



*Simulación del Impacto Frontal para una Carrocería de Autobús para
Determinar los Niveles de Seguridad*

Frontal Impact Simulation for a Bus Body to Determine Safety Levels

*Simulação de impacto frontal para uma carroceria de ônibus para determinar os
níveis de segurança*

Mesías Heriberto Freire-Quintanilla ^I
mefreire@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0877-1470>

Sócrates Miguel Aquino-Arroba ^{II}
saquino@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6393-9408>

Segundo Manuel Yupangui-Yupangui ^{III}
segundoyupangui@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4100-2902>

Correspondencia: mefreire@epoch.edu.ec

Ciencias Sociales y Políticas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 15 de diciembre de 2021 ***Aceptado:** 30 de diciembre de 2021 * **Publicado:** 24 de enero de 2022

- I. Ingeniero de Sistemas Informáticos, Magíster en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Observatorio Ciudadano de Movilidad, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Mecánico, Máster en Diseño, Producción y Automatización Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Se creó diferentes simulaciones de la carrocería de un autobús, con lo cual, mediante los resultados obtenidos, tales como la deformación y esfuerzos, se realizó la comparación de los diferentes métodos de análisis, elemento SHELL y elemento SOLIDO, mediante el programa ANSYS, en la cual se observó entre los diferentes métodos, y de esta forma se estableció las diferencias más comunes que hemos podido encontrar mediante esta simulación, en las cuales también se consideró las diferencias en el tiempo de simulación. Se investigó las diferentes normas utilizadas en Ecuador tanto para la creación de la carrocería como para la simulación, de la cual se analizó los espacios de seguridad, velocidad de impacto y diferentes recomendaciones para la realización de la simulación, de lo que pudimos obtener, se consideró que el elemento SHELL será la mejor opción para la simulación de diferentes estructuras, debido a que el elemento Solido, su tiempo de simulación es demasiado excesivo, para obtener resultados casi similares. Del mismo modo la calidad del mallado fue realmente aceptable en el elemento SHELL mientras que el elemento Solido, se utilizó el mallado por defecto para evitar sobrecargar el análisis. Como pudimos observar en la simulación la deformación producida en el tiempo analizado, dicho impacto no afectó a la zona de seguridad de la carrocería, los esfuerzos que se encontraron en los elementos que impactaron, en el tiempo simulado, aun no superaba el esfuerzo de falla del material, por lo cual dichos elementos no se fracturaron, y la deformación no es permanente.

Evidenciando de esta manera la importancia y la necesidad de trabajar en acciones que vayan apegados a la normativa nacional y su armonización con la normativa internacional, las mismas que buscan garantizar una movilidad segura para las personas. Como es en este caso, con la utilización de software especializado que, mediante la simulación nos permite obtener datos confiables que contribuirán a la construcción y diseño de la carrocería de los vehículos mejorando los niveles de seguridad.

Palabras Claves: mpacto; carrocería; software especializado; simulación; vehículo seguro.

Abstract

Different simulations of the body of a bus were created, with which, by means of the obtained results, such as deformation and stresses, the comparison of the different analysis methods, SHELL element and Solid element, was carried out, using the ANSYS program, in which executes the possible differences between the different methods, and in this way the most common differences

that we have been able to find through this simulation have been established, in which the differences in the simulation time are also considered. The different standards used in Ecuador both for the creation of the bodywork and for the simulation were investigated, from which the safety spaces, impact speed and different recommendations for the simulation were analyzed, from what we could obtain, it was considered that the SHELL element will be the best option for the simulation of different structures, because the Solid element, its simulation time is too excessive, to obtain almost similar results. In the same way, the quality of the meshing was acceptable in the SHELL element while the Solid element, the default meshing was used to avoid overloading the analysis. As we could observe in the simulation the deformation produced in the time analyzed, said impact did not affect the safety zone of the bodywork, the stresses found in the elements that impacted, in the simulated time, still did not exceed the failure stress of the material, for which these elements did not fracture, and the deformation is not permanent.

Keywords: Impact; bodywork; analysis; study

Introducción

Los autobuses, son servicios muy comunes para la movilización de personas a diferentes ciudades y provincias, por lo tanto, el estudio de los autobuses, en especial de la carrocería, es de gran importancia para observar los posibles resultados que se pueden producir después del impacto frontal de un bus a la velocidad de 120 km/h.[1]

La carrocería al ser una estructura nos permitirá analizar las diferentes deformaciones y esfuerzos que se produzcan al momento de realizar la simulación de un impacto frontal.

Naciones Unidas ha suscrito acuerdos de reglamentación de vehículos para ayudar a los países a establecer reglas para estipular y aplicar normas de seguridad en la producción de vehículos y de sus piezas, para de esta manera aportar a cumplir las metas del Plan Mundial del Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030. Determina que los Estados Miembros deberían estimar la posibilidad de establecer mecanismos de evaluación periódica de los vehículos a fin de garantizar que todos los vehículos nuevos y en uso cumplan las normas básicas de seguridad pertinente.

Por lo cual el presente trabajo investigativo, mediante el uso de software especializado, busca contribuir al diseño y construcción de la carrocería de un autobús y así contar con sistemas de movilidad basados verdaderamente en la seguridad, los cuales tendrán un efecto globalmente beneficioso para las personas.

Buscamos promover que los vehículos deben diseñarse para garantizar la seguridad de los que están dentro y fuera de ellos. Considerando que, para mejorar la seguridad del vehículo, se pueden integrar diferentes características en su diseño, ya sea para evitar colisiones (seguridad activa) o para reducir el riesgo de traumatismos para los ocupantes y otros usuarios de la red vial cuando se produce una colisión (seguridad pasiva).

Por tanto, es de vital importancia tener en cuenta el diseño y la construcción de la carrocería, ya que indudablemente desempeña un rol importante en el fenómeno físico de impacto y las consecuencias que estos producen.

Para este caso, se utilizará la mitad de la estructura de un autobús provincial muy común establecidos en la norma INEN 1668, esto para facilitar el estudio y cálculo que se realizará en el programa ANSYS.

Por lo tanto, realizaremos una comparación mediante los dos diversos elementos aprendidos, elemento Shell y elemento Solido, realizando diferentes simulaciones variando el tiempo de análisis, compararemos los resultados de deformación y esfuerzos obtenidos mediante la simulación de la parte de la carrocería del autobús a utilizar.[2]

Las características de la computadora a utilizar serán las siguientes.

- Procesador I7 (6 núcleos de trabajo)
- 16 gb de RAM
- Tarjeta gráfica de video Nvidia GTX 1060

De esta manera también debemos mencionar que la versión utilizada de ANSYS será la 2021.

El poder computacional alterará el tiempo de simulación, ya que, en el caso nuestro, con mejores características será posible reducir el tiempo de manera significativa.[3]

La carrocería de un autobús es el conjunto de elementos mecano-soldados que se integra con un chasis para resistir las cargas generadas durante su vida útil y proporcionar una unidad de transporte segura para los usuarios. La estructura de un autobús es sometida a una serie de pruebas dinámicas y estáticas, que ofrecen certidumbre sobre la resistencia de los componentes. El paso exitoso de la carrocería por estas pruebas permite salvaguardar la integridad física de los usuarios. Estas pruebas son: las de impacto frontal, posterior, lateral y de vuelco además de aquellas que solicitan las metodologías de diseño ASD y LRFD (Load and Resistance Factor Design –Factor de diseño por carga y resistencia). [4]

En Ecuador, la industria carrocera de transporte está constituida por la pequeña y mediana empresa metalmecánica. El 67% de la producción carrocera del país sale de la Ciudad de Ambato, generando 24 millones de dólares anuales y alrededor de 1.400 plazas de trabajo directas a los ecuatorianos.

Toda esta actividad industrial funciona bajo la norma NTE INEN 1323 del 2009. Dichas carrocerías de buses están reglamentadas bajo normas con el que se detallan los requisitos para los vehículos automotores carrozados para servicio de transporte masivos de personas. Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional.[5]

En el presente trabajo se tiene como objetivo determinar cuál será el estado final de la carrocería de un autobús diseñado bajo la norma INEN 1668 priorizando la zona de vida tanto del piloto como del copiloto, para esto se genera un modelo geométrico en 3D y en elemento SHELL para representar la carrocería del autobús, esto con el fin de poder generar un análisis simplificado de dicha carrocería, con esto se pretende determinar cuáles son los esfuerzos y deformaciones producidos en la parte frontal de un autobús sometido a una prueba de impacto.

Las carrocerías metálicas para transporte público han llegado a tener un gran avance en su diseño y construcción, además que es muy significativo en comparación a los años de inicio de la construcción de carrocerías en el país, por la década de los 60, las mismas que tenían un procedimiento de forrado en madera en su mayoría en su parte exterior y de latón en su interior[6] Estableciendo los diferentes parámetros de análisis podemos obtener diferentes resultados, uno de los casos que más hemos tomado a consideración, es el cambio de la velocidad para realizar nuestra simulación.

Según la norma UNE 66 la velocidad considerada para realizar la simulación es la de 56 km/h, para este caso hemos decidido utilizar la velocidad de 120 km/h esto tomando en consideración, de exceso de velocidad lo cual generará un impacto frontal, razón por la cual será necesario observar cómo se establecerá los diferentes parámetros, soportes, el tipo de elemento (rígido o flexible), etc. Para la construcción de la carrocería se considera la norma técnica INEN NTE 1668, la idea de la modelización es conseguir el mayor acercamiento posible entre el modelo y la estructura real de las carrocerías. Para proyectar la geometría de la estructura del bus se toma en cuenta las secciones que se utilizan para la fabricación de las carrocerías de autobuses interprovinciales en el Ecuador. Los materiales de la estructura del bus deben ser perfiles y tubería estructural protegido contra la corrosión que satisfagan la normativa NTE INEN 2415 y la NTE INEN 1623. Para este caso

observaremos las dimensiones que se muestran en las Fig. 1 y Fig. 2 para la realización de la carrocería.[7]

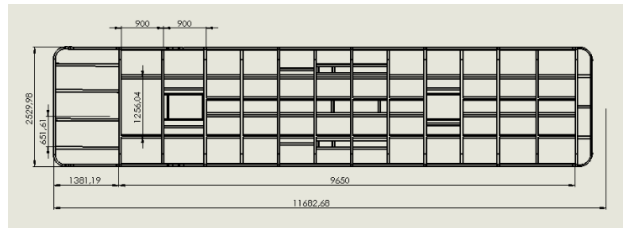


Fig. 11: Dimensiones de la carrocería desde la vista superior

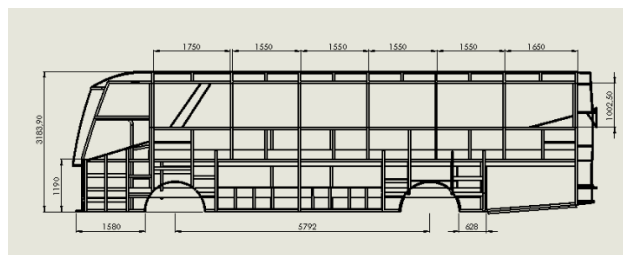
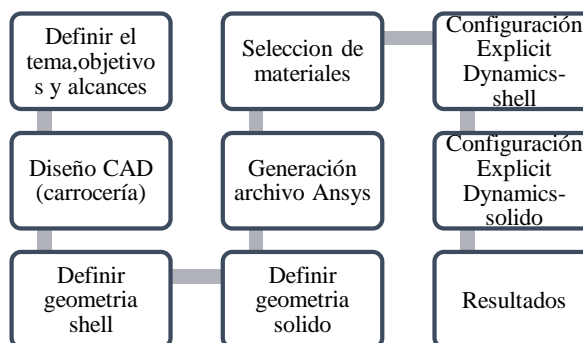


Fig. 22: Dimensiones de la carrocería desde la vista frontal

Materiales y Métodos

Para realizar el análisis del impacto frontal de la carrocería del bus en elemento Shell y sólido se tomó una serie de secuencias ordenadas las cuales serán descritas a continuación, estas secuencias deben estar establecidas con las respectivas configuraciones que abarcan la teoría de elemento Shell y elemento sólido.



Las pruebas de impacto frontal por lo habitual son realizadas sobre un cuerpo rígido (pared) la cual se observa en la Fig.3 a una velocidad señalada (120 km/h), o a su vez pueden ser pruebas de un vehículo impactando a otro. En el impacto, la carrocería es lanzada contra un muro rígido, el impacto debe presentar los mismos resultados tanto al impactar el vehículo al cuerpo rígido como también viceversa, gracias a la acción de la tercera ley de Newton.[8]

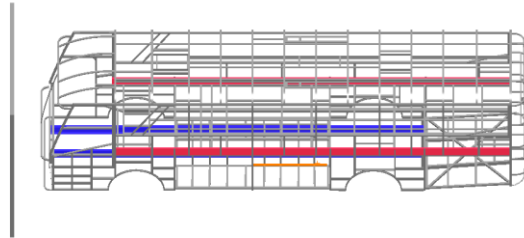


Fig. 33: Prueba de impacto frontal

Para la construcción de la carrocería en el software CAD (SolidWorks) se considera la norma técnica INEN NTE 1668, la idea de la modelización es conseguir el mayor acercamiento posible entre el modelo y la estructura real de las carrocerías. Ver Fig.4 y Fig.5. Para proyectar la geometría de la estructura del bus se toma en cuenta las secciones que se utilizan para la fabricación de las carrocerías de autobuses interprovinciales en el Ecuador. [9]

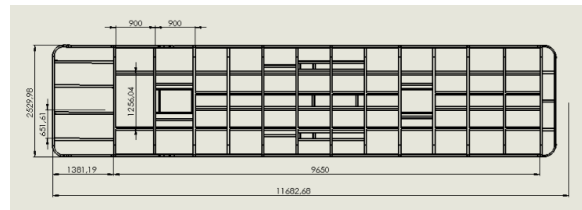


Fig. 44: Dimensiones de la carrocería desde la vista superior

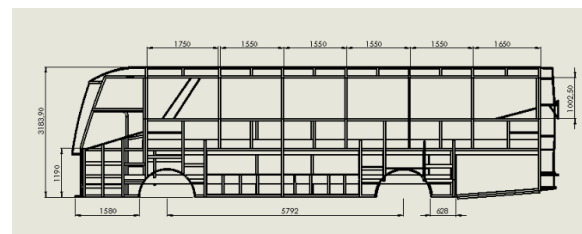


Fig. 5: Dimensiones de la carrocería desde la vista frontal

La geometría general obtenida en el software CAD Fig.6 preparamos como elemento superficial (Shell) para poderla trabajar dentro de nuestro análisis (ANSYS) que se verá a continuación, este cambio se efectúa mediante el SpaceClaim donde una vez importada la geometría general como extensión. STEP, se extrae las superficies de cada elemento estructural mediante la herramienta de MidsurFace del SpaceClaim.

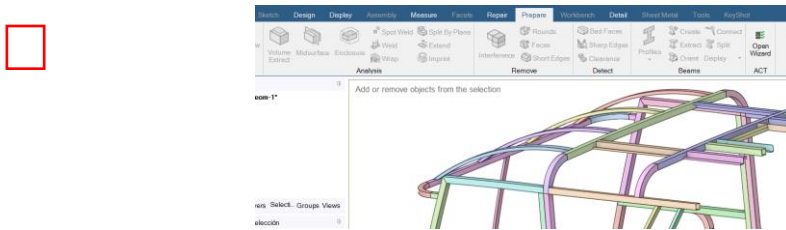


Fig. 65: Midsurface - SpaceClaim

Todas las superficies medias extraídas deben ser corregidas adecuadamente ya que al ser superficies medias. Los demás complementos deben darse un tratamiento de recorte o extensión según el caso que amerite. Para finalmente obtener la geometría adecuada y bien definida, ver Fig.7.

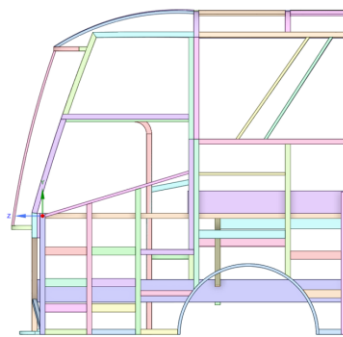


Fig. 76: Carrocería elemento Shell

Todas las superficies medias extraídas deben ser corregidas adecuadamente ya que al ser superficies medias. Los demás complementos deben darse un tratamiento de recorte o extensión según el caso que amerite.[10]

Dichas geometrías completamente generadas como elemento Shell y solido 3d son verificadas respectivamente Fig.8 en la interfaz del software ANSYS

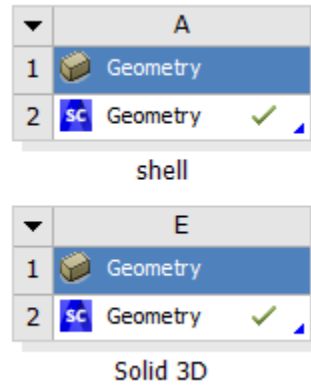


Fig. 87: Geometría Shell – sólido 3D (Ansys)

Dentro del análisis de elemento finito la configuración va de acuerdo con los requerimientos del análisis el cual manifiesta. El impacto de la pared como cuerpo rígido es decir que no se va a deformar ni a sufrir ningún efecto por el impacto. Este cuerpo rígido se impactará a 120 km/h la cual muestra la configuración de la fig.9. Únicamente se realiza la respectiva conversión de unidades para introducir los equivalentes $120 \text{ km/h} = 33.333 \text{ m/s}$. ver Fig.9

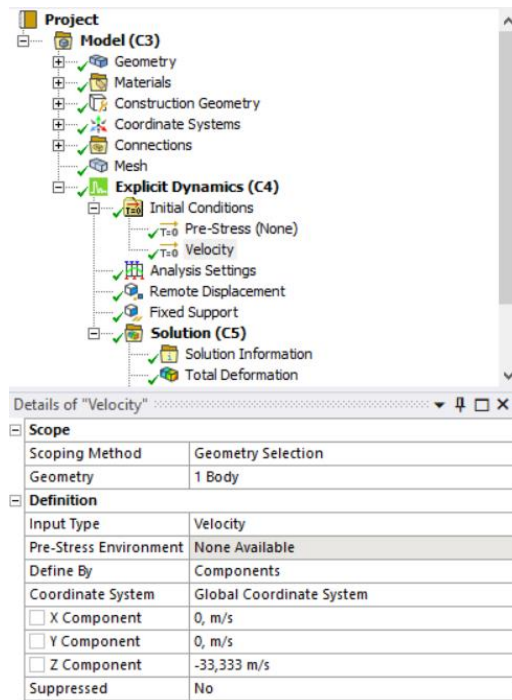


Fig. 98: Configuración, soportes, velocidad.

La calidad de malla debe ser la adecuada para los dos análisis, estos parámetros muestran la fiabilidad del trabajo realizado. Además, la calidad de malla juega un papel importantísimo en la estabilidad y exactitud de los cálculos numéricos. Fig.10. Algunas de las propiedades asociadas con la calidad de malla son la densidad y distribución de nodos.

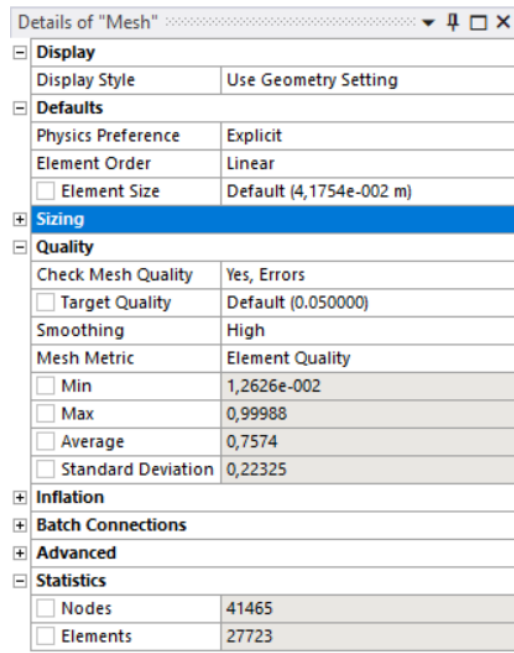


Fig. 10. 9 Calidad de malla elemento Shell

Dentro de las calidades necesarias y adecuadas puede haber calidades de malla que no estén en un rango adecuado ver Fig.11 como el caso de la malla en el elemento sólido, puesto que para este tipo de análisis únicamente lo más adecuado es realizar como elemento Shell.[7]

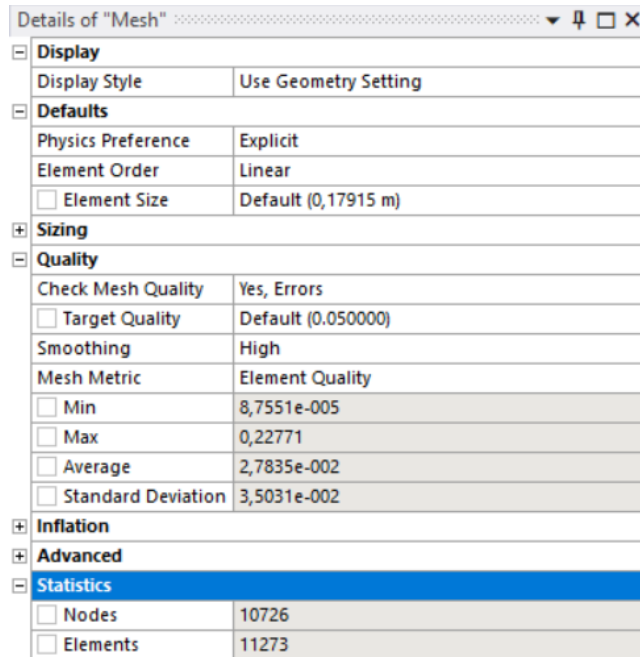


Fig. 11. 10 Calidad de malla elemento sólido.

Resultados y Discusión

A. Resultados Mediante Elemento Shell

Considerando dos elementos que en específico que hemos escogido para un análisis más a profundidad pudimos obtener las siguientes soluciones. Entre los resultados que obtendremos, será la deformación total, deformación plástica, y el esfuerzo de Von Misses.

Tanto de manera general, la cual será toda la carrocería frontal del bus, como resultados por análisis de los dos elementos en específico que se indicaran a continuación. En el caso de la deformación total podemos observar en la Fig. 12 que nos manejaremos con una deformación máxima de alrededor 0.24 m de los primeros elementos que sufren el impacto.



Fig. 1211: Deformación Total

Para el caso de la deformación Plástica se observa en la Fig.13, se analizó en elemento Shell tenemos los siguientes valores, en los cuales podemos encontrar que el valor máximo de deformación será de 0.2153 m.

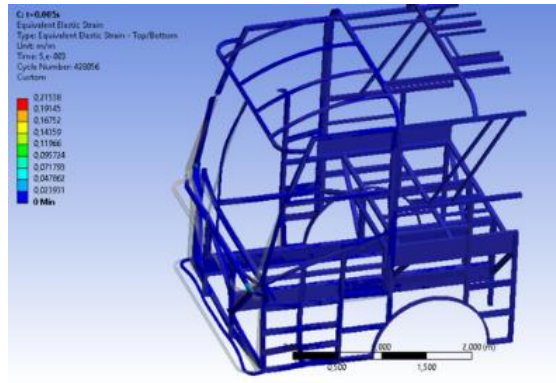


Fig. 13. 12 Deformación Plástica Shell

Y para el caso de la simulación de los esfuerzos que se verán presentes en los diversos elementos, podemos mencionar la siguiente Fig. 14.

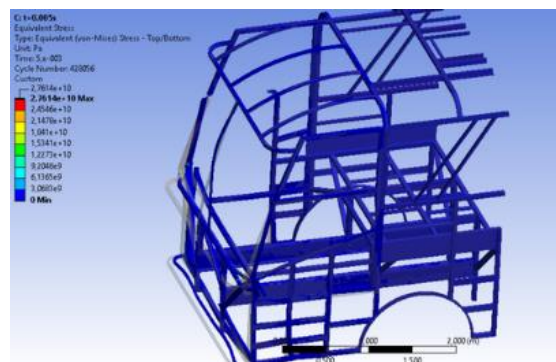


Fig.14 13 Deformación Plástica Shell

Para realizar un análisis más detallado y en el cual se pueda presentar mayor deformación, se ha decidido utilizar un elemento específico para nuestra comparación el cual será la viga y soporte que se encuentra en el punto medio de los parabrisas, y esto lo sustentamos ya que es el primer

punto de impacto que tiene contacto con la pared y es el que más se deforma hasta que la carrocería se detenga completamente.

El elemento medio que divide al parabrisas se lo diseña para que absorba mayor energía ya que al ser un elemento de amortiguación, esta genera una zona de seguridad o mampara de seguridad la cual permite que se mantenga sin efectos producidos por nuestro impacto. De tal manera se puede observar que el elemento (1-2) de la Fig.15, tiene una longitud de 1.7686m y en el transcurso del análisis sufre una deformación producida por el impacto la cual es máxima 0.16089m en el final del elemento.

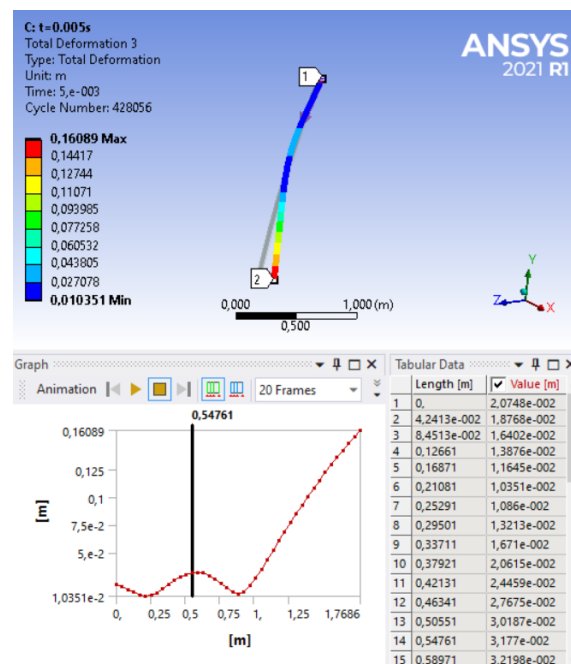


Fig. 15 14. Deformación de perfil medio (parabrisas) Shell

Del mismo que se realizó de manera general se pueden sacar los resultados de este elemento para obtener de manera más específica, una mayor información.

En el caso del esfuerzo dentro de la viga, nos ayudara a confirmar si este elemento, se fracturara en el tiempo de análisis realizado o no, esto debido a que podríamos realizar una comparación entre el esfuerzo producido en todo el elemento, con el esfuerzo permisible del material, esto nos daría una mejor idea de cómo se afectara el elemento.

B. Resultados Mediante Solido

Para el análisis en elemento solido indicaremos los resultados obtenidos mediante el análisis en elemento sólido.

Del mismo modo que los resultados mediante elemento Shell, se indicaran los resultados de manera general como de manera específica.

De esta manera, podremos obtener de mejor manera una comprobación y la comparación necesaria entre ambos estudios y análisis de los dos elementos.

En el caso de la deformación total en la simulación de elemento 3d de la Fig. 16, tenemos un valor de deformación máxima de 0.19 m, de los primeros elementos.

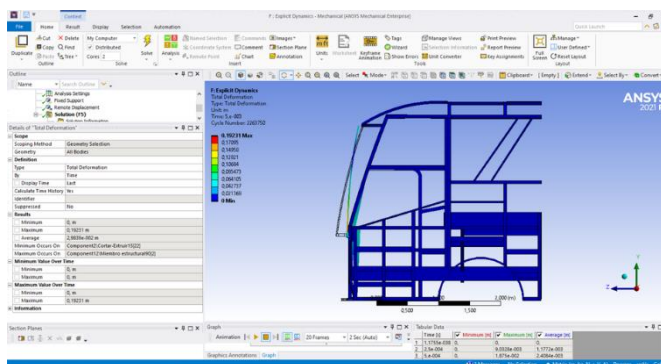


Fig.16 15: Deformación total (3D)

Para el caso de los resultados en análisis 3d de los esfuerzos que se encontraran en la carrocería de la Fig. 17, podemos mencionar, que tendremos un valor máximo de $8.98e8$ Pa.

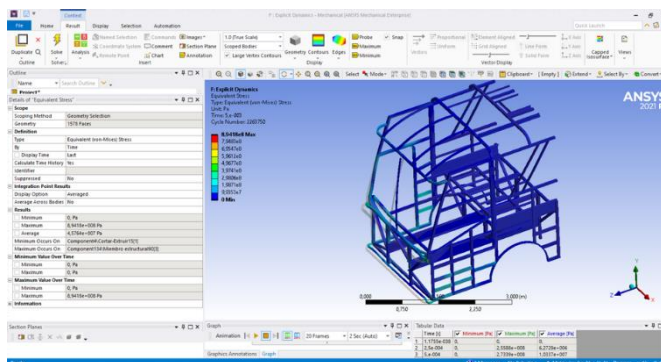


Fig.17 16: Esfuerzo Equivalente (Von Mises)

El elemento medio que divide al parabrisas sirve también como un elemento de amortiguación, para que nuestra zona de seguridad o mampara de seguridad se mantenga sin efectos producidos por nuestro impacto. De tal manera se puede observar que el elemento (1-2) de la Fig. 18, tiene una longitud de 1.7685m y en el transcurso del análisis sufre una deformación producida por el impacto la cual es máxima 0.17871m en el final del elemento

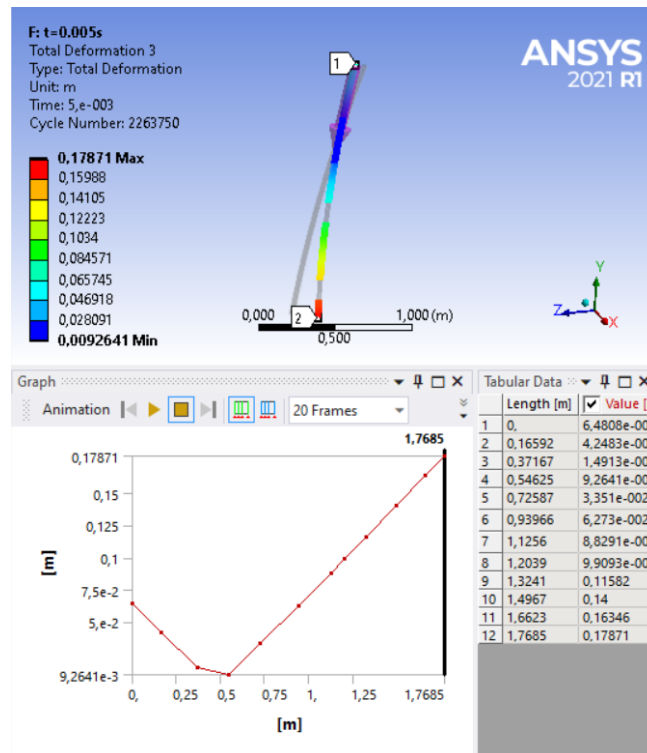


Fig.18 17: Deformación de perfil medio (parabrisas) solido

C. Comparación Entre Resultados

Para el estudio del elemento Shell el tiempo de análisis se realizó en 3 diferentes lapsos, $9e-4$ segundos, $5e-3$ segundos y $9e-3$ segundos, establecemos los resultados que queremos observar, si queremos de algún elemento en específico, será necesario crear un path. Para el elemento Solido, nos aseguraremos de que todos los elementos sean solidos o 3d, del mismo modo nos concentraremos en evitar cualquier tipo de interferencia. Para este caso en el análisis de elemento solido o 3d que podemos apreciar en la Fig. 19, se lo realizo con un tiempo de $5e-3$ segundos

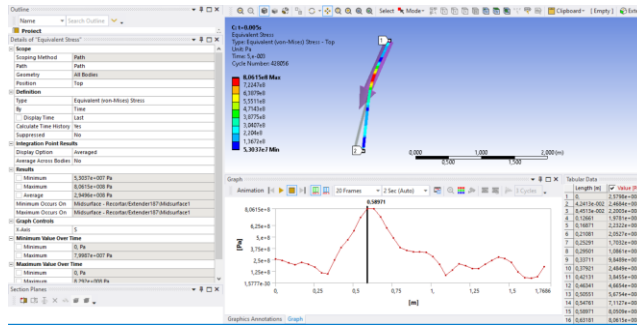


Fig.19 18: Creación de PATH configuración.

Las primeras comparaciones que podremos encontrar, y mencionaremos son las siguientes.

Utilizando el elemento que hemos creado el path, estableceremos la diferencia entre la deformación y esfuerzos obtenidos.

En el caso de la deformación como podemos observar en la Fig.20 y en la Fig.21 observaremos como la deformación del elemento Shell y del elemento solido son un poco variadas, de manera más específica, en la distancia en la que se encontrara la deformación crítica de dicho elemento.

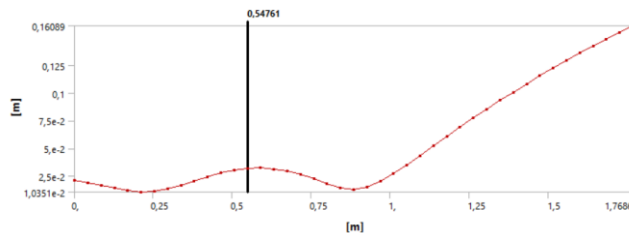


Fig. 20: Deformación en elemento SHELL

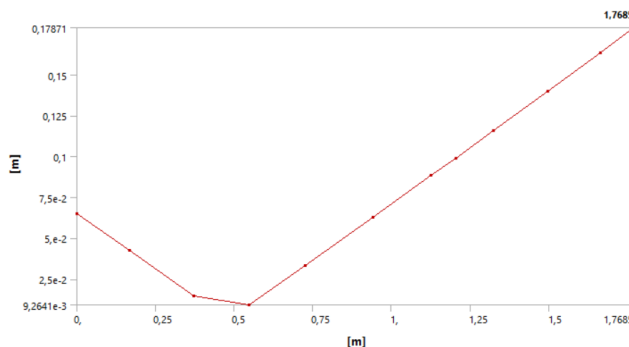


Fig. 21: Deformación en elemento Solido

Como hemos mencionado en la Fig. 20 y la Fig. 21 podemos observar las siguientes diferencias, en este caso, en el análisis del elemento SHELL tenemos una deformación máxima de 0.16 m mientras que en el de elemento solido tenemos un valor de 0.17 m.

Para la deformación observando la Fig. 20 y la Fig. 21 del elemento Shell y del elemento solido respectivamente, podemos observar, que los resultados varían demasiado, incluso en la distancia donde se encontrara los esfuerzos críticos.

En este caso en la Fig. 20 del elemento SHELL podemos decir mediante la gráfica, que las posiciones de las deformaciones más pronunciadas se encontraran en las posiciones de 0, 0.6, y 1.76 m. Mientras que en la Fig. 21 del elemento solido encontraremos las deformaciones en las posiciones de 0, 0.3 y 1.76 m.

De esta manera podemos mencionar que para el tiempo analizado la deformación que se a producido en dicho elemento no será lo suficiente para llegar a la zona de seguridad de la carrocería, la cual se ubica a 0.6 m como podemos observar en la Fig. 22. Por lo tanto, podemos decir que de momento de acuerdo con nuestro análisis la carrocería no presentara ninguna falla al momento del impacto, pero, esto puede variar si decidiéramos aumentar el tiempo de análisis.

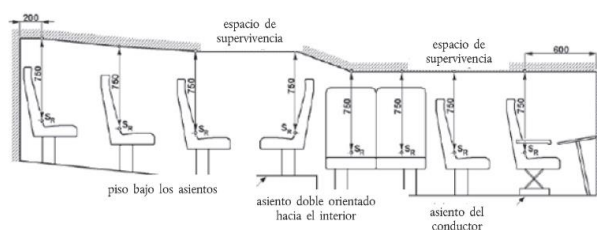


Fig. 22: Zona de Seguridad (Carrocería)

Para este caso será necesario observar si los esfuerzos críticos que tenemos sobrepasaran el esfuerzo permisible y el cortante. De esta manera analizaremos si el elemento que estamos analizándolo y comparándolo, tendrá una deformación permanente, o incluso si se fracturara en el tiempo de análisis propuesto.

De esta manera podemos observar que la diferencia de las curvas de las Fig. 23 y Fig. 24, son totalmente distintas por lo cual presentan sus esfuerzos en diferentes posiciones del elemento. Por lo cual también debemos considerar dicho esfuerzo máximo para analizarlo de manera respectiva considerando los diferentes puntos de análisis.

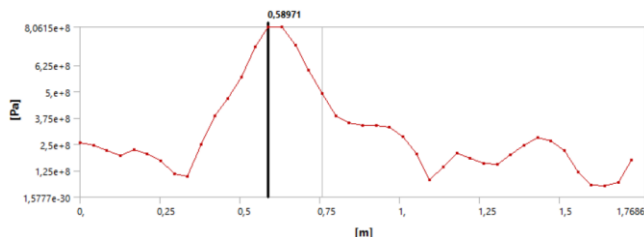


Fig. 23: Esfuerzo en elemento SHELL

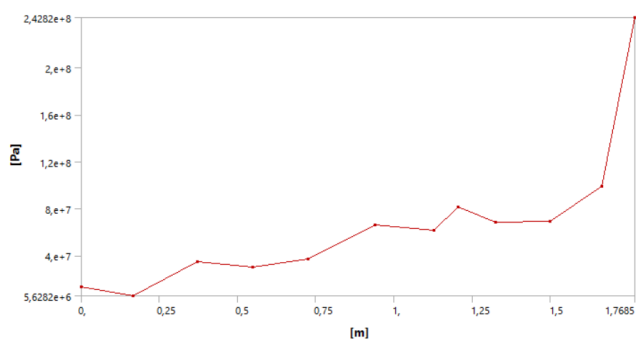


Fig. 24: Esfuerzo en elemento Solido

Como podemos observar en la Fig. 23 la cual representa la gráfica en el Elemento SHELL podemos observar que el esfuerzo máximo se encontrara en la posición 0.6 aproximadamente y presentara otros esfuerzos más pequeños a lo largo de todo el elemento, mientras que si observamos en la Fig. 24 la gráfica de elemento Solido, podemos observar que el esfuerzo máximo se encuentra en la posición de 1.76m y a partir de la posición 0 seguirá incrementándose, lo cual es totalmente distinto entre la gráfica del elemento SHELL

Para esto será necesario utilizar la Fig. 25 en la cual podemos observar los diferentes módulos y esfuerzos necesarios para considerar si la deformación será permanente o no.

Propiedades of Outline Row 5: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m^-3	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's M...		
6	Young's Modulus	2E+11	Pa	
7	Poisson's Ratio	0,3		
8	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa	
9	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa	
10	Specific Heat Constant Pressure, C _p	434	J kg^-1 C^-1	

Fig. 25: Propiedades Acero estructural No Lineal

Con ayuda de la información obtenida en la Fig. 25 podemos analizar si el elemento se deformara permanentemente o se fracturara para esto tomaremos en consideración que si sobrepasamos el módulo de Young el cual es $2e11$ Pa. La deformación será permanente e incluso fracturarse. Pero para un análisis más exacto utilizaremos el módulo de corte el cual tiene un valor de $7.366e10$ Pa. Por lo tanto, en la Fig. 23 el cual pertenece al análisis en elemento SHELL tiene un valor de esfuerzo máximo de $8.056e8$ Pa y en la Fig. 24 el cual es del análisis en elemento Solido, obtenemos un valor de esfuerzo máximo de $2.4282e8$ Pa.

Considerando los dos valores de los dos diferentes análisis, consideramos que para el tiempo de análisis utilizado ($5e-3$ segundos) aún no se deforma permanentemente ni se ha fracturado el elemento a analizar. Esto debido a que el esfuerzo máximo analizado no supera el valor del módulo de corte, y mucho menos el módulo de Young.

Otro aspecto que fue de gran importancia el análisis fue la observación de la energía de Hourglass resultante del análisis, si variara dependiendo el tipo de análisis o no.

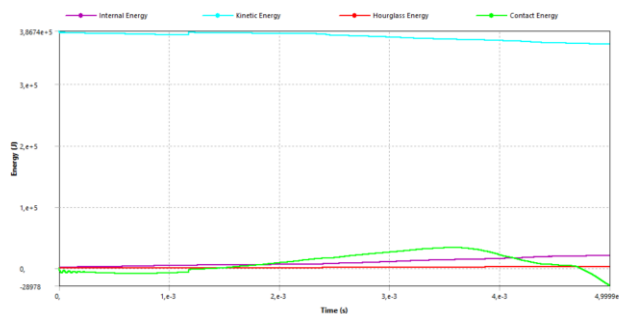


Fig. 26: Graficas de Energía en elemento SHELL

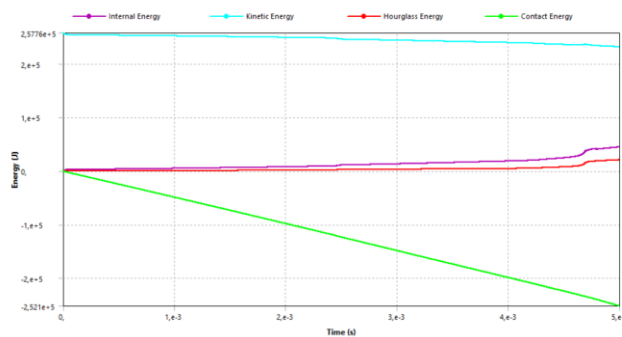


Fig. 27: Graficas de Energía en elemento Solido

De acuerdo con la Fig. 26 el cual pertenece al elemento SHELL, podemos observar de manera visual que la energía de Hourglass, es 0 o un valor muy cercano a 0. Y la energía interna parece seguir ascendiendo mientras más tiempo de análisis sea. Por lo cual podemos observar de manera más detenida que la energía de Hourglass es muy pequeña lo cual podríamos considerar como válido debido a que no debemos superar el 10% de la energía interna.

En la Fig. 27 El cual es del elemento Solido, podemos observar que aquí se produce un efecto medio interesante, la energía interna y la de Hourglass, presentaran la misma similitud en curvas, variando en la cantidad o energía del Hourglass, la cual está por debajo de la energía interna, y se puede observar que la separación entre la energía interna y la de Hourglass no es muy grande, por lo que la energía interna no podría ser muy válida.

Por lo tanto, podríamos considerar que el análisis en SHELL nos provee de mejores resultados, e incluso nos ayuda a tener un mejor mallado, como pudimos observar en el mallado realizado, observamos que el mallado en el elemento Solido no es el adecuado, en estos casos, pero debido a que mejorar la malla del elemento solido implica más procesamiento de cálculo, es algo complicado si no se posee una buena computadora.

Conclusiones

Como hemos podido observar en las simulaciones realizadas de los diferentes elementos, Shell y Solidos, son muy visibles y perceptibles las diferencias de diferentes análisis.

Para el caso del análisis en elementos Shell, nos ayuda a reducir el tiempo de análisis a una gran escala a comparación del análisis de elementos sólidos, lo cual también significa de gran ayuda para el análisis de diferentes estructuras.

De acuerdo con las investigaciones realizadas, el principal objetivo para el análisis de las carrocerías es observar cómo se comportan los primeros elementos en el choque, debido a que en este caso no se está considerando los elementos existentes del bus, como el motor, ejes, etc. Lo que influirá en impacto y la manera en que afecte a toda la carrocería.

En esta simulación se realizó con una velocidad de 120 km/h, principalmente para observar las diferencias existentes entre ambos métodos, pero considerando adecuadamente la norma UNE 66 sería adecuado y normalizado trabajar con 56 km/h, para realizar diferentes simulaciones de manera correcta.

Uno de los percances que pudimos evidenciar en la simulación, fue la rotura de los elementos el cual provocará un aumento en el tiempo de análisis de manera indefinida debido a que el elemento separado de la carrocería, por lo cual será necesario establecer un tiempo correcto para evitar este tipo de problemas.

En el caso de elemento sólido, el tiempo de análisis tarda demasiado por lo cual no sería recomendable utilizarlo cuando se trata de analizar estructuras o esquemas que contengan demasiados elementos ya que generara una carga de análisis muy importante para la computadora. Si se decide realizar el análisis mediante elemento sólido, es necesario considerar, el tiempo de análisis, las conexiones realizadas, el mallado, y que el esquema no presente alguna interferencia. Entre lo que podemos mencionar como las principales comparaciones, será que podremos encontrar diferentes esfuerzos y deformaciones en el elemento a analizar, en el mismo tiempo de análisis.

La simulación mediante software CAE permite analizar las deformaciones generadas en el impacto frontal de un bus en base a lo cual se puede evidenciar las consecuencias que puede ocasionar a los usuarios y al conductor al circular a altas velocidades.

Referencias

1. D. Cuasapud, “Análisis Estructural A Cargas De Impacto Posterior Por Alcance De Un Bus Interprovincial Mediante El Método De Elementos Finitos,” *Universidad Internacional SEK*, pp. 1–142, 2018, [Online]. Available: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2768>
2. Ortiz-bernardin, “del elemento finito Precauciones acerca del uso del elemento beam en simulaciones por el método del elemento finito,” no. January, 2017.
3. R. S. Bansode *et al.*, “CONVERSIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DE UN VEHÍCULO DE LS-DYNA® A PAM-CRASH®,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 2, no. January, p. 6, 2018, [Online]. Available: <http://ieeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/IEEE-Reference-Guide.pdf><http://wwwlib.murdoch.edu.au/find/citation/ieee.html><https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.022><https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper><https://tore.tuhh.de/hand>

4. F. Manjarres and E. Santillan, “Análisis estructural a cargas de impacto frontal de un bus tipo interprovincial,” 2016.
5. E. D. E. P. Para *et al.*, “Facultad De Ciencias E Ingeniería,” pp. 1–3, 2013.
6. S. López, *Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finito.* 2016.
7. CEPE, “Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura,” pp. 30–59, 2011.
8. D. Cuasapud, “Análisis Estructural A Cargas De Impacto Posterior Por Alcance De Un Bus Interprovincial Mediante El Método De Elementos Finitos.,” 2016.
9. Z. Olgierd, “El método de los elementos finitos - Olgierd Cecil Zienkiewicz ,” *Editorial Reverté*, S. a., 1982.
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xdzeDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=metodo+de+elementos+finitos&ots=-eHnw5dl9d&sig=Y6NPLlRrotDjOXEd90hwNkHsfoyl#v=onepage&q=metodo de elementos finitos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xdzeDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=metodo+de+elementos+finitos&ots=-eHnw5dl9d&sig=Y6NPLlRrotDjOXEd90hwNkHsfoyl#v=onepage&q=metodo+de+elementos+finitos&f=false) (accessed Sep. 27, 2021).
10. D. Cárdenas, J. Escudero, S. Quizhpi, and M. Amaya Pinos, “Propuesta de diseño estructural para buses de carrocería interprovincial,” *Ingenius*, no. 11, p. 42, 2014, doi: 10.17163/ings.n11.2014.05.