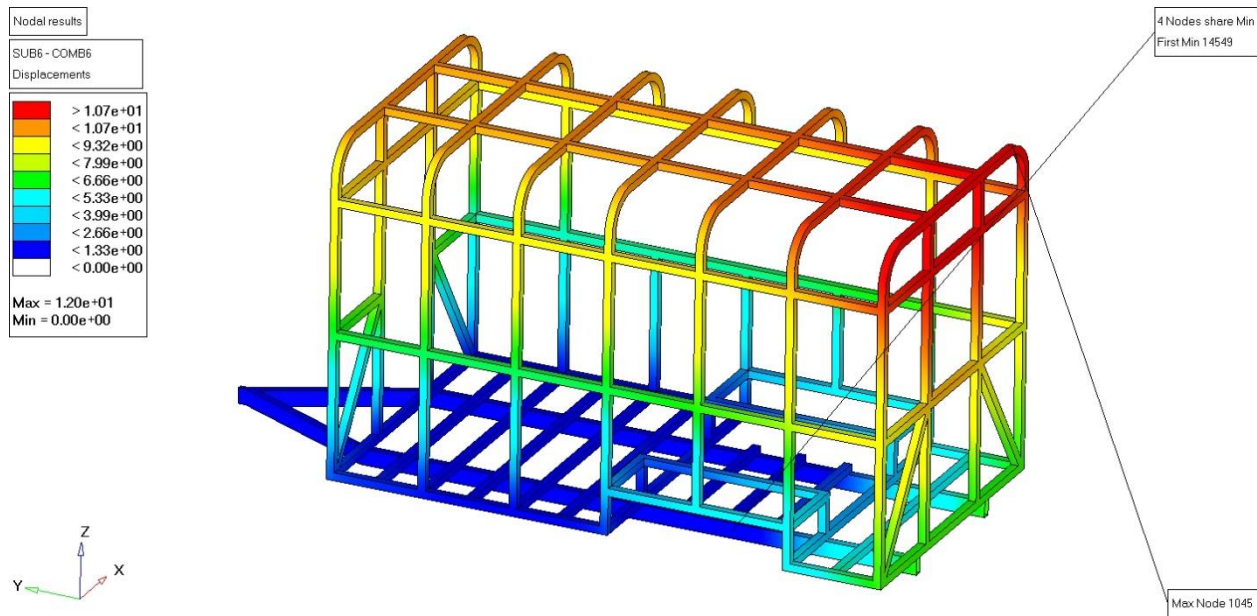


Figura 58. Resultado de la deformación aplicada a las combinaciones del Caso 6

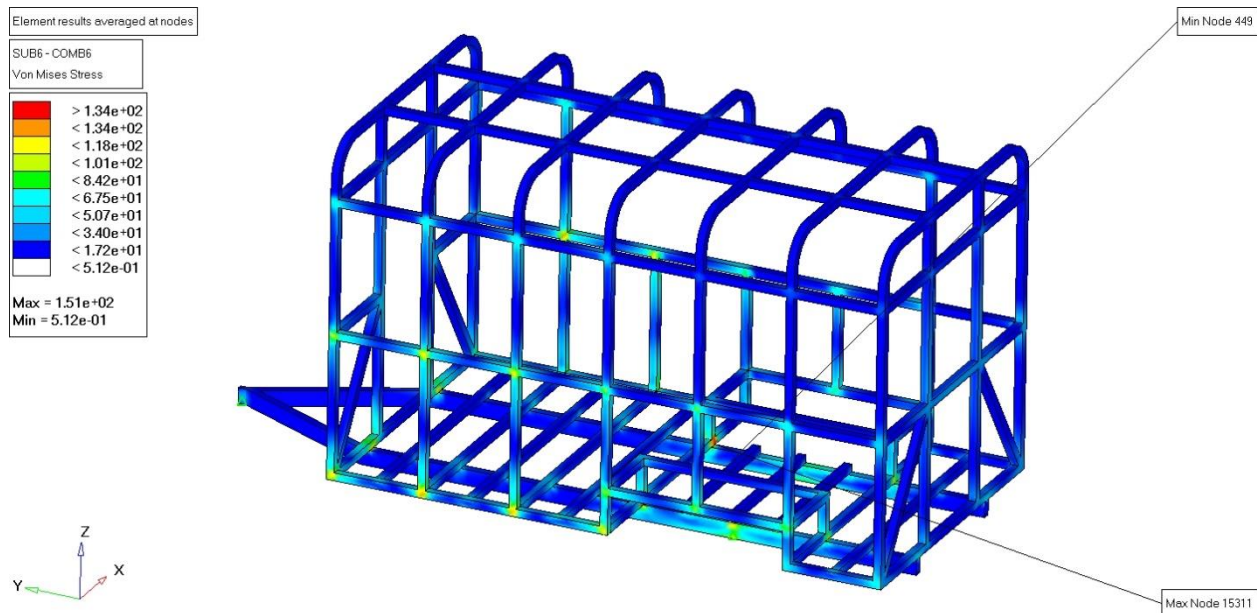


Figura 59. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 6

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 22

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 6

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
6	1.2 M + 1.5 Ab + 0.5 V	4600	19,16	12,00	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 60**.

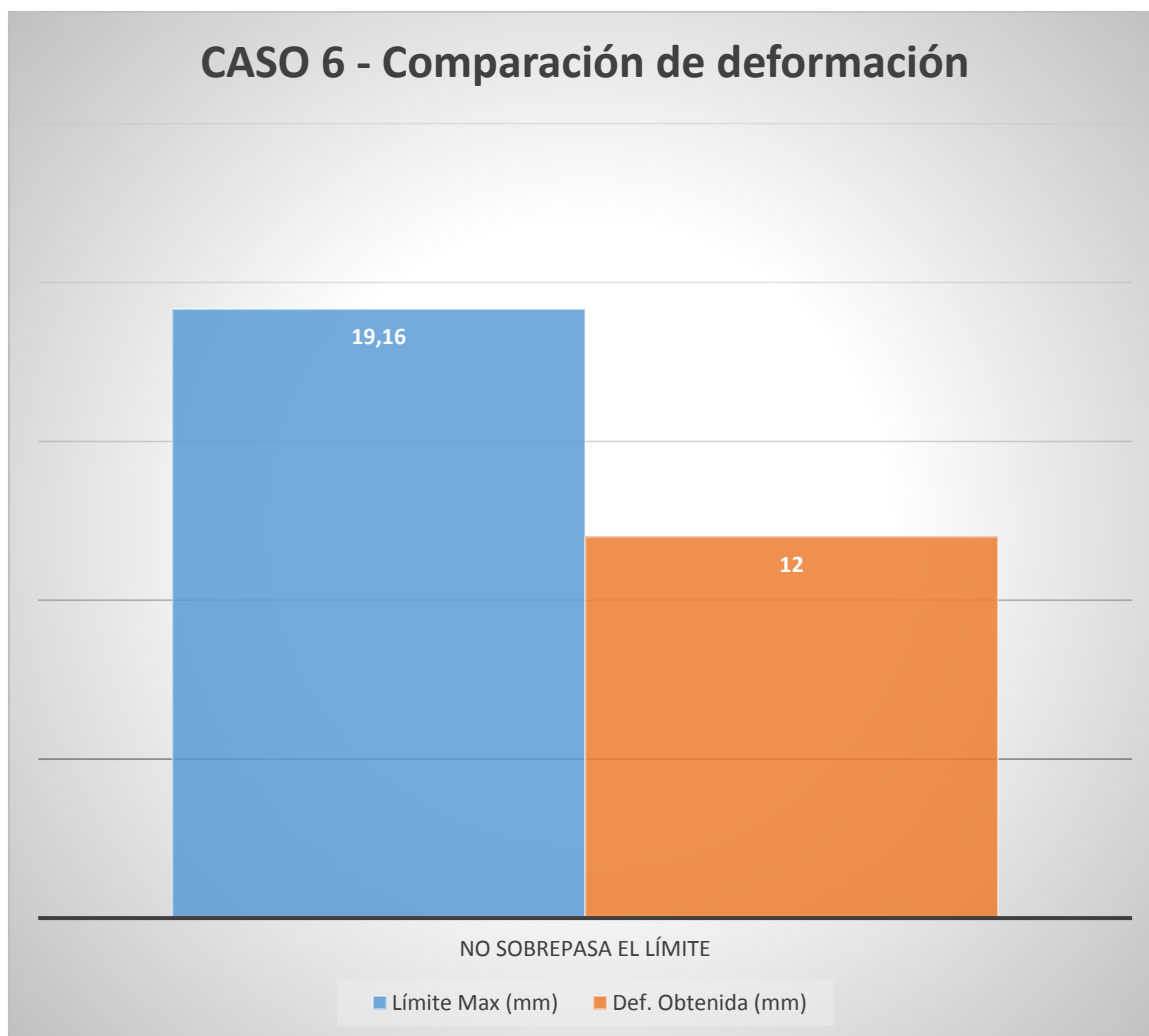


Figura 60. Resultado gráfico de la deformación

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 7 – Cargas de 0.9M-1.3Raf

Este caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso, la parte posterior del Food Truck (**Figura 61**).



Figura 61. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 7 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 7 se reflejan en la Tabla 23 y los resultados en la Tabla 24.

Tabla 23

Valores de cargas para el CASO 7 (0,9M-1,3Raf)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de aceleración brusca (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
0,9M	7946,10	Piso
- 1,3Raf	-4036,53	Parte posterior

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 62 y Figura**

63):

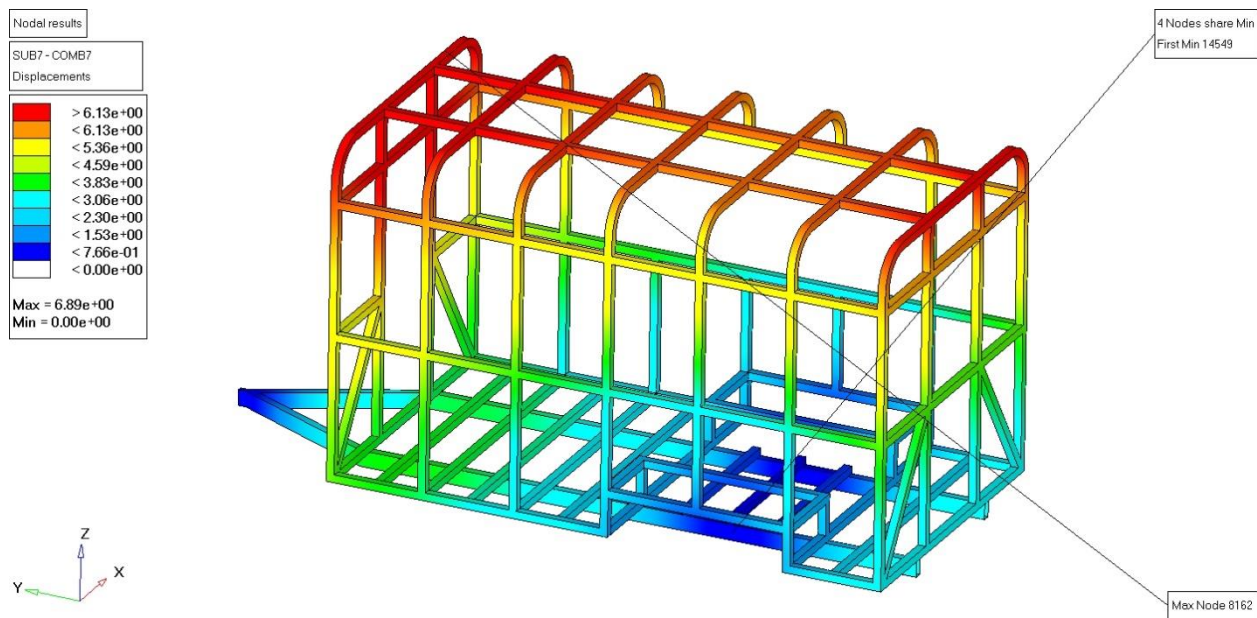


Figura 62. Resultado de la deformación aplicada a las combinaciones del Caso 7

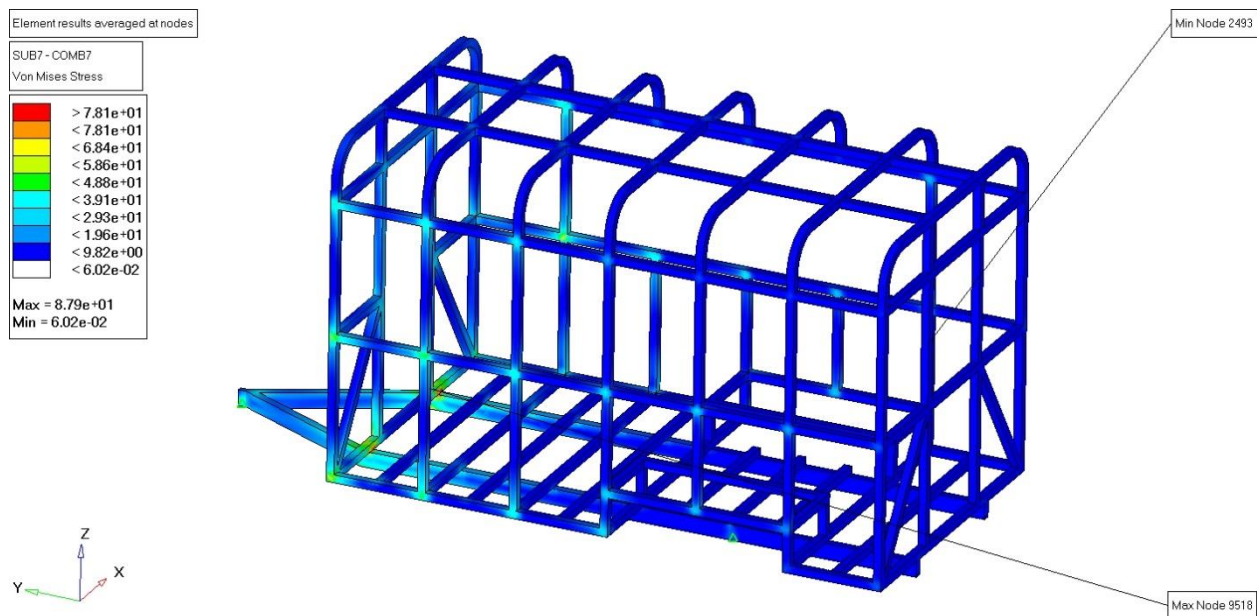


Figura 63. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 7

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 24

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 7

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
7	0.9 M – 1.3 Raf	4600	19,16	6,89	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 64**.

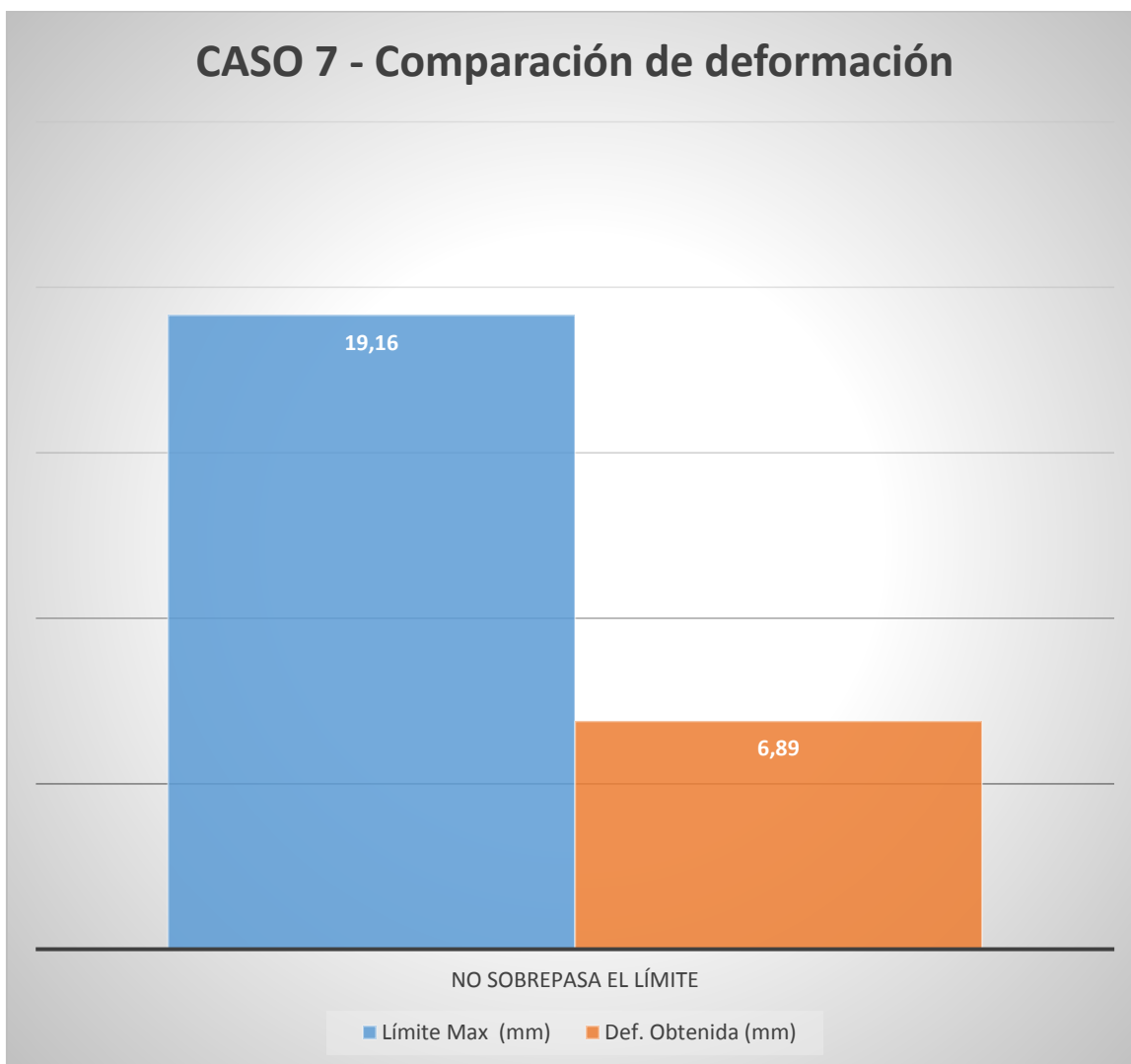


Figura 64. Resultado gráfico de la deformación

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 8 – Cargas de 0.9M+1.3Raf

Este caso se desarrolla al aplicar cargas establecidas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 sobre el piso, el frente del Food Truck (**Figura 65**).

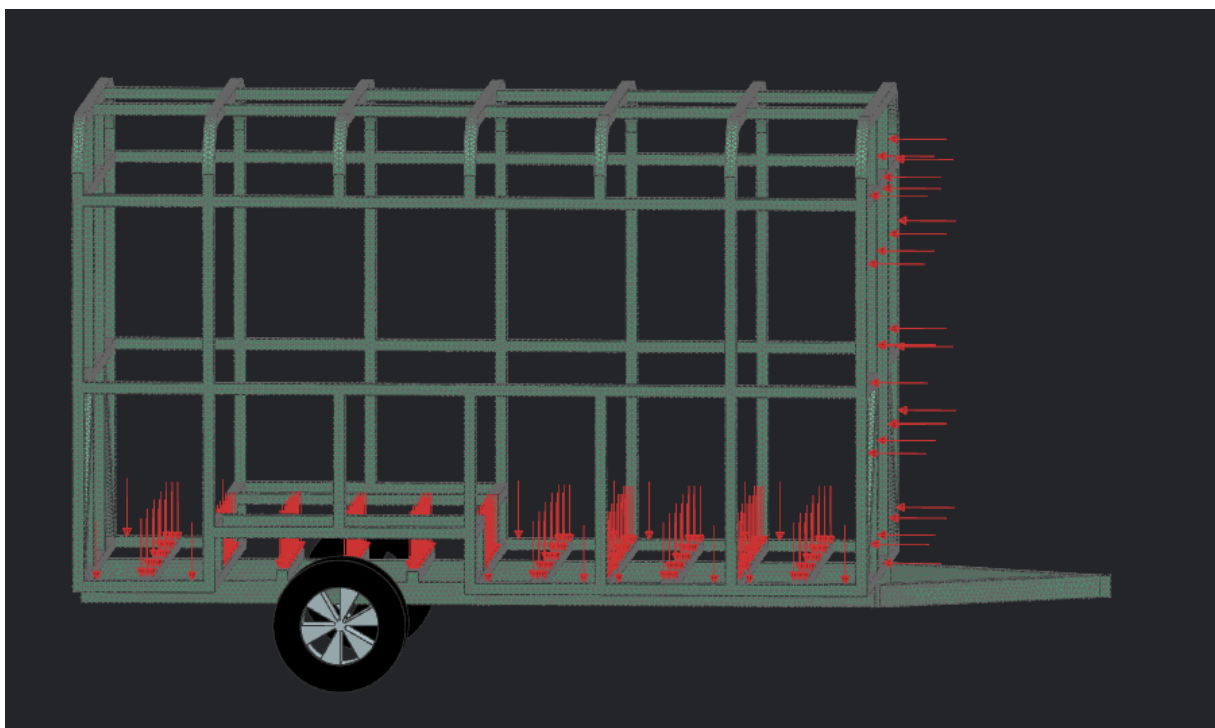


Figura 65. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 1 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los valores cargados al software para la simulación de los efectos que producen sobre la estructura la aplicación de esta combinación de fuerzas del caso 8 se reflejan en la Tabla 25 y los resultados en la Tabla 26.

Tabla 25

Valores de cargas para el CASO 8 (0,9M+1,3Raf)

Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de aceleración brusca (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
0,9M	7946,10	Piso
1,3Raf	4036,53	Frente

Nota: Datos para ingresar en el software

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de este proceso en el software se obtiene lo siguiente (**Figura 66** y **Figura**

67):

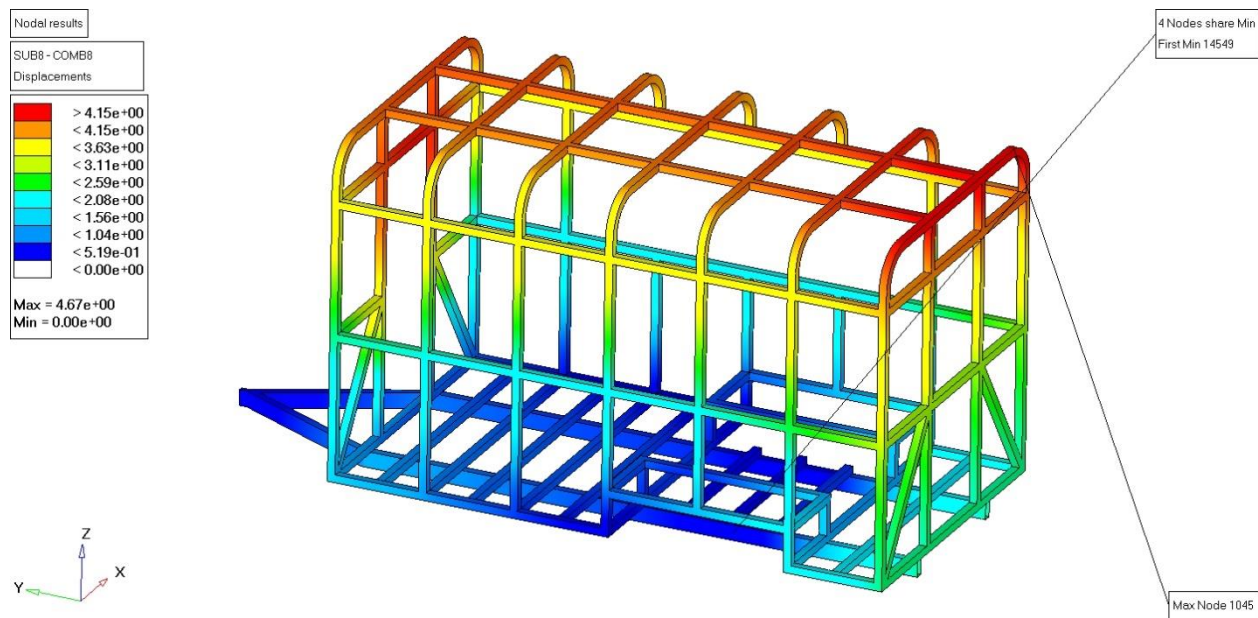


Figura 66. Resultado de la deformación aplicada a las combinaciones del Caso 8

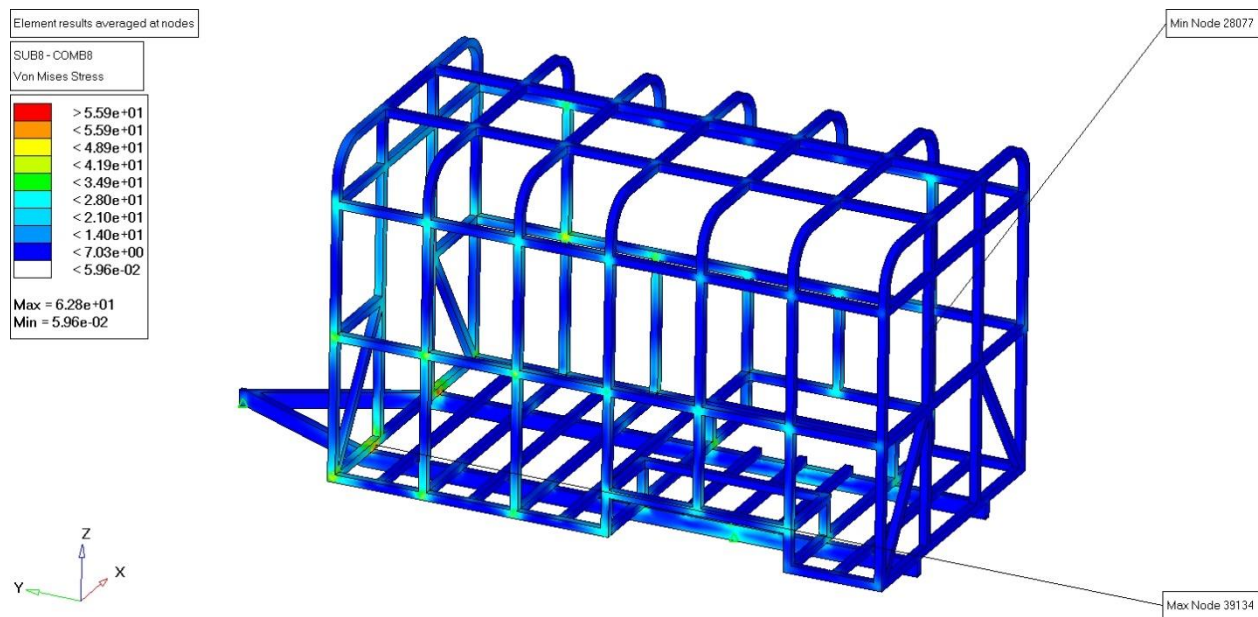


Figura 67. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la combinación de cargas del Caso 8

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Tabla 26

Resultado de las combinaciones de cargas - CASO 8

CASO	ESPECIFICACIÓN	Long. (mm)	Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre el espacio de supervivencia
8	0.9 M + 1.3 Raf	4600	19,16	4,67	Positivo

Nota: Tomado de la norma NTE INEN 1323:2009 y modificado según valores obtenidos en este estudio

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso de genera la **Figura 68**.

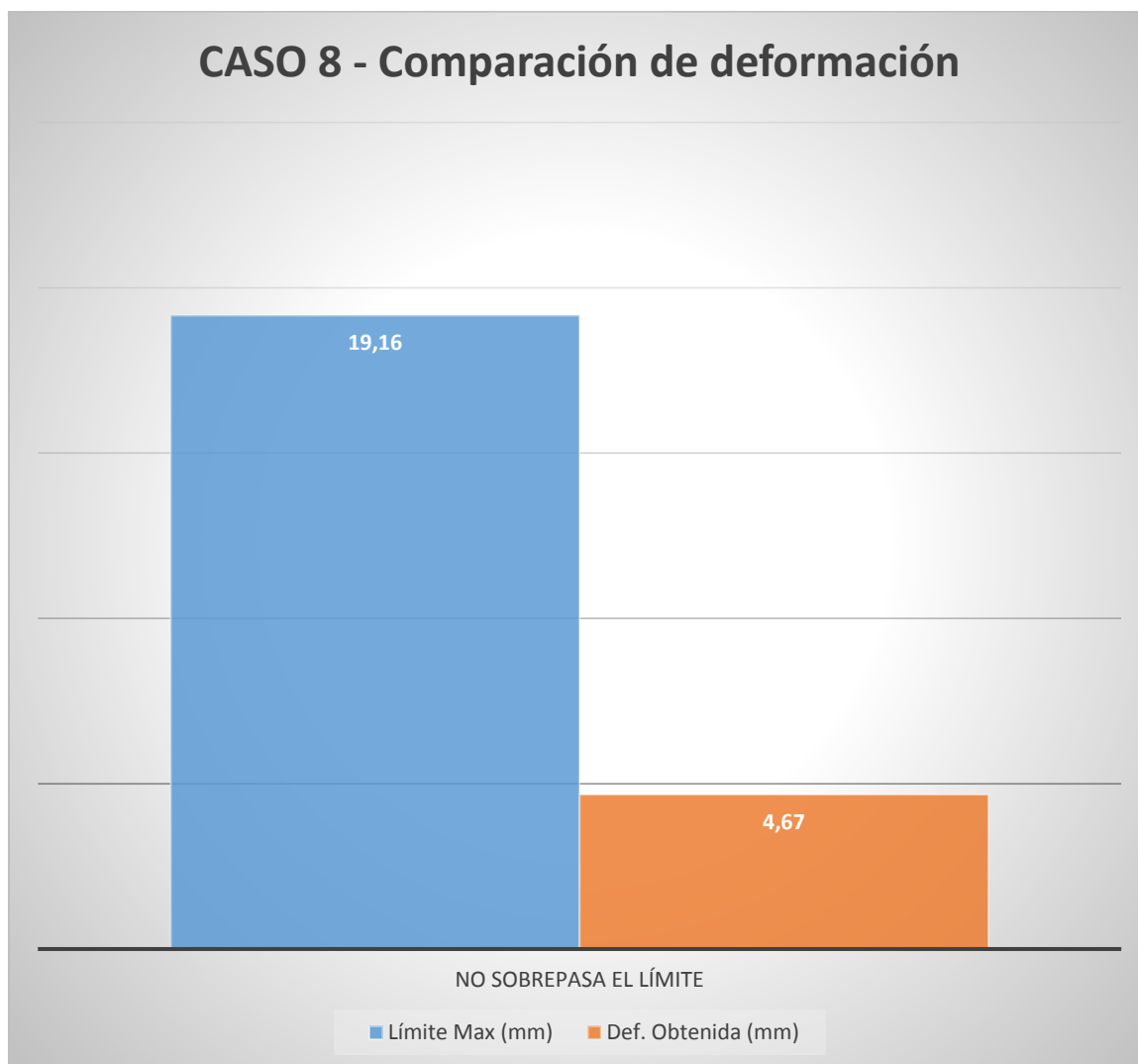


Figura 68. Resultado gráfico de la deformación

Caso 9 – Carga en techo

La estructura debe resistir una carga estática ubicada a lo largo del techo que sea la mitad de la carga aplicada en el piso y bastidor como lo indica la norma NTE INEN 1323:2009 (Figura 69).

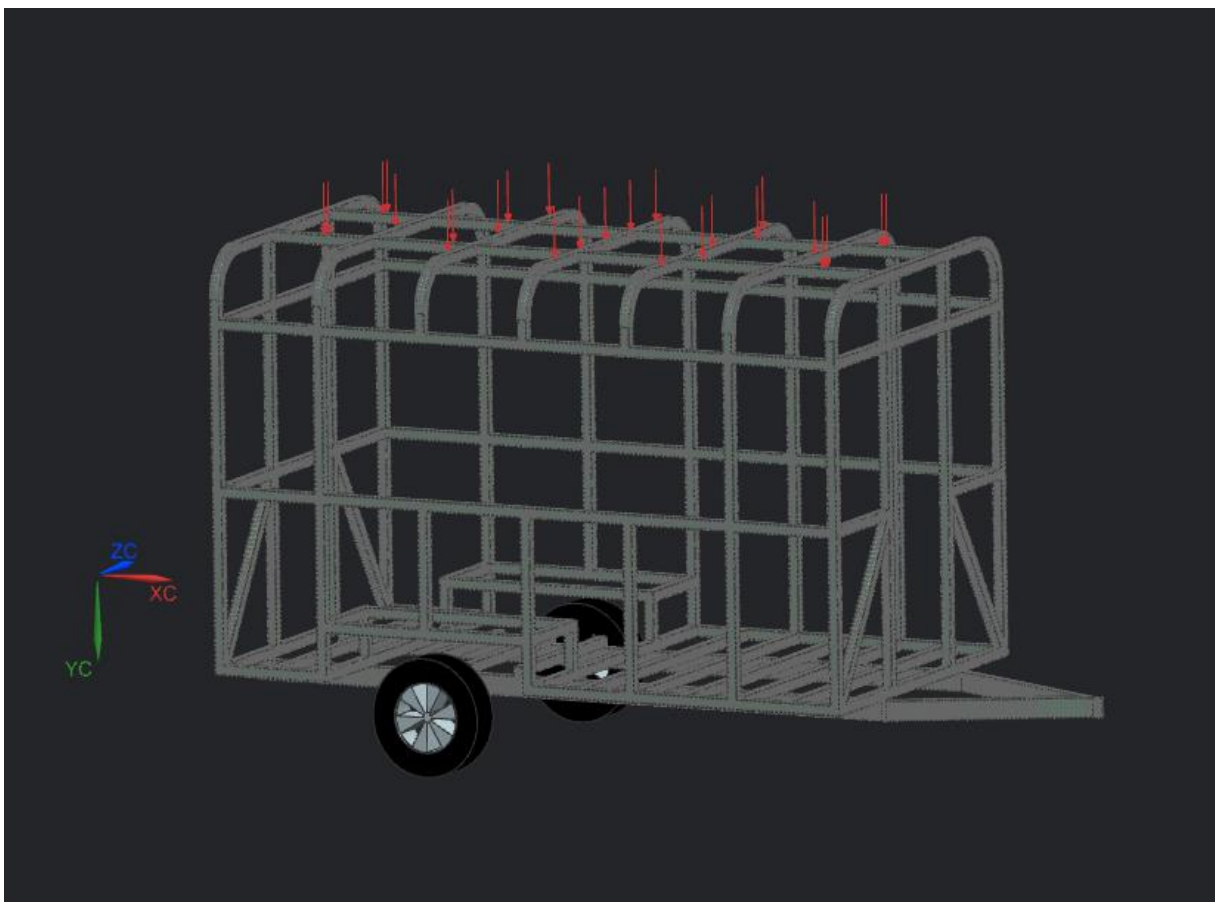


Figura 69. Visualización de la aplicación de la carga para el caso 9 según la norma NTE INEN 1323:2009

Al analizar el caso de cargas sobre techo se observa que en lado donde se ubicará la ventana soporta mayor esfuerzo por tener un sector sin parantes, esto aumenta la distribución de esfuerzos a lo largo de todos los elementos circundantes (**Figura 70** y **Figura 71**).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

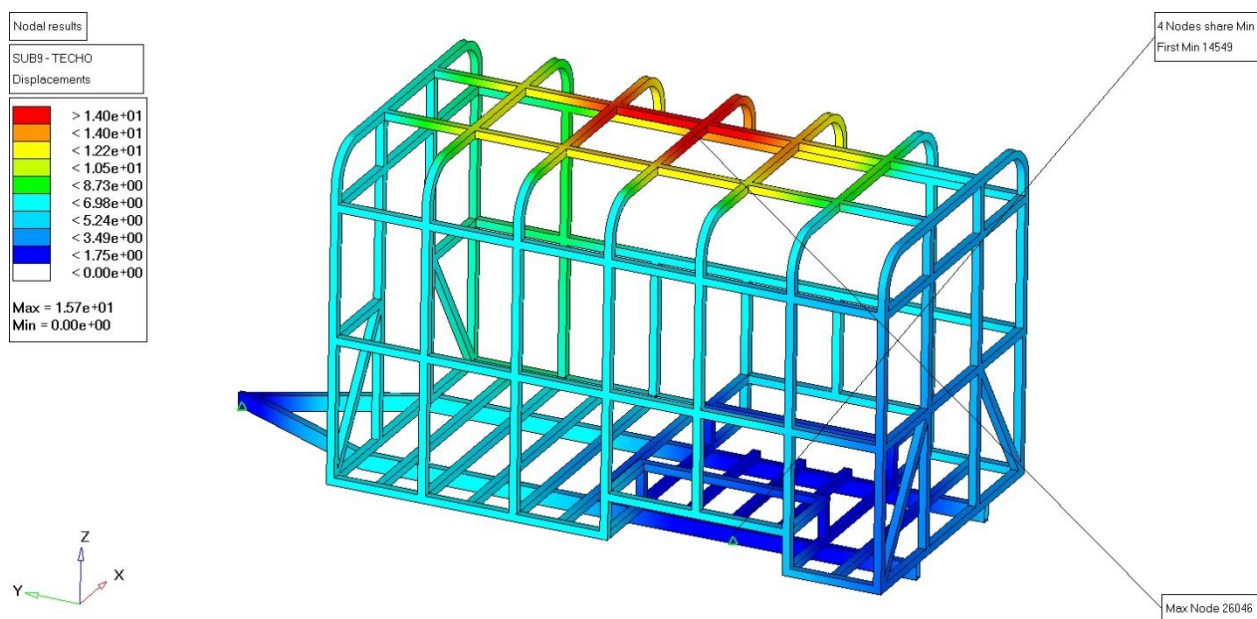


Figura 70. Resultado de la deformación aplicada la carga sobre el techo Caso 9

La resistencia estructural, carga estática sobre el techo NTE INEN 1323:2009 5.1.5.1

- La deformación máxima permisible por norma es de 70 mm
- En el análisis simulado se indica que no supera los 37.80 mm
- La estructura pasa la prueba

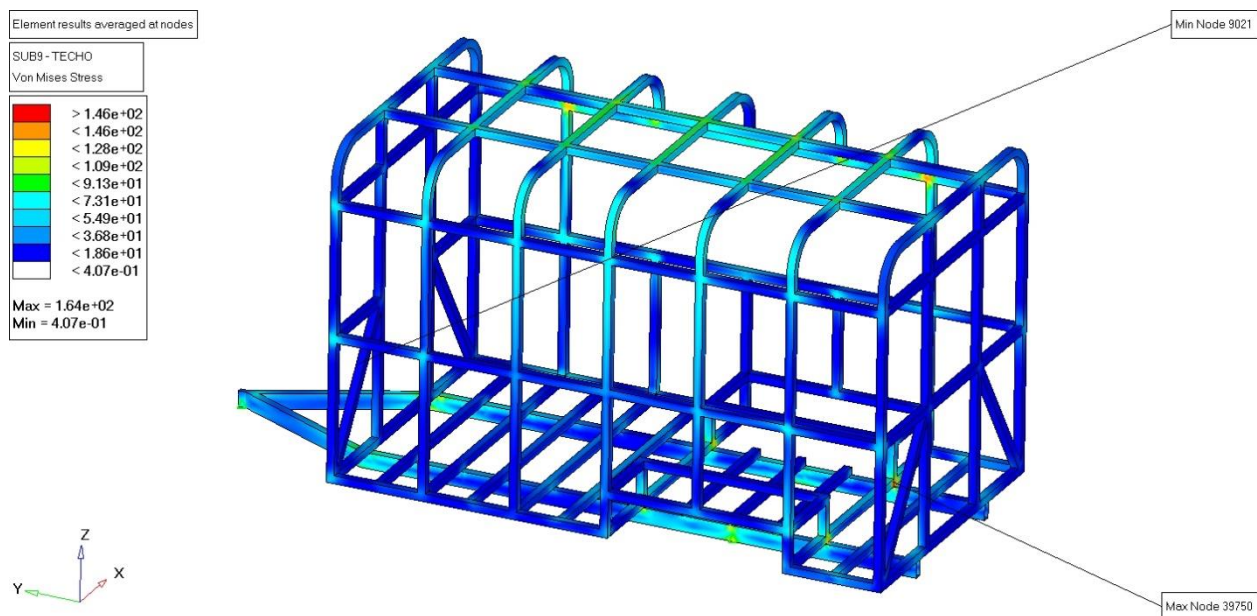


Figura 71. Resultado de los esfuerzos generados en la estructura por la aplicación de carga en el techo para el Caso 9

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

La estructura bajo cargas en el techo conforme a norma, está sometida en su totalidad a soportar variaciones de acuerdo al lugar donde se analice, este concepto es ilustrado en el gráfico de Von Misses que es este caso no supera los límites de fluencia de los materiales usados.

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso se genera la **Figura 72**.

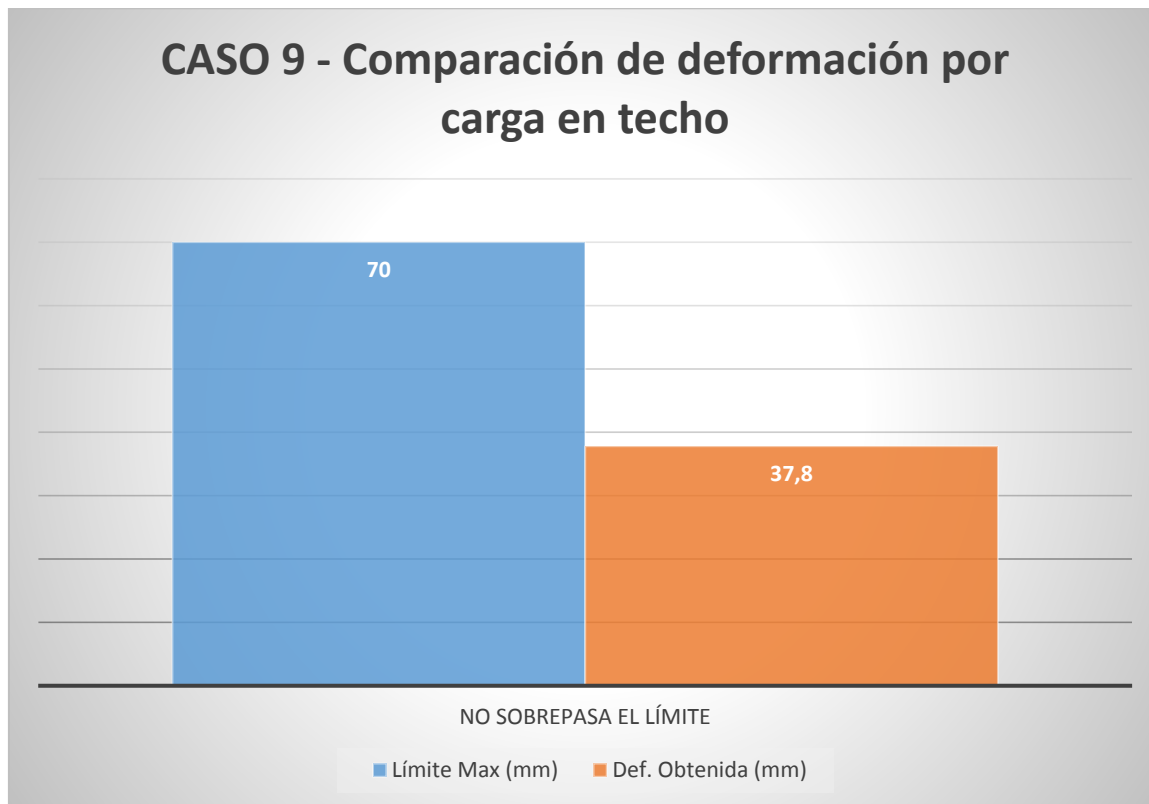


Figura 72. Resultado gráfico de la deformación

Caso 10 – Volteo

Para este caso se resuelve aplicando la Regulación No. 66 Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure (Disposiciones uniformes que prevén la homologación de los vehículos de gran porte en lo que se refiere a la resistencia de su superestructura) donde estipula un procedimiento para la prueba de volteo en el que indica que la estructura debe voltearse girando en su llanta y caer una altura de 800mm (**Figura 73** y **Figura 74**).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

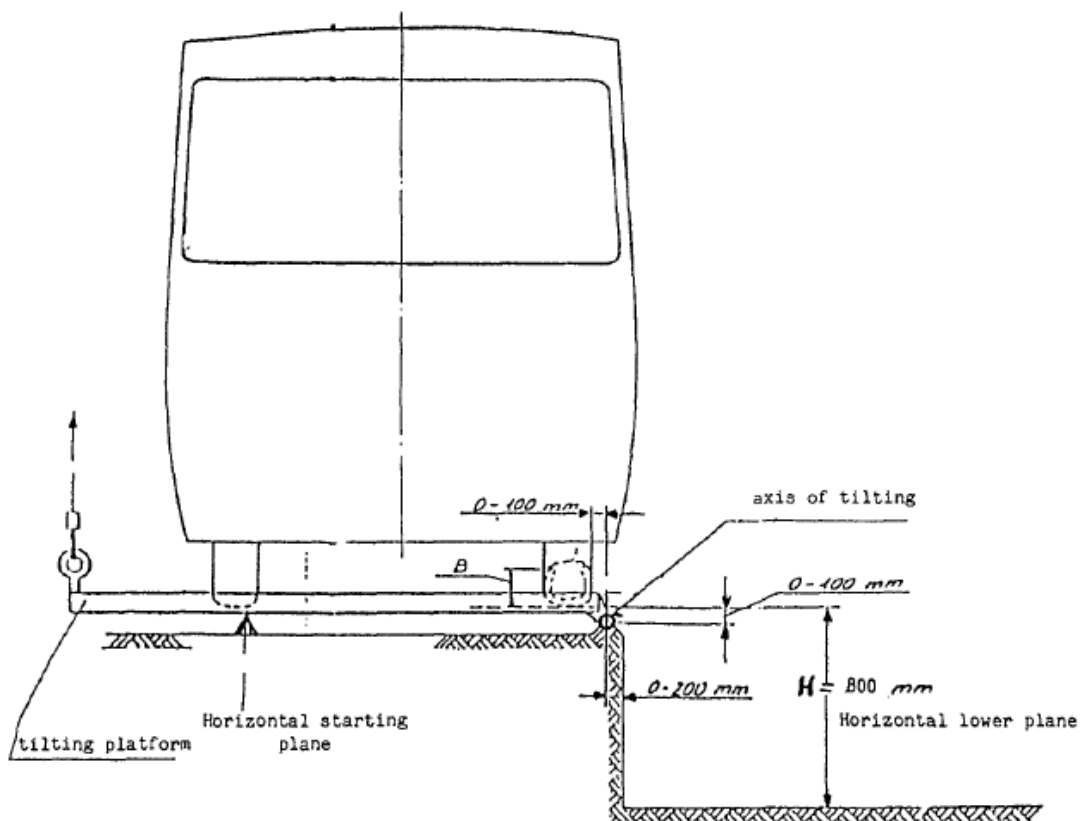


Figura 73. Detalle de los parámetros tomados para la simulación tomado de la Regulación No. 66 *Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure*

Time = 42.998
 Contours of Effective Stress (v-m)
 max IP. value
 min=0, at elem# 836621
 max=0.228089, at elem# 871871

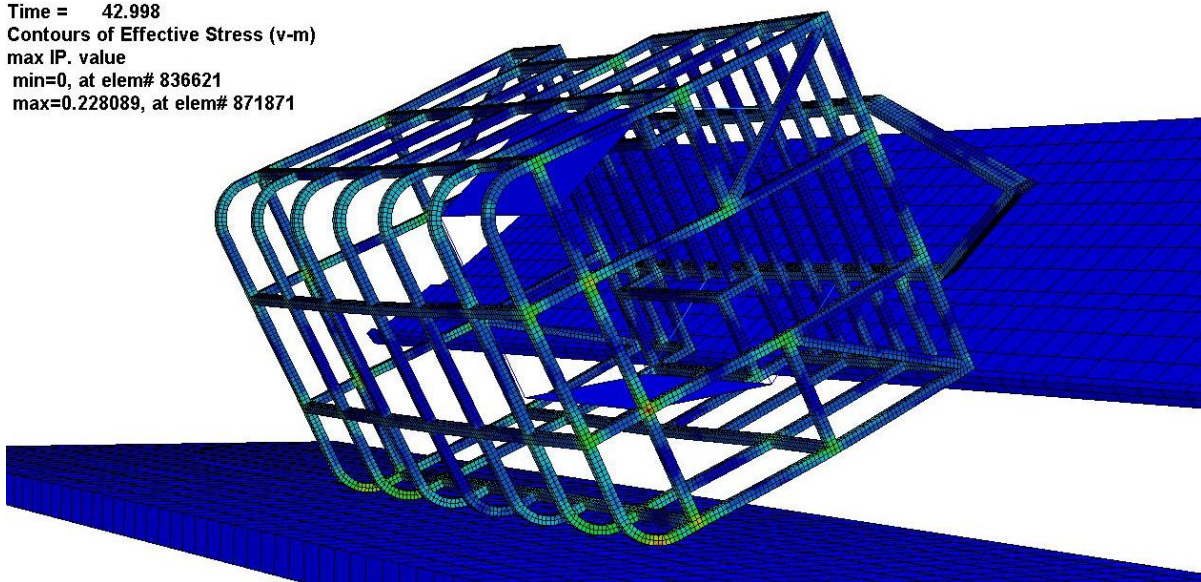


Figura 74. Visualización de la aplicación del volteo para el caso 9 del método LRFD NTE INEN 1323:2009

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Como resultado de la prueba se tiene que se genera un esfuerzo máximo sobre la estructura de 0.22 MPa. Lo que al comparar con la resistencia última a la tracción de los materiales usados que en este caso es de 400MPa se deduce que ninguna parte de la estructura se vería afectada.

En esta simulación se pudo constatar que el esfuerzo producido en la estructura no produce deformación alguna que sobrepase el espacio de supervivencia asignado al Food Truck. Esto es al voltearse la estructura se produce 0.228 MPa de esfuerzo por tanto no sobrepasa los 400 MPa de resistencia última del material, inclusive no sobrepasa el límite de fluencia de 317 MPa.

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso se genera la **Figura 75**.

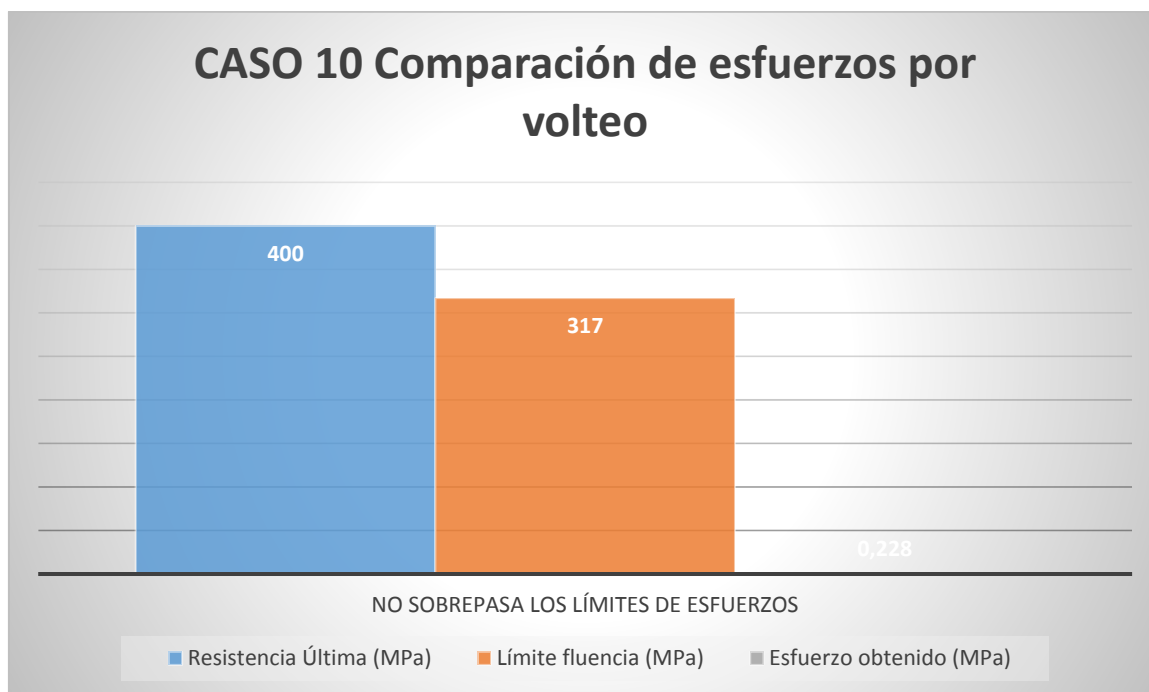


Figura 75. Resultado gráfico de los esfuerzos

En la simulación de prueba de vuelco la zona de supervivencia no fue invadida por lo tanto la estructura pasa la prueba, bajo este aspecto de análisis.

En el programa HyperWorks se realizó el análisis de volteo que constituye un estudio de cargas dinámicas.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Caso 11 – Impacto Lateral

Para la prueba de impacto lateral se recurre a la parte pertinente del Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral, puesto que esta norma está elaborada para vehículos más no para Food Truck, sin embargo se la toma como referencia y se aplica como indica la **Figura 76**.

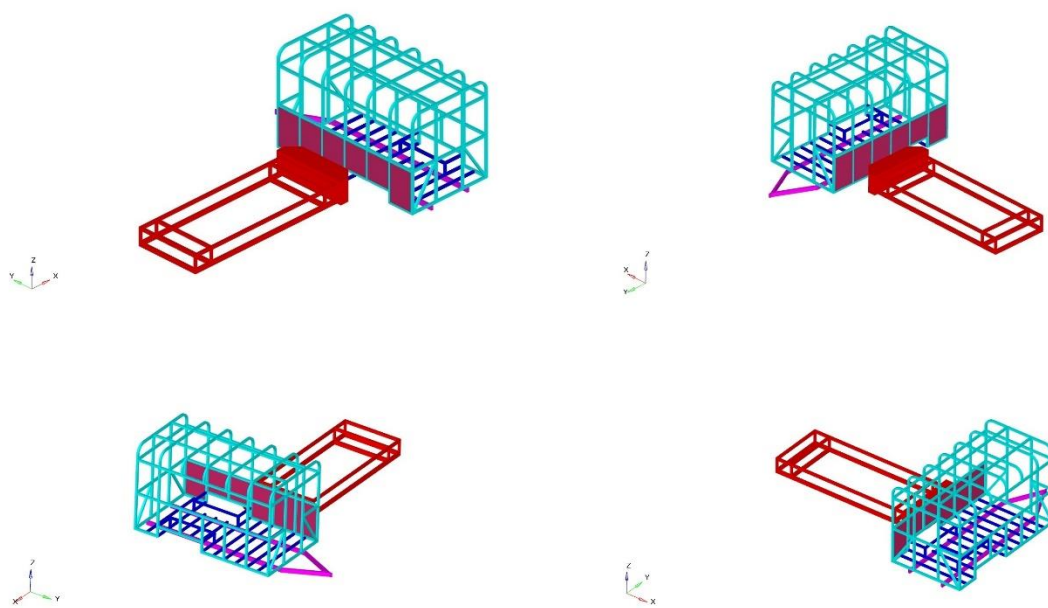


Figura 76. Modelos generados en NX ingresados a HyperWorks bajo formato IGES. Distintas vistas de los modelos de estructura del Food Truck y de la barrera de impacto móvil

La estructura en simulación de impacto lateral muestra una deformación máxima de 546mm lo que indica que no invade el espacio de supervivencia y en escenarios de impacto la estructura presenta las condiciones necesarias para la seguridad de las personas que se encuentren en su interior.

De igual manera se realizó la simulación de impacto bajo los parámetros establecidos en lo pertinente del Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral. Donde se establece que el objeto de estudio en este caso el Food Truck, tiene que ser impactado a 50 Km/h por una barrera móvil de 1500 Kg en la parte lateral arriba indicada, con medidas de la barrera establecidas también bajo norma (**Figura 77**).

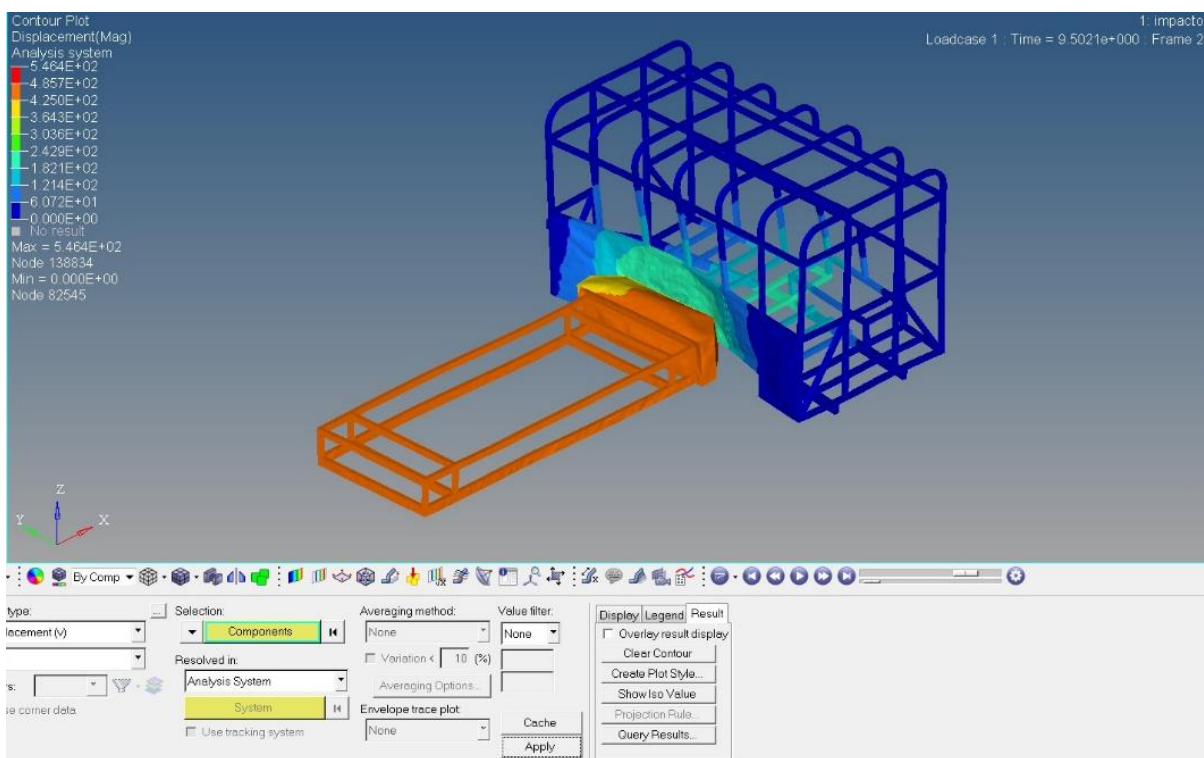


Figura 77. Visualización de la aplicación del impacto para el caso 10 conforme al Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral

El proceso de impacto lateral se lo realizó con una duración de 150ms de tiempo, aunque para el análisis matemático se tomó solo los primeros 20 ms para evaluar con mayor cercanía a la realidad de valores de las fuerzas generadas en un impacto (**Figura 78, Figura 79, Figura 80 y Figura 81**).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

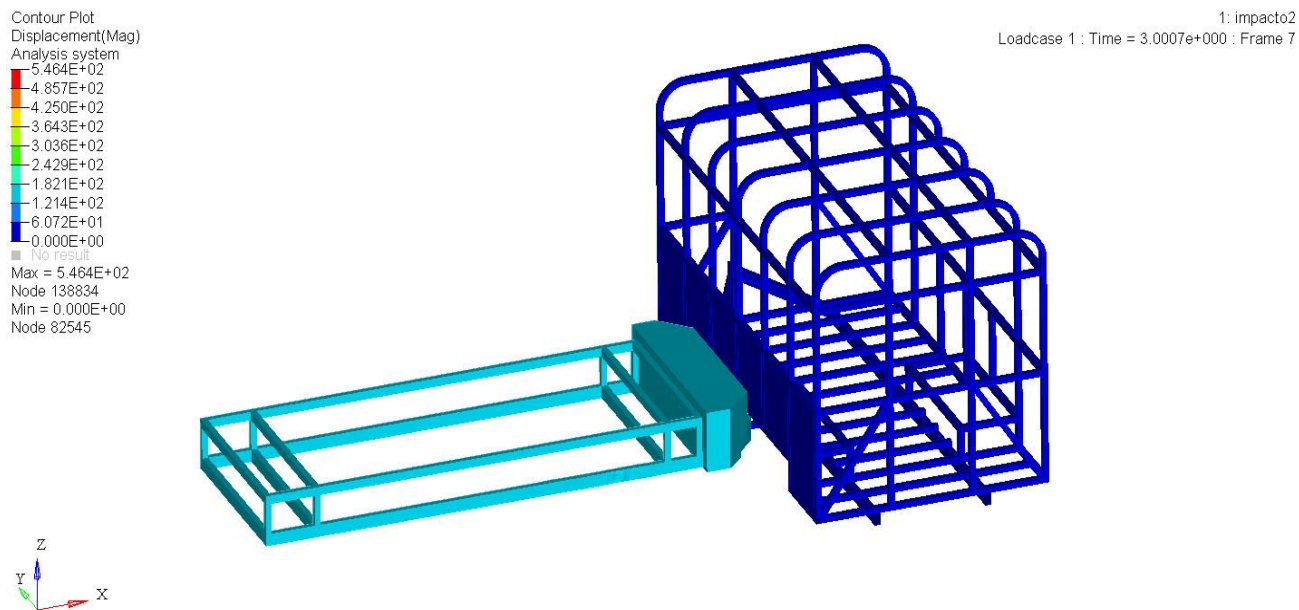


Figura 78. Proceso de simulación del impacto de la barrera móvil sobre la estructura del *Food Truck*

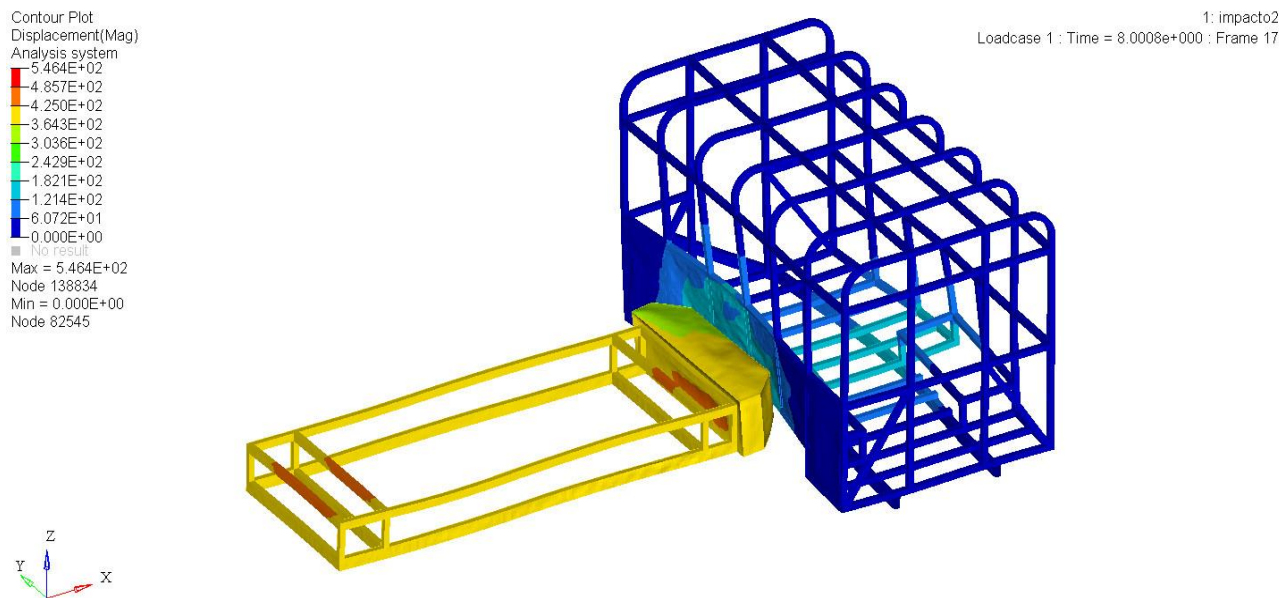


Figura 79. Proceso de simulación del impacto de la barrera móvil sobre la estructura del *Food Truck*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

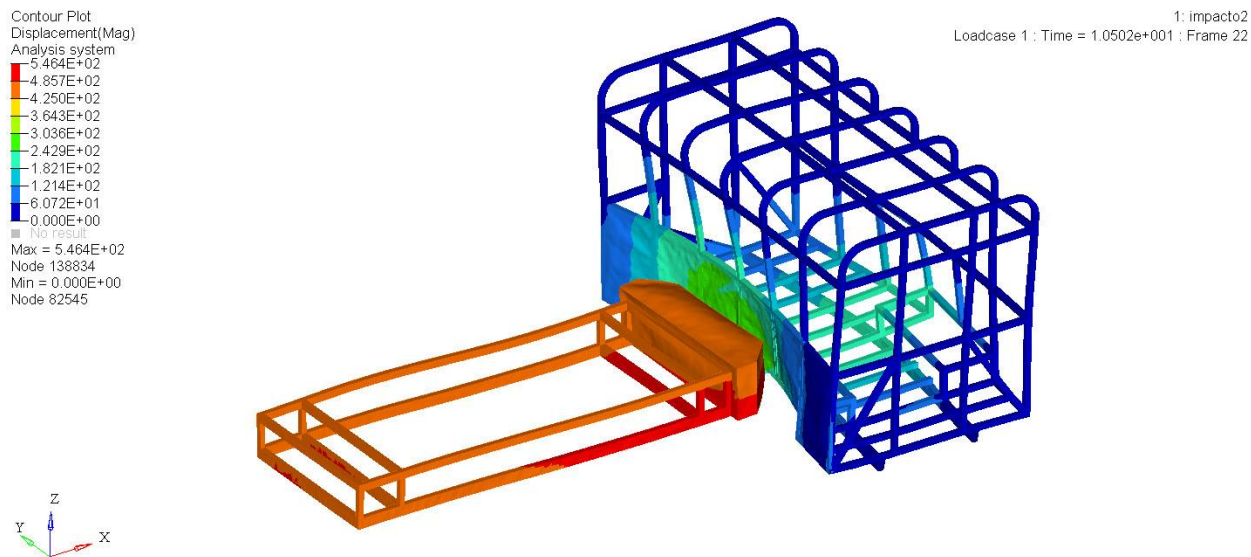


Figura 80. Proceso de simulación del impacto de la barrera móvil sobre la estructura del *Food Truck*

La estructura en la parte impactada se desplaza 546mm lo que indica que no supera el umbral del espacio de supervivencia.

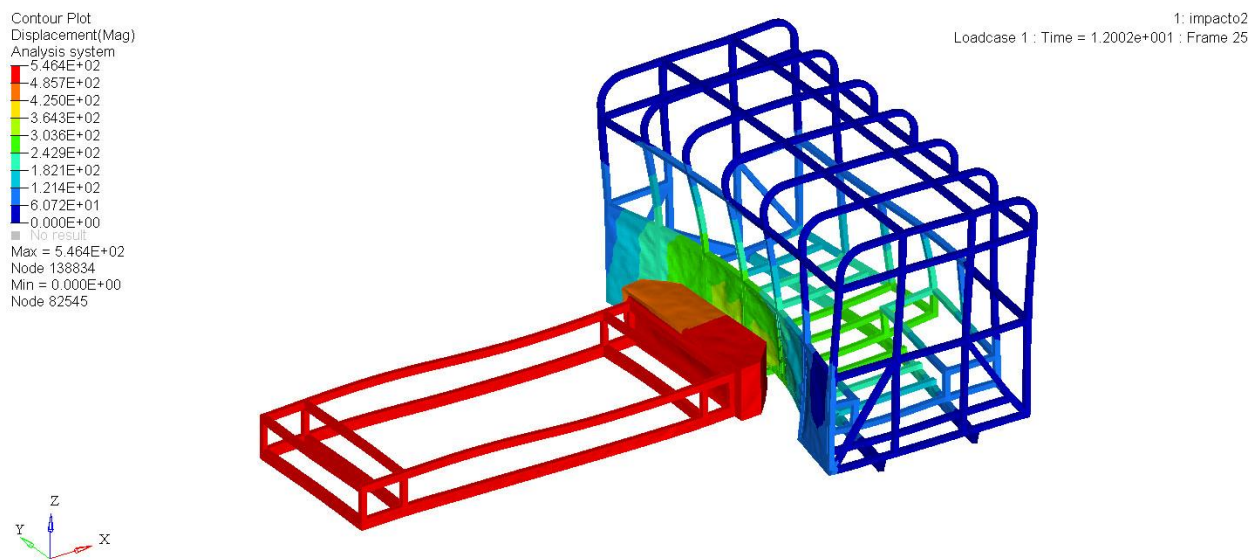


Figura 81. La estructura en la parte impactada se desplaza 546mm

Para visualizar el resultado de la aplicación de cargas del caso se genera la **Figura 82**.

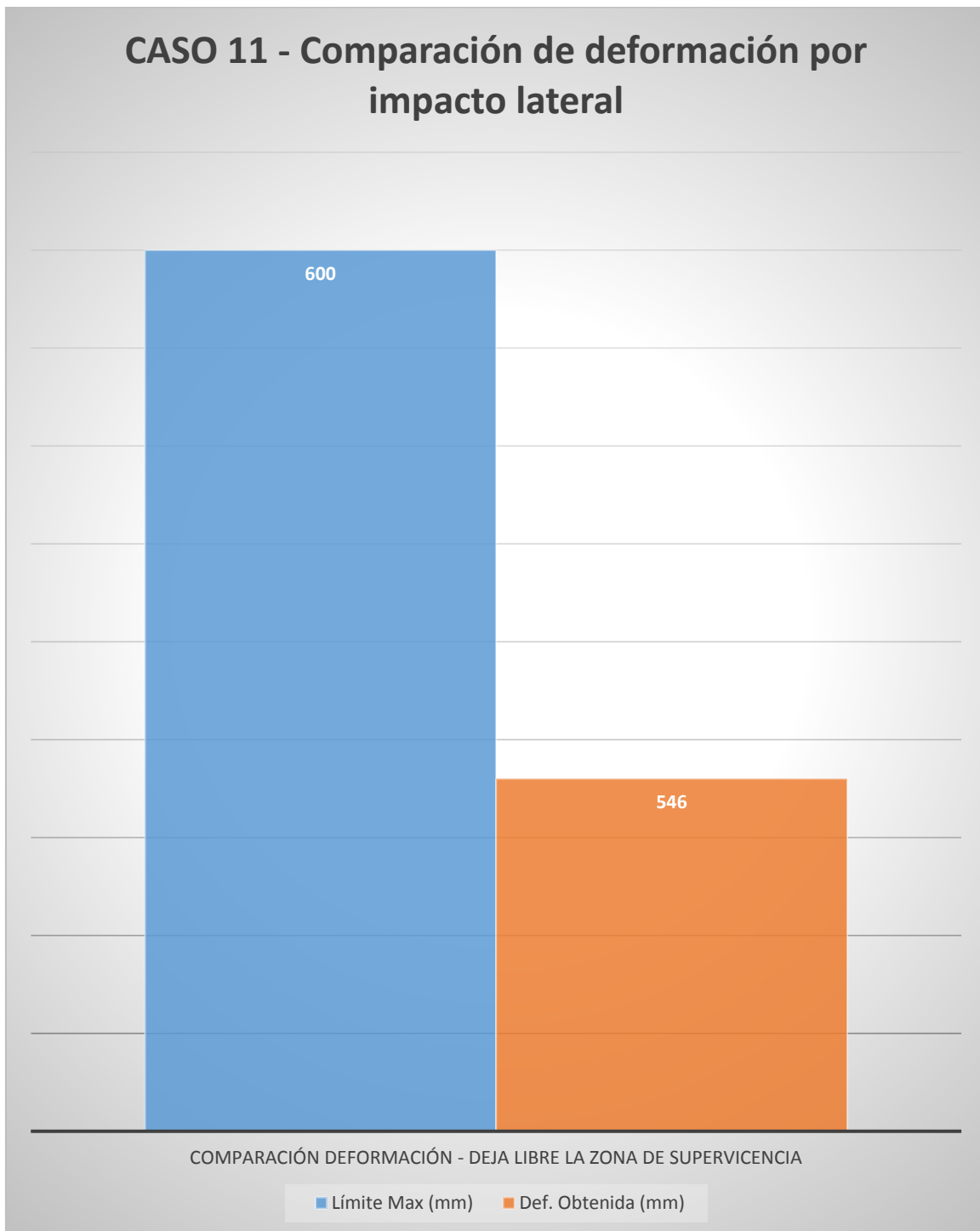


Figura 82. Resultado gráfico de la deformación

DISCUSIÓN

Básicamente el presente estudio al ser el primero de este tipo que se realiza en el Ecuador, no se dispone información con los cuales comparar, pues como se indicó en páginas anteriores, las estructuras se elaboran de manera empírica y artesanal. Además al realizar la investigación de campo siempre existe cierta resistencia a compartir información en cuanto a todo lo que implica en proceso de fabricación, como planos, fotos, materiales, diseños, etc., pues consideran que su experiencia es un secreto profesional y no puede ser compartida hacia la competencia.

Sin embargo en cuanto al análisis de la estructura como tal, se encontró en el artículo *Crash and safety assessment program for paratransit buses* (*International Journal of Impact Engineering*, 2008) que la estructura de un vehículo de transporte de personas llamado en Estados Unidos como *Paratransit Bus* como se indica en la **Figura 83**, fue analizado por el método de elementos finitos como se realizó al modelo de *Food Truck* propuesto y su resultado se tomo como punto de partida para establecer una metodología en el estado de Florida de los Estados Unidos para normar la fabricación de este tipo de transporte; Por lo tanto, esto da la pauta de que en camino tomado es el correcto en cuanto al proceso de análisis de la estructura del *Food Truck*.



Figura 83. El Paratransit Bus es un tipo transporte utilizado en Estados Unidos. Tomado de (*International Journal of Impact Engineering*, 2008)

CONCLUSIONES

- El presente estudio con seguridad va a servir como material de consulta en la industria metal mecánica para fomentar procesos de fabricación en serie de estructuras Food Truck, respaldado por un software especializado en cálculo por elementos finitos
- La propuesta de modelo de la estructura de un Food Truck de esta tesis está validada porque fundamentalmente pasó las once pruebas establecidas en las norma NTE INEN 1323:2009 que indica un método para realizar un proceso de análisis bajo cargas estáticas, la norma Internacional contenida en la *Regulation No. 66 Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure*, donde estipula un procedimiento para la prueba de volteo y la norma contenida en el Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral
- En la investigación de campo para el desarrollo de este proyecto se visitó varios establecimientos que se dedican a fabricar estructuras generalmente para el transporte, entre ellas los Food Trucks, lográndose establecer la línea base de información técnica, empírica y experiencias relacionadas con la fabricación de los mismos con énfasis en dimensiones, materiales y cargas
- Luego de realizado el proceso de simulación del impacto sobre la estructura propuesta de un Food Truck con un software especializado en cálculo por elementos finitos para determinar su comportamiento bajo ese tipo de cargas se comprobó la factibilidad de la propuesta

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Se generaron los planos con la geometría requerida para construir a futuro una estructura de Food Truck y aplicarlos directamente en la industria, debiéndose indicar que también los mismos están respaldados con el desarrollo ingenieril
- Las normas que se han señalado permiten reglamentar la fabricación de vehículos de varios tipos, más en este caso, el Food Truck no es un tipo de vehículo convencional pero se tomó como referencia para establecer un punto de partida para futuros análisis u otras investigaciones.
- Al aplicarse el Caso 1 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al 1/240 de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 12.50 mm por lo tanto el resultado es positivo.
- Al aplicarse el Caso 2 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al 1/240 de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 19.10 mm por lo tanto el resultado es positivo.
- Al aplicarse el Caso 3 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al 1/240 de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 19.00 mm por lo tanto el resultado es positivo.
- Al aplicarse el Caso 4 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al 1/240 de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 15.30 mm por lo tanto el resultado es positivo.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Al aplicarse el Caso 5 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al $1/240$ de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 7.09 mm por lo tanto el resultado es positivo.
- Al aplicarse el Caso 6 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al $1/240$ de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 12.00 mm por lo tanto el resultado es positivo.
- Al aplicarse el Caso 7 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al $1/240$ de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 6.89 mm por lo tanto el resultado es positivo.
- Al aplicarse el Caso 8 del método LRFD (Load Resistance Factor Design) de la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.2.2 cuya restricción es no sobrepasar el valor de 19.16 mm que corresponde al $1/240$ de la longitud total de la estructura, se obtuvo como deformación total 4.67 mm por lo tanto el resultado es positivo.
- Al aplicarse el Caso 9 que consta en la norma NTE INEN 1323.2009 numeral 5.1.5.1 cuya restricción es resistir una carga estática sobre el techo equivalente al 50% del peso total, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin deformaciones que superen los 70 mm, que luego del análisis simulado se indica que no supera los 37.80 mm de deformación.
- Al aplicarse el Caso 10 de este estudio, mismo que está estipulado en la Regulación No. 66 que hace referencia a la homologación de los vehículos de gran porte en lo que

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

se refiere a la resistencia de su superestructura (Regulación No. 66 Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure) se pudo constatar que el esfuerzo producido en la estructura no se produce deformación alguna que sobrepase el espacio de supervivencia asignado al Food Truck; esto es, al voltearse en la estructura se produce 0.228 MPa de esfuerzo por tanto no sobrepasa los 400 MPa de resistencia última del material, inclusive no sobrepasa el límite de fluencia de 317 MPa.

- Al aplicarse el Caso 11, en la prueba de impacto lateral se recurre a la parte pertinente del Reglamento No 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral, se obtuvo en la simulación de impacto lateral una deformación máxima de 546mm lo que indica que no invade el espacio de supervivencia que para el modelo propuesto se impuso una distancia de 600 mm.
- El mallado que se utilizó para el análisis fue de tipo Shell o superficial que realizó los cálculos con un menor gasto computacional por cuanto al utilizar un mallado tipo tetraédrico en 3D el tiempo de procesamiento de la computadora se tarda demasiado comparado con el primero.
- Los resultados obtenidos con un tamaño de malla promedio de 15 mm es el idóneo pues el desplazamiento producido de 1.66 mm genera un error de 4.6% que resulta un valor menor al comparar con otros tamaños de malla, donde se producían errores mayores al 30.5%.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- El tamaño de la malla que debe usarse es la que produce el menor error posible, no necesariamente es la más pequeña o la más grande que permita la geometría
- Para establecer un resultado óptimo en referencia al cálculo matemático se debe realizar el análisis dentro de los primeros 20 ms de tiempo para que sean comparables los valores de fuerzas generadas por el impacto, por cuanto mientras se incrementa el tiempo, la fuerza decrece sustancialmente tornándose complejo el análisis pues entran otros factores de cálculo que no permiten tener resultados cercanos a la realidad.
- Las medidas ideales del Food Truck se obtuvieron de la investigación en varios establecimientos, específicamente de una empresa metal mecánica localizada en la ciudad de Latacunga, que por su experiencia han ido especializándose en el diseño y construcción de estas estructuras para establecimientos móviles comerciales.
- Comparando los resultados obtenidos por la aplicación de tres métodos diferentes de análisis sobre un elemento de la estructura del Food Truck determinaron los siguientes resultados:
 - Teoría de mecánica de materiales = 0.221 mm
 - Método numérico de elementos finitos = 0.225 mm
 - Software de elementos finitos = 0.213 mm

Se evidencia que los resultados son similares avalizando la aplicación del software.

- Los valores de las cargas en los casos analizados no son magnitudes sino al contrario tienen un tratamiento en forma de vectores, esto es, las cargas se distribuyen de acuerdo a norma en el piso del Food Truck, en los parantes, en el frente, según sea el caso, por tanto el resultado es una suma vectorial de cargas sobre los elementos de la estructura.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Las dimensiones de los tubos seleccionados 50x50x4 para el piso, 50x100x3 para el bastidor y 50x50x1.5 para los parantes y el techo, son adecuadas para fabricar el Food Truck, porque en todas las pruebas el modelo propuesto está dentro de los límites que las normas descritas anteriormente estipulan.
- Otro aspecto importante a considerar es que a futuro los Food Trucks muy probablemente tendrán que ser matriculados y para ello se requerirán tener los planos del mismo, por tanto la solución está en fabricarlos con planos estandarizados o validados.

RECOMENDACIONES

- Para futuras propuestas o trabajos de tesis por parte de los estudiantes de la universidad, se recomienda que la UISEK adquiera licencias de uso estudiantil para la utilización de software especializado en pruebas sobre objetos bajo cargas dinámicas, estos pueden ser HyperWorks y Ansys.
- El programa HyperWorks aceptó el modelado realizado en NX mientras que con el software Ansys no se tuvo resultados; no obstante, si el modelado se lo realiza en SpaceClaim que es una aplicación del grupo de programas que conforman Ansys, si se tiene buenos resultados, lo que sirve de potencial software de uso para los estudiantes de la universidad, pero para este trabajo se utilizó el software HyperWorks.
- Como estrategia a futuro se deberían organizar reuniones interinstitucionales entre la universidad e industrias para determinar las áreas con mayor expansión para que los estudiantes orienten sus tesis a generar productos que tengan más opciones de ser

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

ofrecidos a empresas y ciudadanía en general y ser parte creativa para el cambio de la matriz productiva.

- La universidad debería realizar convenios con empresas que validan las carrocerías para autobuses fabricados en el Ecuador como es el caso de la empresa COINAV que en esta tesis su dueño, el Gerente General Ing. Jorge Cepeda tuvo la gentileza de facilitarme sus equipos y software HyperWorks para validar este estudio.
- En el Ecuador resta mucho para aplicar normas que exijan más a los fabricantes para que sus estructuras cumplan otro tipo de estándares de construcción, es entonces donde la universidad puede fortalecer a la industria mediante la propagación del conocimiento del uso de un software que en otros países se lo explota en mayor medida.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Nacional de Tránsito. (enero de 2017). <http://www.ant.gob.ec>. Recuperado el 8 de julio de 2017, de Dirección de estudios y Proyectos - Siniestros - Enero 2017:

[file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/completo_siniestros_2017%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/completo_siniestros_2017%20(1).pdf)

Agencia Nacional de Tránsito. (2017). www.ant.gob.ec. Recuperado el 09 de julio de 2017, de Normas y Reglamentos Inen aplicados al Transporte:

<http://www.ant.gob.ec/index.php/descargables/category/50-normas-y-reglamentos-inen-aplicados-al-transporte>

Alonso, M. (1976). *Física. Fondo educativo interamericano* .

Castillo Añazco, R., & Rosero Moncayo, J. (2015). *INEC*. Obtenido de

www.ecuadorencifras.gob.ec: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web->

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- inec/Estudios%20e%20Investigaciones/Trabajo_empleo/3.%20REM-Empleo_conduct.pdf
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2015). *Métodos Numéricos para ingenieros*. México: The McGraw-Hill Education.
- Comisión Económica pra Europa de las Naciones Unidas. (2015). Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral. *Reglamento No. 95*.
- Cumbal Paillacho, P. X. (2009). Diseño y construcción de una plataforma remolque con suspensión modofocada para transporte de vehículos de competencia 4x4. Ecuador.
- DeSilva, C. (2005). *Las vibraciones y los choques*.
- Gad Municipal del Distrito Metropolitano de Quito. (11 de mayo de 2016). Resolución No. STHC-016. *Normas técnicas de uso y ocupación temporal del espacio público para establecimientos móviles en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEC. (2011). www.ecuadorencifras.gob.ec. Recuperado el 8 de julio de 20147, de Censo Nacional Económico (CENEC) Fase II: Encuesta Exhaustiva: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Exhaustiva/Presentacion_Exhaustiva.pdf
- INEN. (2009). Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. *Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria*. Ecuador.
- Inzunza, J. B. (2002). *Física. Introducción a la Mecánica. Talleres Dirección de Docencia*.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Líderes. (5 de diciembre de 2016). *Redacción Líderes*. Recuperado el 8 de julio de 2017, de <http://www.revistalideres.ec>: <http://www.revistalideres.ec/lideres/local-foodtruck-ventas-negocios-emprendedores.html>
- Líderes Exprés. (25 de julio de 2016). *Líderes*. Recuperado el 08 de julio de 2017, de www.revistalideres.ec: <http://www.revistalideres.ec/lideres/foodtruck-concesionaria-ecuador-cinascar-negocios.html>
- López Terán, J. L., & Morillo Chamorro, M. (2009). Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas. Ecuador.
- Manjarrés Arias, F. J., & Santillán Mariño, E. R. (Julio de 2016). Análisis estructural a cargas de impacto frontal de un bus tipo interprovincial mediante el método de elementos finitos. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Meneses, C. A. (2016). Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Naciones Unidas. (1986). Regulation No. 66. *Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure*.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2009). www.normalizacion.gob.ec. Obtenido de Vehículos automotores, carrocerías de buses. Requisitos. NTE INEN 1 323.
- Wikipedia. (16 de agosto de 2015). *Wikipedia. La enciclopedia libre*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Scilab>
- © 2015 ANSYS, Inc. (2014). LS-DYNA® Keyword user's manual (Vol. I). Livermore, California: Livermore Software Technology Corporation (LSTC).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

- Andrade García , L. E., & Méndez Canchig, P. X. (2012). Estudio del diseño de una carrocería con análisis de esfuerzos estáticos y dinámicos de un autobús de la marca Patricio Cepeda calificada con Norma ISO 9001-2008 mediante la aplicación de un software para el cálculo de las fuerzas. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército.
- Aranda, D., & Dután, V. (2009). Estudio de aceros estructurales para la construcción de carrocerías para buses. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Celigüeta Lizarza, J. (2008). Método de elementos finitos para análisis estructural. San Sebastián: UNICOPIA C.B.
- Fishman, G. (1978). Principles of Discrete Event Simulation. Wiley.
- Huang, M. (2002). Vehicle crash mechanics. New York, New York, United States of America: CRC press.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN1323:2009. Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Jones, N. (2012). Structural Impact (Segunda ed.). New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Martí Parera, A. (1992). Limitaciones del conductor y del vehículo. Boixareu Editores.
- Matuttis, H., & Chen, J. (2014). Understanding The Discrete Element Method (Primera ed.). Singapore, Japan: Wiley.
- LS-DYNA (2006) Theoretical manual. Livermore, California: Livermore Software Technology Corporation.
- LS-DYNA (2006) Keyword user's manual. Livermore, California: Livermore Software Technology Corporation.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

ANT (2017). Estadísticas de siniestros de la dirección de estudios y proyectos. Siniestros por

Provincia a nivel Nacional Enero 2017

Cepeda J. (2006). Análisis del comportamiento mecánico del Sistema estructural del autobús

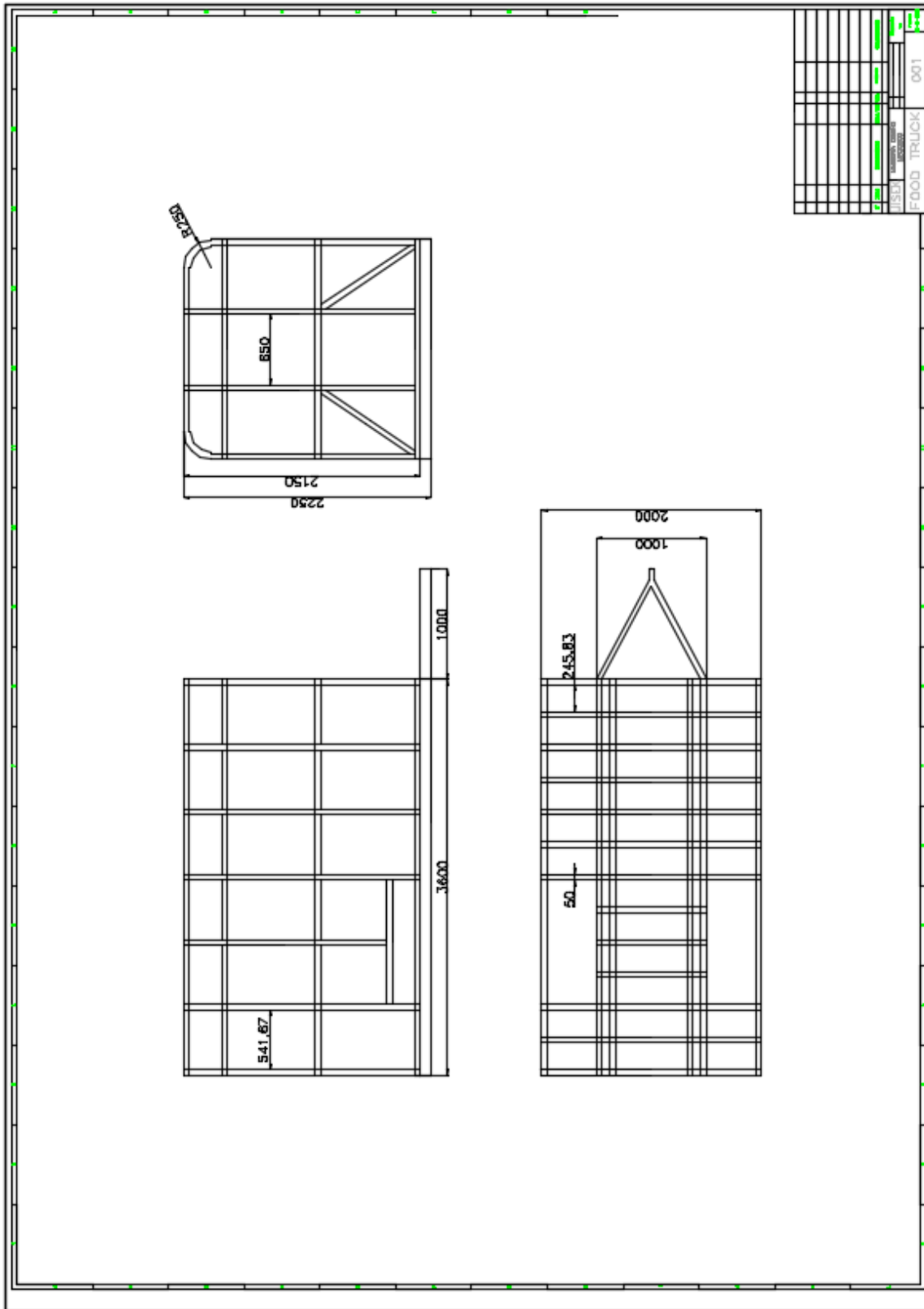
Feline para la empresa carrocera Miral Buses. ESPE. Sangolquí, Ecuador.

Albuja J. (2016). Diseño y estudio de factibilidad de construcción de un bastidor para chasis de

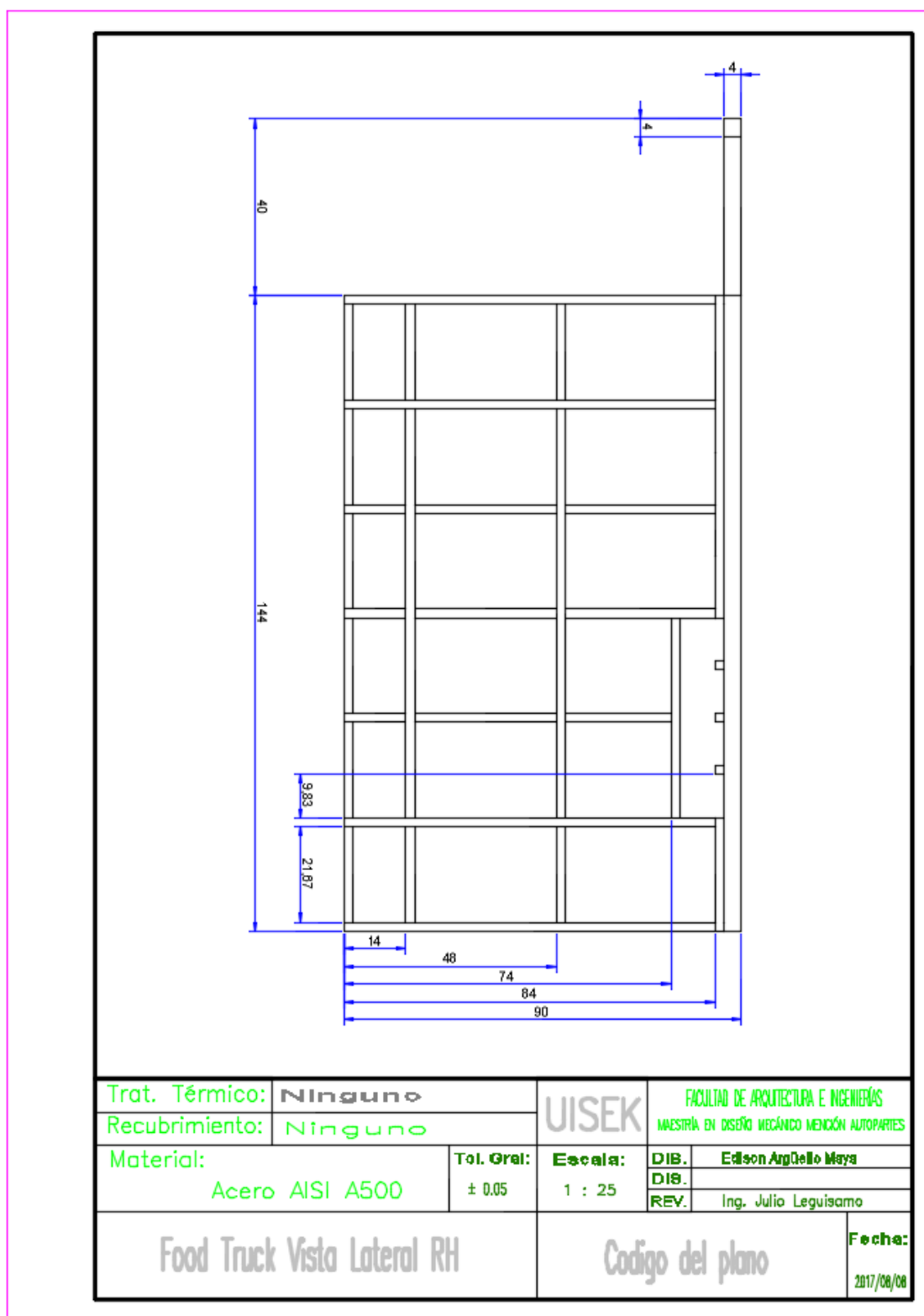
bus con fines de producción nacional. ESPOCH. Riobamba, Ecuador.

Anexos

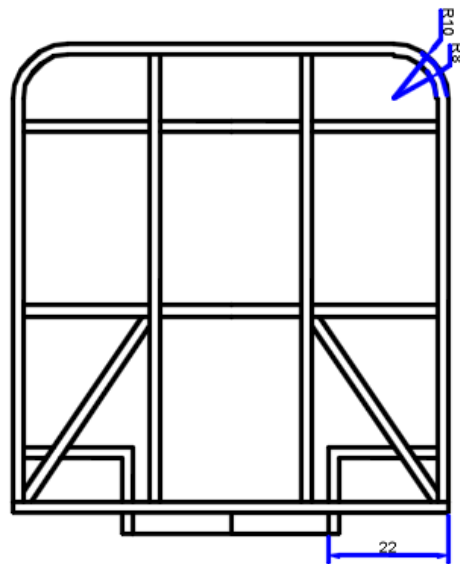
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS

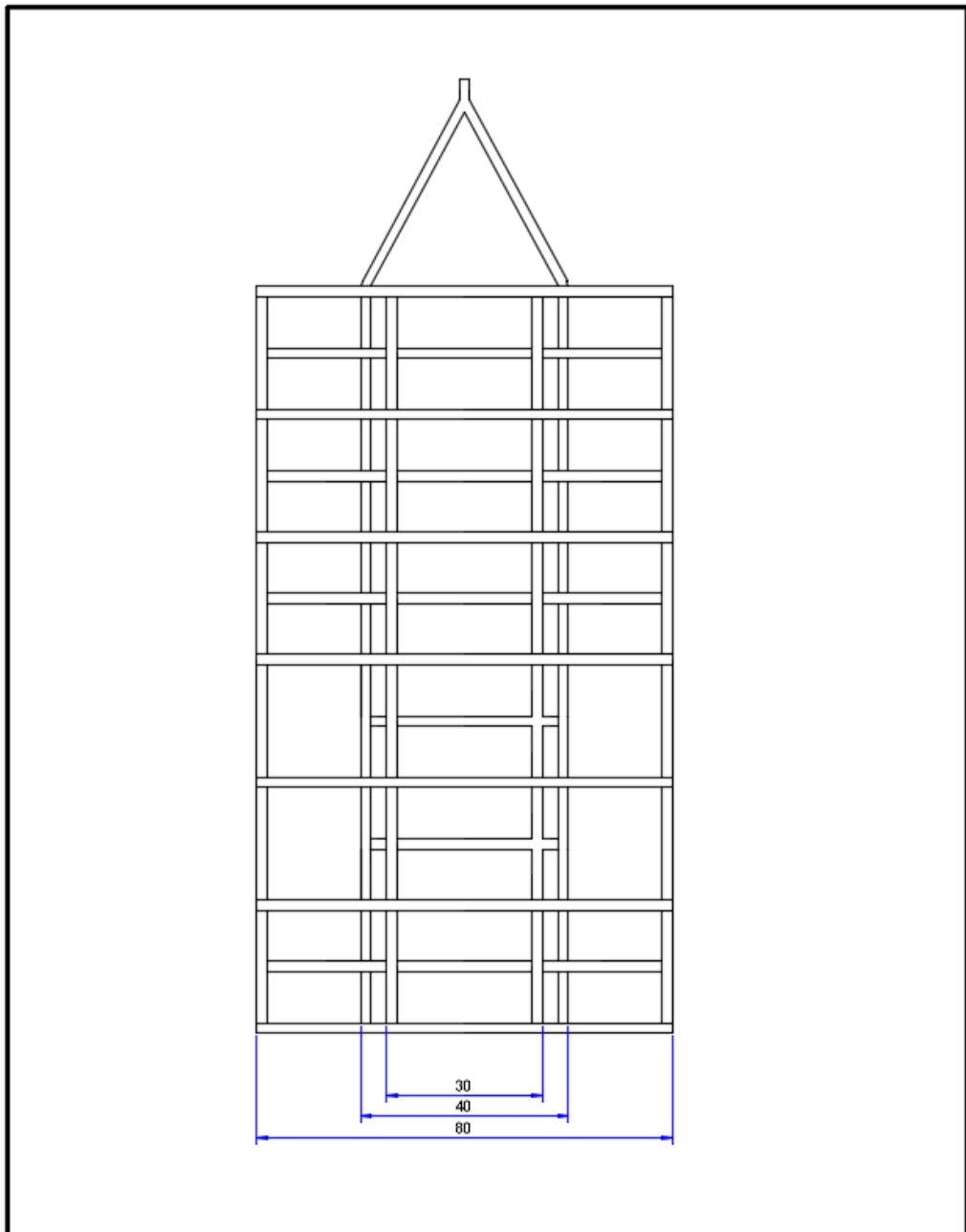


ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS



Trat. Térmico:	Ninguno	UISEK	FACULTAD DE INGENIERIA E INGENIEROS UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE QUERÉTARO	
Recubrimiento:	Ninguno		DIB.	Edison Argüello Maya
Material:	Acero AISI A500	Tol. Gral:	Escala:	DIS.
		± 0.05	1 : 25	REV.
				Inq. Julio Lequisamo
Food Truck Vista Posterior		Codigo del plano		Fecha: 2017/08/08

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN FOOD TRUCK POR ELEMENTOS FINITOS



Trat. Térmico:	Ninguno	UISEK	FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS				
Recubrimiento:	Ninguno		MESTRIA EN DISEÑO MECÁNICO MENCIÓN AUTOPARTES				
Material:	Acero AISI A500	Tol. Gral:	± 0.05	Escala:	1 : 25	DIB.	Edison Argüello Maya
						DIS.	
						REV.	Ing. Julio Leguisamo
Food Truck Vista Superior				Codigo del plano		Fecha:	
						2017/08/08	