

ANÁLISIS ESTRUCTURAL A CARGAS DE IMPACTO POSTERIOR POR ALCANCE DE UN BUS INTERPROVINCIAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

STRUCTURAL ANALYSIS OF AN INTERPROVINCIAL BUS SUBJECTED TO A REAR IMPACT BY REACH.

Diego Cuasapud Puente¹, Edwin Chamba Monar², Andrés Cárdenas Yáñez³, Bryan Briceño Martínez⁴

^{1,2,3,4}Universidad Internacional SEK – Facultad de Arquitectura e Ingeniería

e – mail : ¹dcuasapud.mdm@uisek.edu.ec, ²eachamba.mba@uisek.edu.ec, ³racardenas.mba@uisek.edu.ec, ⁴bryan.briceno@unl.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, VIII Edición 2019, No. 7 (12)

Resumen

En el presente estudio se efectúa un análisis de una estructura de un bus interprovincial sometido a impacto posterior por alcance, utilizando el método de elementos finitos, para lo cual se desarrolla una metodología de simulación, con ello se pretende determinar el comportamiento estructural de la carrocería con el fin de evaluar el desempeño de la misma, cuando se encuentra sometida a este tipo de evento. Para proyectar geoméricamente la estructura del bus, se utiliza la norma NTE INEN 1323:2009 y se aplica el método LRFD, para determinar la resistencia estructural estática de la carrocería. Para el ensayo de impacto se utilizó el software LS-DYNA, teniendo en cuenta las propiedades del material y la aplicación de la dinámica explícita. En el proceso de simulación se establecieron las condiciones de borde, para el análisis dinámico a través del método de elementos finitos. El proceso de validación de los resultados obtenidos, están en relación al parámetro del reloj de arena (Hourglass) a partir de los cuales se realizó la validación de datos de este estudio y por consiguiente la validación de la estructura en estudio.

Palabras Clave: Impacto posterior, estructura de bus, análisis estructural, elemento finito, combinación de cargas

Abstract

The present study focuses on analyzing a structure of an interprovincial bus subjected to a rear impact by reach, and to develop a simulation methodology, with the purpose of determining the structural behavior of the body in order to evaluate the performance of the same, when it is subjected to this type of event. In order to carry out the simulation, the properties by which the body was constructed. In the simulation process LS-Dyna software was used, and in which the edge conditions were established to perform the analysis. The data obtained in the different load combinations according to the NTE INEN 1323: 2009 standard and based on the LRFD method, allow to determine the static structural resistance of the body, the dynamic analysis is established through the finite element method, the balance of energies, and the hourglass energy from which the data validation of this study was carried out and therefore the validation of the structure under study.

Keywords: Rear impact, bus structure, structural analysis, finite element, load combination.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo de la industria automotriz, el desarrollo del transporte público está a cargo de las empresas carroceras. Las cuales buscan producir unidades que brinden seguridad y mayor confort. Para lograr este fin se ha logrado avances en el diseño asistido por computadora, el ensamblaje automatizado, que produzcan unidades que cumplan con las normativas de calidad y producción. Para producir estructuras para el transporte público más seguras en países como China, India, Japón y países de la Unión Europea se cuenta con polígonos de pruebas para realizar ensayos de las estructuras y de esa manera evaluar su resistencia cuando estas son sometidas a choques (Bone, Castillo y Sandoval, 2015).

La industria carrocera en el país presenta un desarrollo en cuanto a diseño, montaje y fabricación de estructuras para transporte público, se cuenta con una normativa para la homologación de carrocerías, sin embargo no se cuenta con una normativa que permita evaluar las carrocerías al momento de sufrir un impacto o choque. De acuerdo un reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), realizado en el 2013 ubico a Ecuador como el segundo país en muertes por accidentes de tránsito en Latinoamérica.

Una gran cantidad de estos siniestros se producen en los transportes de servicio urbano e interprovincial.

Las estadísticas presentadas por los gobiernos autónomos de Loja, Quito, Manta, Ibarra y Guayaquil, basadas en informaciones, son empleadas por la Agencia Nacional De Tránsito, indicando el porcentaje de siniestros acumulado hasta diciembre de 2015, donde por choque posterior presentan 11.39% del total de accidentes a nivel nacional, que representan 4068 accidentes siendo después del choque lateral, con el 28.37% los principales tipos de accidentes de tránsito. El porcentaje de buses que participan en este tipo de siniestros constituyen un promedio anual de 7.08% (Agencia Nacional de Tránsito, 2015). Por tanto el diseño de carrocerías de autobuses juega un papel muy importante en cuanto a la seguridad del conductor y los pasajeros en un accidente, por lo que en este tipo de eventos, la estructura de los buses se constituye en la más importante y en la mayor parte de casos, la única forma de protección (Manjarrez y Santillán, 2016). En la actualidad, en el país para la construcción de carrocerías es indispensable el cumplimiento de normas y reglamentos emitidos por el servicio ecuatoriano de normalización INEN,

donde se establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías (Alcoser y Morales, 2017).

Por tanto es importante tener en cuenta el diseño del vehículo, su construcción y mantenimiento, ya que indudablemente desempeñan un rol importante cuando existe un choque y las consecuencias que este produce. Con el afán de reducir las tasas de mortalidad los fabricantes de automóviles trabajan intensamente con el fin de incorporar nuevas tecnologías para aumentar la seguridad en caso de un impacto. Estas tecnologías permitirán proveer una mayor protección a los ocupantes del vehículo (Cazzola, Alcalá y Aparicio, 2013).

En la industria automotriz, se desarrolla el transporte público, mediante estudios acerca del comportamiento de una carrocería al someterle a carga con la ayuda de sistemas computarizados. Países como Colombia, Brasil, Perú han visto una oportunidad de realizar el diseño y el modelamiento utilizando herramientas CAE y CAD (Parra et al., 2007).

Para mejorar los diseños en las estructuras de los buses, es importante tener en cuenta el comportamiento de la misma después de iniciada la colisión, para considerar las deformaciones y desplazamientos que experimenta. Para este fin se han realizado varias investigaciones concernientes al análisis estructural elasto-plástico, utilizando el método de elementos finitos.

La ingeniería asistida es muy utilizada en el campo de la industria automotriz, debido a los altos índices de accidentes y a la necesidad que tienen los fabricantes de ofrecer vehículos que brinden seguridad a los ocupantes en caso de que el autobús se involucre en un choque, y para lograr este fin se requieren programas informáticos con paquete de simulación, que posibiliten realizar un estudio virtual, antes de la construcción del prototipo de comprobación (Conde, 2015).

2. Materiales y Métodos

En el presente proyecto se utilizará un enfoque CAD-MEF propuesto que está basado en cuatro fases principales secuenciales. La “primera fase” comprende la proyección de la geometría en el ambiente CAD, para el diseño de la carrocería del bus se toma en cuenta las especificaciones de la normativa INEN. Se realiza la revisión de normativa

para realizar el Crash Test. En la “segunda fase” se modela en 3D los componentes que conforman el diseño de estructura para un bus interprovincial. La “tercera fase” se procede a realizar los ensayos, donde se discretiza o subdividen en elementos independientes creando un modelo matemático, se sigue el procedimiento convencional del análisis computacional (Introducción Ansys Mechanical, 2015), se tiene el preprocesamiento importación del modelo CAD, asignación de materiales, definición del solver, definición de condiciones de borde, cargas y restricciones, tamaño de la malla, son datos que el software necesita para simular aceleraciones, fuerzas, presiones 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 (Argüello, 2017).

La “cuarta fase” se presenta el análisis dinámico de la estructura usando software LS-DYNA y de esta forma evaluar el diseño de la parte posterior de la superestructura de un bus interprovincial, la cual va a sufrir el choque posterior.

2.1 Datos de entrada para proyección de geometría.

La normativa para el diseño, montaje y construcción de la carrocería es la INEN NTE 1323:2009, la cual tiene en cuenta las especificaciones para los espacios de supervivencia; para proyectar la geometría de la carrocería. Se consideran además las dimensiones de la NTE INEN 1668 Primera revisión, que presentan los aspectos a tener en cuenta al proyectar la estructura. Los materiales de la estructura del bus deben ser perfiles y tubería estructural protegido contra la corrosión de acuerdo a la normativa NTE INEN 2415 y la NTE INEN 1623.

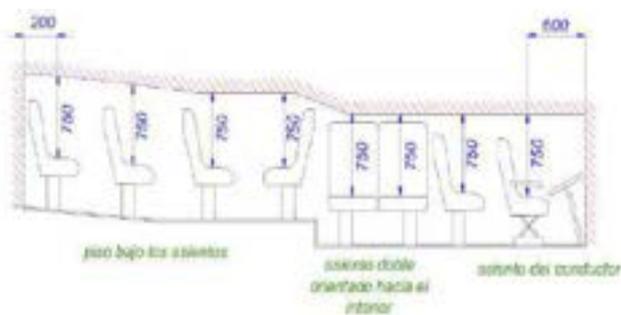


Figura 1. Vista longitudinal del espacio de supervivencia. Fuente: NTE INEN 1323:2009

2.2 Parámetros de ensayo

De acuerdo a la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration, 2011), se establece la velocidad con la cual se va a realizar el ensayo. Se contempla el utilizar las normas NHTSA, 2012, donde se establece la velocidad de 53 Km/h (13.88 m/s; 1.388e+004 mm/s), para realizar el estudio.

La proyección de la geometría en 3D se realiza en el software Siemens NX Unigraphics (Siemens PML, 2015), para diseño y análisis de elementos finitos. Teniendo en cuenta las especificaciones de la normativa INEN NTE 1323:2009, se efectuó la proyección del modelo (figura 2).

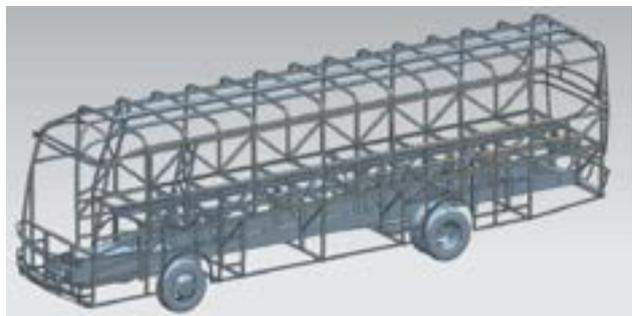


Figura 2. Carrocería de bus en 3 dimensiones

2.3 Generación de malla para análisis MEF

En el pre procesamiento se debe definir el mallado (mallado de superficie, mallado de sólido, herramientas para edición de mallado) y aplicaciones especiales.

La generación de la malla es de vital importancia. Una de las razones es que la malla superficial muestra un efecto sobre la precisión de las soluciones numéricas (esta parte por encontrarse relacionada con las condiciones de frontera) y la convergencia en simulaciones numéricas basadas en elementos (o contornos) finitos. La calidad de la malla es importante en la precisión de los resultados. Se va a utilizar una Malla 2D tipo superficie, tamaño 30 mm, Se obtuvieron un total de 310244 elementos, de acuerdo al tamaño de la malla.

Se extruye cada perfil, a modo de superficie, teniendo en cuenta las dimensiones como es la longitud y geometría requerida para cada elemento. Así se proyecta el modelo CAD, y mediante el comando “compartir topología” se produce la unión de los elementos en condiciones a tope.

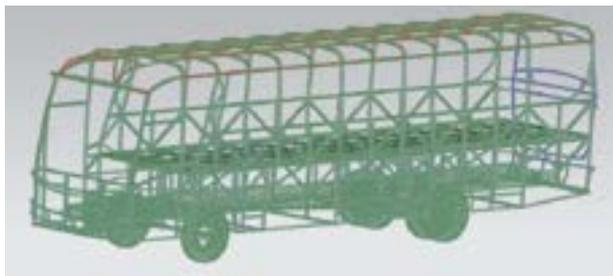


Figura 3. Modelo generado en el software y mallado

2.4 Cargas aplicadas a la carrocería de un bus.

Cuando se diseña una estructura para transporte público, esta debe ser homologada de acuerdo a la especificado INEN NTE 1323:2009. Uno de los métodos que estipula esta normativa es el diseño considerando factores de seguridad por resistencia de materiales, método LRFD (Load Resistance Factor Desing). (NTE INEN 1323, Ecuador, 2009). Este método permite determinar la resistencia de la estructura que va ser sometida a combinaciones de carga para evaluar la su resistencia estática.

2.5 Modelos matemáticos para el análisis de impacto posterior por alcance

Para el desarrollo de modelos matemáticos y su resolución para análisis de impactos es importante conocer e identificar las leyes y principios matemáticos y físicos que presenta es tipo de fenómeno físico.

A continuación se presenta una tabla con los valores de velocidad, tiempo y masa para el cálculo de la fuerza de choque usando la teoría del impulso y cantidad de movimiento.

Tabla 1. Datos para el cálculo de la fuerza de choque

Concepto	Valor
Velocidad inicial del bus interprovincial	Cero
Velocidad de la barrera móvil	53(Km/h)
Tiempo de contacto en el choque	20 ms
Masa del bus (Carga estacion)	5085.03 Kg (mt)
Masa de la barrera móvil	1500

Por ser un choque totalmente inelástico las masas se suman:

$$VR = \frac{m1v_0 + m2v_02}{m1 + m2} \quad (1)$$

$$VR = 38.61 \frac{Km}{H}$$

Entonces se puede calcular la fuerza necesaria para producir este movimiento del bus interprovincial:

$$I = \Delta P = P_f - P_0 \quad (2)$$

$$P = mV \quad (3)$$

$$I = \Delta P = m V_f - mV_0 \quad (4)$$

$$I = \Delta P = 5085,3 \left(38,61 \frac{Km}{H} - 0 \right)$$

$$I = 54539,84 \text{ Kg} \frac{m}{s}$$

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (5)$$

$$F = 1090796,8 \text{ N}$$

$$F_i = \frac{F}{4}$$

$$F_i = 272699,2 \text{ N}$$

Tomando la muestra de una viga, se puede determinar el esfuerzo normal por compresión al cual está sometida la viga así como su deformación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

El área corresponde a la sección de un tubo hueco de 50 x 50 x 2:

$$A = 392 \text{ mm}^2$$

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

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{272699,2}{392}$$

$$\sigma = 695,66 \text{ MPa}$$

Ensayos

Se realizan los ensayos para determinar la resistencia estática y dinámica de la estructura.

Las condiciones de los ensayos, se especifican en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de ensayo

Criterio	NHTSA
Velocidad	53 Km/h
Barrera móvil	
Tiempo	0,50 ms
Material	024-Piece Wire Linear Plasticity

Se especifican las cargas a analizar en el estudio, que pueden ser debido a desplazamientos, rotaciones, fuerzas, momentos velocidades, aceleraciones, restricciones de movimiento, de desplazamiento grados de libertad de los acoplamientos, se determina el tipo de control de arena, tiempo de terminación.

3. Resultados y Discusión

Los resultados que se muestran a continuación están basados en el análisis cuasi-estático, que permite determinar la validación de la estructura.

Para la validación de la estructura se aplica la combinación de cargas estáticas estipuladas en el método LRFD NTE INEN 1323:2009. Las cargas estáticas se asignan a la carrocería acorde a las especificaciones establecidas en la norma.

Resultados obtenidos en base a las combinaciones de cargas según la Norma NTE INEN 1323:2009.

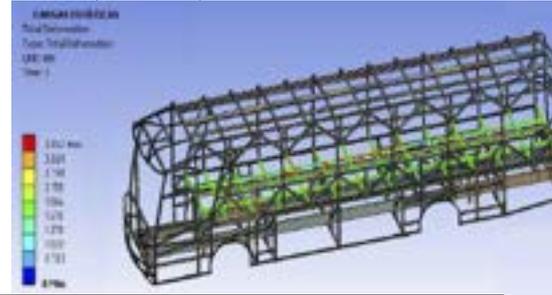
Basados en el método LRFD NTE INEN 1323:2009 se presentan a continuación los valores de las combinaciones de cargas para el análisis cuasi-estático. Este método se basa en los conceptos de estado límite, mismo que describe una condición en la que la estructura, o alguna parte de ella, deja de cumplir su función. La norma establece que las cargas combinadas, según el método LRFD, deben alcanzar una deformación de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud (NTEINEN 1323:2009 apartado 5.1.4)

En la tabla 3 a continuación se presenta los valores de las cargas para la combinación.

Tabla 3. Valores de cargas para las combinaciones

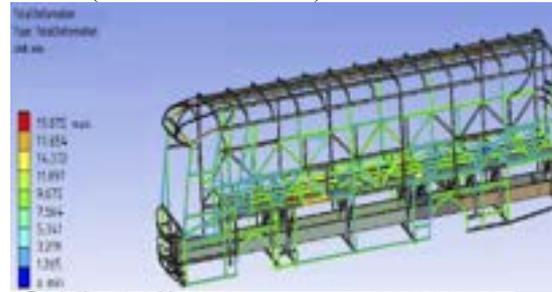
Tipo de carga	Ref. Norma	Valr
Carga muerta (M)	NTE INEN 1323:2009	96399,86 N
Carga viva (V)	NTE INEN 1323:2009	42829,67 N
Carga de giro (G)	NTE INEN 1323:2009	25217,14 N
Carga de frenado (F)	NTE INEN 1323:2009	56486,45 N
Carga de aceleración brusca (Ab)	NTE INEN 1323:2009	56486,45 N
Carga de resistencia aerodinámica (Raf)	NTE INEN 1323:2009	2139,03 N

Caso 1 (1.4 M + V)



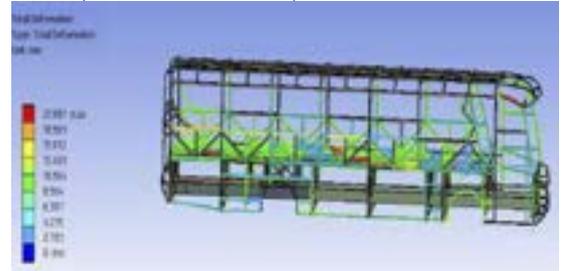
Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre zona de supervivencia
40.60	3.452	positivo

Caso 2 (1.2 M + 1.6 V + 0.5 G)



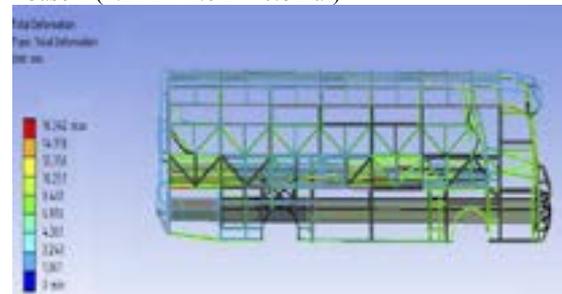
Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre zona de supervivencia
46.31	19.87	positivo

Caso 3 (1.2 M + 0.5 V + 1.6 G)



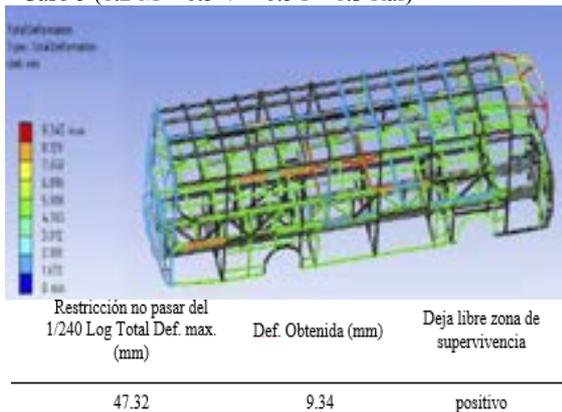
Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre zona de supervivencia
46.31	21.98	positivo

Caso 4 (1.2 M + 1.6 F + 0.8 Raf)

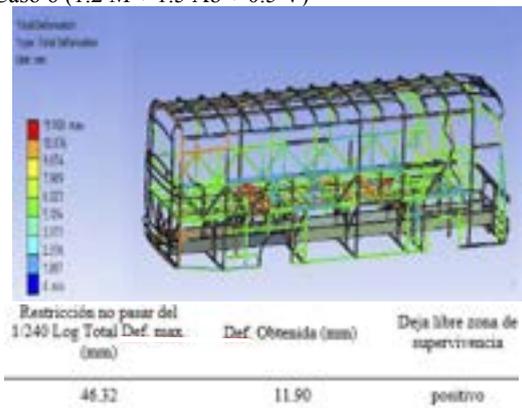


Restricción no pasar del 1/240 Log Total Def. max. (mm)	Def. Obtenida (mm)	Deja libre zona de supervivencia
47.32	16.34	positivo

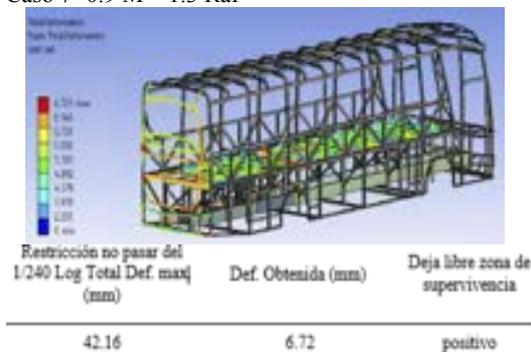
Caso 5 (1.2 M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 Raf)



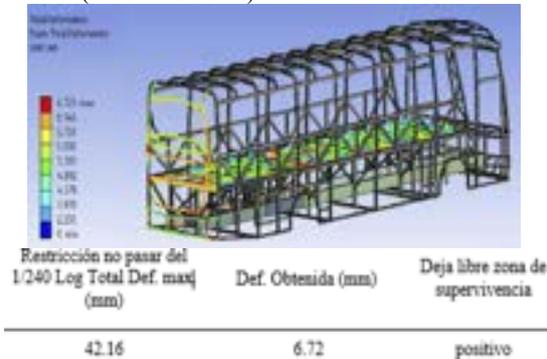
Caso 6 (1.2 M + 1.5 Ab + 0.5 V)



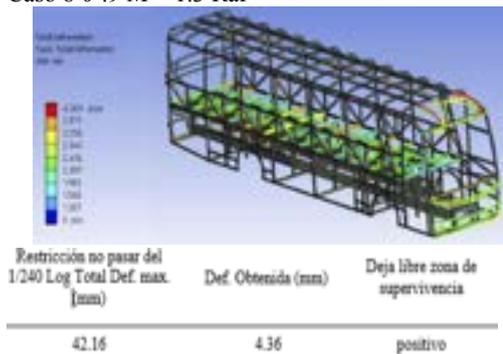
Caso 7 0.9 M 1.3 Raf



Caso 7 (0.9 M – 1.3 Raf)



Caso 8 0.9 M + 1.3 Raf



Caso 9 Masa distribuida sobre el techo de la carrocería

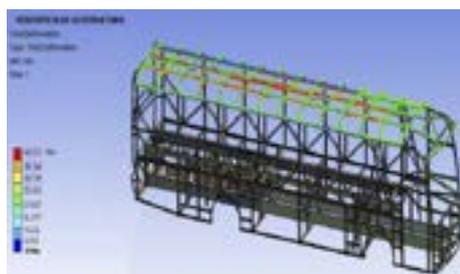


Figura 4. Simulaciones obtenidas aplicando las cargas de método LRFD NTE INEN 1323:2009

Los resultados obtenidos de la carrocería modelada tomo los valores especificados en la normativa TE INEN 1323:2009 y basados en el método LRFD cumple con el objeto de resistir las cargas estáticas que se presentan en este tipo de método.

La valoración de la máxima deformación de la estructura se verifica comparando las deformaciones producidas en cada combinación ejecutada en la estructura (Verdezoto, 2015)

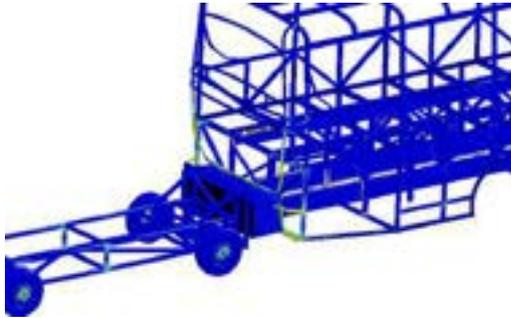
Análisis dinámico

Se presenta a continuación la evaluación y representación de resultados del análisis dinámico de la carrocería. Los resultados expresados mediante gráficos y curvas que permiten analizar y evaluar los resultados logrados en el pos procesado, serán extraídos utilizando el pos procesador LS Prepost 3.2 nativo de LS DYNA.

Los datos que se exponen a continuación resultaron de la simulación, así como del cálculo entre la energía interna y el hourglass, con el fin de validar el estudio.

Para el control de los modos de reloj de arena en el estudio estructural es la formulación Flanagan

Belytschko Stiffness. El coeficiente de reloj de arena para el control Hourglass generalmente oscilará entre 0.1 (predeterminado) y 1.0. Para material elástico, se utiliza el coeficiente 1.0. En este estudio se utilizó el modo de control de reloj de arena por defecto en LS-DYNA es de 0,1; valor utilizado para producir el efecto de inflexibilidad elástica en la simulación.



Simulación del impacto posterior en intervalos de 20 ms



Simulación del impacto posterior en intervalos de 20 ms

Figura 5. Simulación del impacto en la parte posterior de la carrocería

Se establece la deformación de la estructura de la carrocería producida después del impacto posterior, en la Figura 6, se observa que el desplazamiento direccional en el eje z (dirección del impacto) presenta un valor máximo de 372,197 mm. Se observa la deformación producida por el impacto posterior siendo los más afectados los que conforman el parante posterior y el guardachoque.



Figura 6. Deformación direccional de la estructura en el eje Z

Para establecer el comportamiento de los elementos críticos de la carrocería, para este

estudio, la parte del voladizo posterior, se eligen cuatro elementos de la zona del impacto o zona crítica, para establecer el comportamiento de los mismos se considera el esfuerzo de Von Mises y el desplazamiento como parámetros de evaluación. Los elementos discretos seleccionados en la zona crítica por deformación son: 270196, 270001, 270071, 27246.

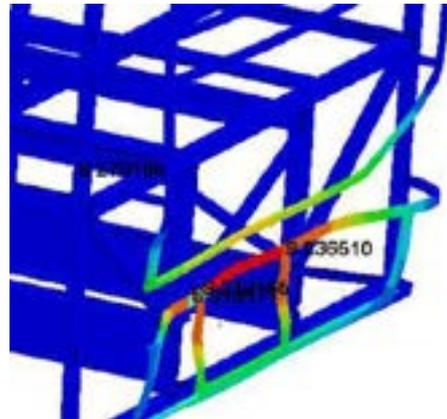


Figura 7. Elementos críticos del voladizo posterior

La Figura 7 muestra que en el intervalo de tiempo de 50 ms después de iniciado el impacto, el comportamiento de los cuatro elementos es similar; en el intervalo de tiempo de 20 a 100ms los valores de los esfuerzos se elevan de tal manera que en los elementos 270196, 270001, 270071, 27246 el esfuerzo es mayor a la resistencia última del material (430 MPa); además se puede observar que los elementos experimentan fluctuaciones después de la zona proporcional, debido a la variación de las fuerzas internas que se producen en cada elemento en el transcurso del tiempo de impacto.

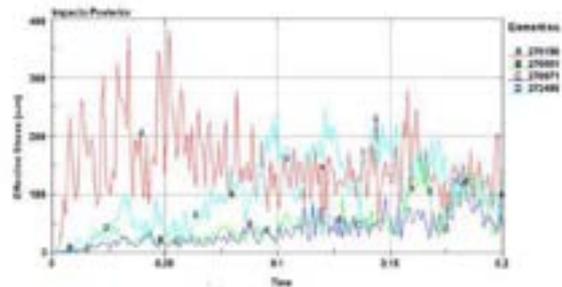


Figura 8. Diagrama del esfuerzo efectivo de Von Mises en los elementos seleccionados

En la gráfica se aprecia el esfuerzo y deformación del elemento crítico 270196, se puede determinar que el límite de resistencia a la cedencia (S_y) se alcanza cuando el elemento se ha deformado 300mm a los 7 ms de iniciado la colisión; el elemento sufre un colapso en la zona plástica por máxima concentración de esfuerzos debido a que supera el S_y (302.68 MPa).

Finalizado el proceso de datos en LS DYNA, se procede a ingresar los archivos LS-DYNA Keyword File (archivos K) y LS-DYNA Binary Plot (D3plot) generados al postprocesador LS Pre-Post 3.2 para la representación e interpretación de los resultados.

Validación del estudio virtual

Al realizar el análisis en dinámica explícita con elementos de integración reducidos, siempre es importante determinar si los efectos de hourglassing han degradado significativamente los resultados. Como norma general, la energía hourglassing no debe superar el 10% de la energía interna (LIVEMORE, 2014). Se obtuvo las curvas de energía como se indica en la figura 9.

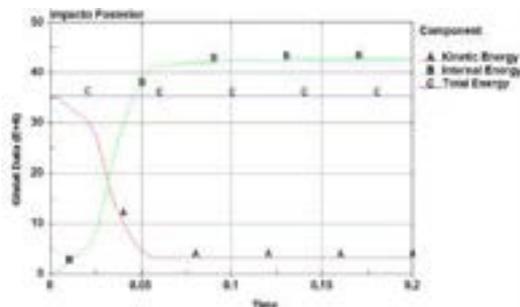


Figura 9. Curvas de energía

Se procede al cálculo de la relación entre la energía interna por deformación vs la energía Hourglass (Alcoser y Morales, 2017).

$$H = \frac{\text{Hourglass}}{\text{Energía}_{int}} \quad (7)$$

$$H = \frac{0.33 * 10^6 \text{ Nmm}}{42 * 10^6 \text{ Nmm}} * 100\%$$

$$H = 0.78 \%$$

$$H < 10\%$$

Rooppakhun (2015), indica que su estudio de análisis estructural de una estructura de un bus sometido a impacto frontal, produjo una gráfica similar a la obtenida en este estudio y mediante la cual su estudio queda validado.

El valor obtenido de H es menor al 10% por lo tanto el análisis es válido para las condiciones establecidas en la simulación (Pattaramon, Supakit y Burawich, 2015).

Discusión

Supakit Rooppakhun, et al (2013) realiza un análisis estructural de un bus sometido impacto frontal donde

se presenta el colapso de los elementos estructurales que se encuentran en la zona de mayor concentración de esfuerzos, transcurridos los 0.025 s. de ocurrido el impacto.

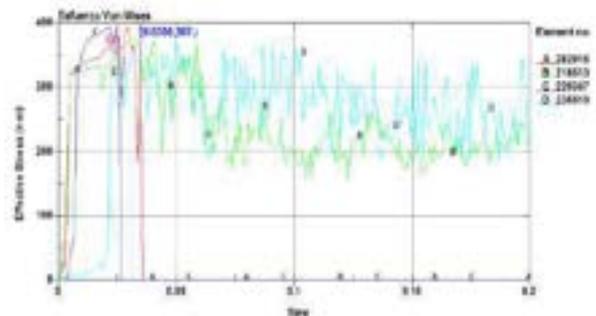


Figura 10. Diagrama del esfuerzo de Von Mises en la estructura

Se analiza el comportamiento del elemento más crítico, para este caso el elemento número 282016. En el diagrama se observa que este elemento crítico supera el límite de resistencia a la cedencia (S_y), el elemento colapsa en la zona plástica por máxima concentración de esfuerzos, debido a que supera el valor S_y ; el esfuerzo producido en el elemento es mayor que el esfuerzo ultimo del material que de acuerdo a los valores obtenidos en los ensayos físicos posee un valor de 302.68 MPa.



Zona de mayor concentración de esfuerzos

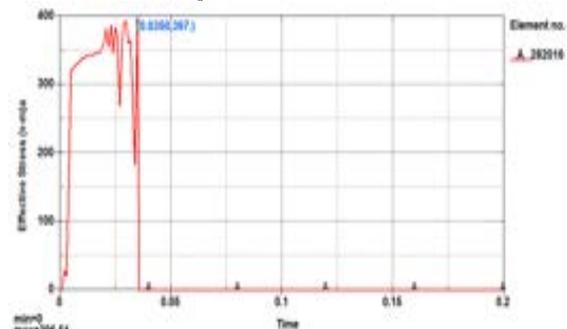


Diagrama Esfuerzo de Von Mises Vs. Tiempo

Figura 11. Zona de impacto y diagrama de esfuerzos vs tiempo

El diagrama Esfuerzo de Von Mises vs el tiempo, indica un comportamiento lógico y similar del fenómeno del elemento de muestra, por lo que se elimina la posibilidad de dispersión de datos por defectos de malla (Esmeraldas, 2016). El elemento colapsa cuando alcanza un esfuerzo máximo de 397 MPa a los 0.035s de transcurrido el evento de impacto.

De acuerdo a Hernández (2016), un método efectivo para determinar si la zona de supervivencia es afectada o invadida por algún elemento estructural es tomando dos elementos de muestra; uno correspondiente a la zona del impacto (218413) y el otro correspondiente al espacio de supervivencia (133451).

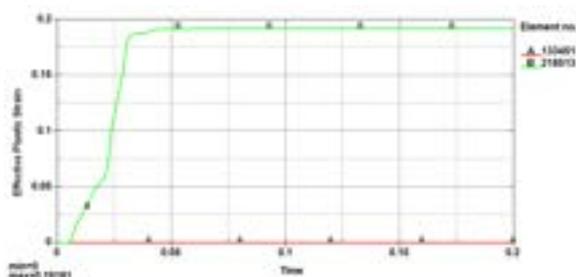


Figura 12. Diagrama Deformación Plástica Efectiva Vs. Tiempo

La figura 12 muestra el diagrama deformación plástica efectiva vs tiempo, donde se observa que el valor correspondiente al elemento de la zona de supervivencia se mantiene en un valor constante de 0 (cero), mientras que el elemento de la zona del impacto muestra un cambio, esto implica que el espacio de supervivencia no ha sido afectado por otros elementos estructurales.

4. Conclusiones

La estructura del bus interprovincial ensayada cumple con los requisitos de diseño para satisfacer la norma NTE INEN 1323:2009, ya que los valores de los parámetros obtenidos de deformación no sobrepasaron los valores máximos de deformación que indica la norma.

En el análisis del impacto posterior, mediante la simulación por MEF, el habitáculo de la carrocería no resulta invadida por ningún miembro estructural.

El control de arena (Hourglass), se utiliza para evitar trabados de la malla y esto afectaría los resultados. La relación entre el Hourglass y la energía interna deben ser menores al 10%, siendo de este valor el estudio será validado.

El refinamiento realizado en la malla con diferentes tipos de tamaño, genera una calidad aceptable, siendo el valor del Angulo Skewnesse, el que está dentro del límite de validación.

El balance de energía permitió verificar la precisión de los resultados de la simulación, ya que se verificó si la energía total permaneció constante durante el período de tiempo de la simulación.

5. Referencias

- [1] AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO “Estadísticas de transporte terrestre y seguridad vial” 2015. Recuperado: <http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/estadisticas#.Virc5EqxZER> (febrero, 2015)
- [2] Alcoser y Morales (2017) Diseño y construcción de los anclajes de asientos de un bus interprovincial bajo las condiciones de impacto frontal y lateral en la empresa Metalmecánica Pillappa. Escuela Politécnica de Chimborazo
- [3] Argüello, O (2017) Análisis mediante elementos finitos de la estructura un remolque análisis mediante elementos finitos de la estructura un remolque. Universidad Internacional Sek
- [4] Bone, I., Castillo, G. y Sandoval, C (2015) Análisis de responsabilidad social en las empresas de transporte público interprovincial del Ecuador, caso “cooperativa de transportes Occidentales”. Universidad Politécnica Salesiana.
- [5] Cazzola, G., Alcala, E. y Aparicio, F (2013). Study of the bending response of metal foam-filled beams applied to enhance the rollover behavior of coach structures. International Journal of crashworthiness.
- [6] Arroba Arroba, C. (2013). Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Diseño Mecánico.
- [7] Conde, J. (2015) Simulación de ensayos de

choque en vehículos: validación. Universidad Carlos III de Madrid.

[8] Finite Element Modeling in Fleet Safety Studies. NHTSA Mass-Size-Safety Symposium, 2011.

[9] Introduction to ANSYS Mechanical. ANSYS, Inc., 2015.

[10] Manjarrés Arias, F. J., & Santillán Mariño, E. R. (2016). Análisis Estructural a cargas de impacto frontal de un bus tipo Interprovincial mediante el Método de Elementos. Escuela Politécnica Nacional.

Finitos. Quito, 2016. Normativa INEN NTE 1323:2009.

[11] Pattaramon, Supakit y Burawich, (2015). Improvement of Crashworthiness of Bus Structure under Frontal Impact.

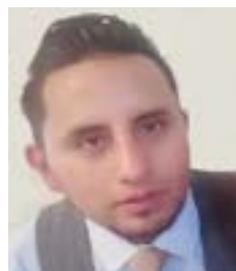
[12] Parra, J., Ríos, R., Mantilla, D., & Rojas, R. (2007). Estudio del comportamiento bajo carga de un chasis para transporte de pasajeros por medio de la tecnología de elementos finitos en la empresa Equitel Cumandes S.A.

[13] Rooppakhun, S., & Bua-Ngam, S. (2013). Finite Element Analysis of High-Decker Bus Frontal Impact Based on ECE-Regulation No. 29. Paper presented at the Advanced Materials Research.

[14] Verdezoto Carrera, J. (2015) Diseño de una carrocería de un bus interprovincial en conformidad con el instituto ecuatoriano de normalización (norma inen 1323:2009) y validación mediante mecánica computacional. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Sangolquí. Carrera de Ingeniería Mecánica.

[15] Cuasapud, D. (2018) Análisis estructural a cargas de impacto posterior por alcance de un bus interprovincial mediante el método de elementos finitos. Universidad Internacional SEK.

6. Biografías



¹Diego Cuasapud. - Nació en Quito-Ecuador, graduado de Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica América, graduado de Magíster en Diseño Mecánico en la Universidad Internacional SEK del Ecuador. Actualmente trabaja en TECNOREV, empresa dedicada a mantenimientos de vehículos automotores, donde se desempeña como Gerente Propietario.



²Edwin Chamba Monar. Actualmente cursando un MBA en la Universidad Internacional SEK - M.Sc. Diseño Mecánico, Ingeniero Automotriz, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Trabaja en CELEC EP, brindando servicios administrativos y de asesoramiento en mantenimiento de flotas vehiculares y compras públicas. Se encuentra emprendiendo un taller mecánico con tecnología CNC, para procesos de manufactura, diseño y capacitación.



³Andrés Cárdenas Yánez. Actualmente cursando un MBA en la Universidad Internacional SEK - M.Sc. Diseño Mecánico, Ingeniero Automotriz, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Docente Tiempo Completo de la Carrera de Mantenimiento y Reparación de Motores a Diésel y Gasolina del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi – Latacunga.



⁴Magíster en Diseño Mecánico, Universidad Internacional SEK, Ecuador. Ingeniero Mecánico Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador. Docente Tiempo Completo de la Facultad de

Energía de las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Autor para correspondencia:
dcuasapud.mdm@uisek.edu.ec

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN	
Fecha recepción	02 octubre 2019
Fecha aceptación	17 diciembre 2019

