



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sede
Latacunga



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

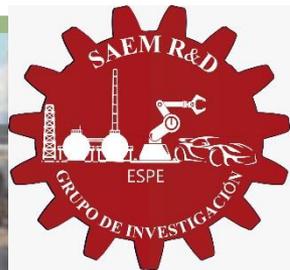
TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

TEMA: “ANÁLISIS DE LAS LESIONES EN LA CABEZA DEL PILOTO PARA
EVALUAR SU SEGURIDAD EN IMPACTOS DE VUELCO EN AUTOS DE
COMPETICIÓN DE TIPO RALLY SEGÚN EL ENSAYO FMVSS 208, POR EL MÉTODO
COMPUTACIONAL EXPLÍCITO NO LINEAL DE ELEMENTOS FINITOS.”

AUTOR:
YASELGA BERNAL, RICHARD STALIN

DIRECTOR:
ING. CRUZ ARCOS, GUILLERMO MAURICIO

LATACUNGA
AGOSTO, 2021





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Sede
Latacunga**



**“LOS OBSTÁCULOS SON ESAS COSAS
ESPANTOSAS QUE VES CUANDO QUITAS LA VISTA
DE TUS METAS”**

HENRY FORD





CONTENIDO

- Resumen
- Antecedentes investigativos
- Planteamiento del Problema
- Metas
- Objetivo General
- Objetivos Específicos
- Hipótesis
- Ensayo FMVSS208
- Normativa Fía
- Maniquís de pruebas
- Desarrollo de modelos CAD
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones





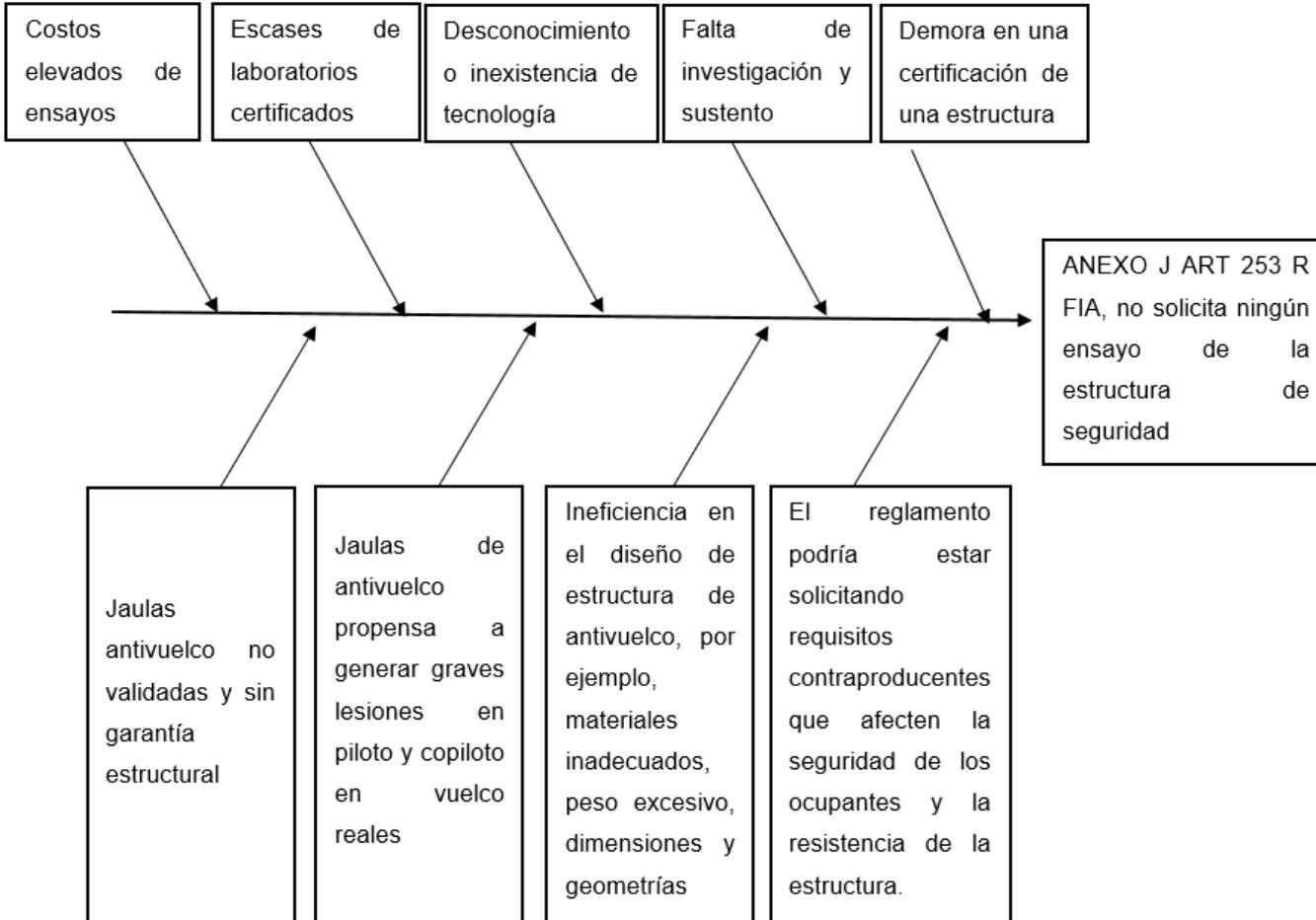
RESUMEN

Para el presente proyecto se plantea modelar un vehículo liviano de tipo hatchback que se utiliza habitualmente para competiciones en carreras de Rally en el país. Con el vehículo se tratará de representar la morfología y geometría del auto para tener un modelo que contenga las propiedades mecánicas como centro de gravedad, peso, momentos de inercia entre otras y que en su gran medida sean similares al real, cumpliendo con condiciones estáticas, dinámicas y de resistencia del vehículo.





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA





METAS

- Representar un vehículo de manera computacional que tenga condiciones dinámicas similares del vehículo real como el centro de gravedad, peso, inercia.
- Conocer el índice de lesiones en la cabeza producidos en un ensayo computacional de vuelco según FMVSS 208
- Evidenciar el comportamiento de la piloto en un evento de vuelco controlado
- Evidenciar la resistencia de las estructuras de seguridad en eventos de vuelco





OBJETIVO GENERAL

Analizar las lesiones en la cabeza del piloto para evaluar su seguridad en impactos de vuelco en autos de competición de tipo rally según el ensayo FMVSS 208, implementando diferentes tipos de jaulas antivuelco que cumplan lo descrito en anexo J – Artículo 253 del reglamento FIA, por el método computacional explícito no lineal de elementos finitos.





OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar en tres dimensiones un automóvil de tipo Hatchback de marca KIA y modelo Picanto con modificaciones para un vehículo de competición de tipo Rally, utilizando el software CAD, para representar condiciones dinámicas de impacto a la volcadura.
- Simular eventos de vuelco por el método de elementos finitos de tres diseños críticos de estructuras de seguridad seleccionando del anexo j – artículo 253 del reglamento FIA, para verificar el comportamiento biomecánico de lesión en la cabeza del maniquí HIBRIDO III 95%, por medio del criterio HIC 15 ms requerido en CEPE R95.





- Proponer una jaula antivuelco segura resistente a impactos de vuelco según FMVSS 208, por medio de simulaciones computacionales, para publicar un sustento técnico que avale los métodos computacionales como alternativa de certificación de estructuras de seguridad.
- Validar resultados obtenidos del maniquí HIBRIDO III 95% verificando y comparando datos obtenidos en calibración por simulación de impacto de péndulo de la cabeza del maniquí según el procedimiento en CEPE R94 y R95, por medio ensayos computacionales, para medir el error de los datos obtenidos.





HIPÓTESIS

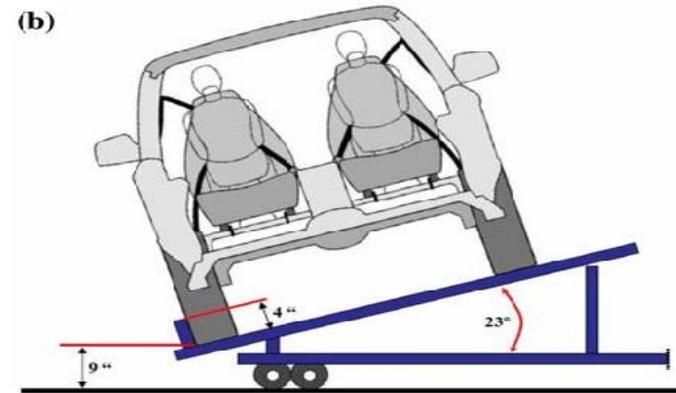
¿Los diseños propuestos y sus requisitos de las estructuras de seguridad expuesto en Anexo J – Artículo 253 Del Reglamento FIA en verdad son lo suficientemente resistentes a eventos de vuelco en condiciones reales como lo indicado en FMVSS 208 para ensayos de volcadura?





INTRODUCCIÓN

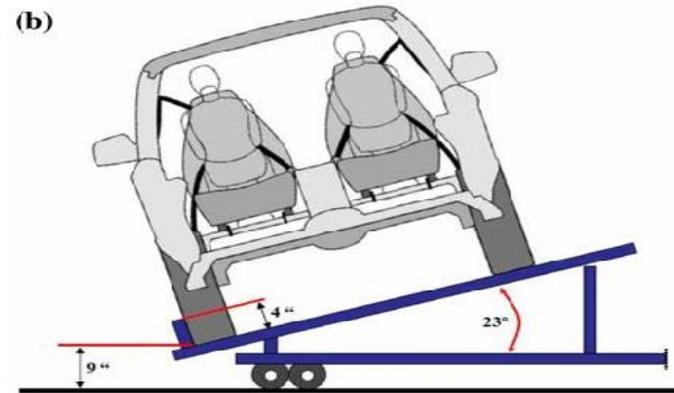
Ensayo FMVSS 208





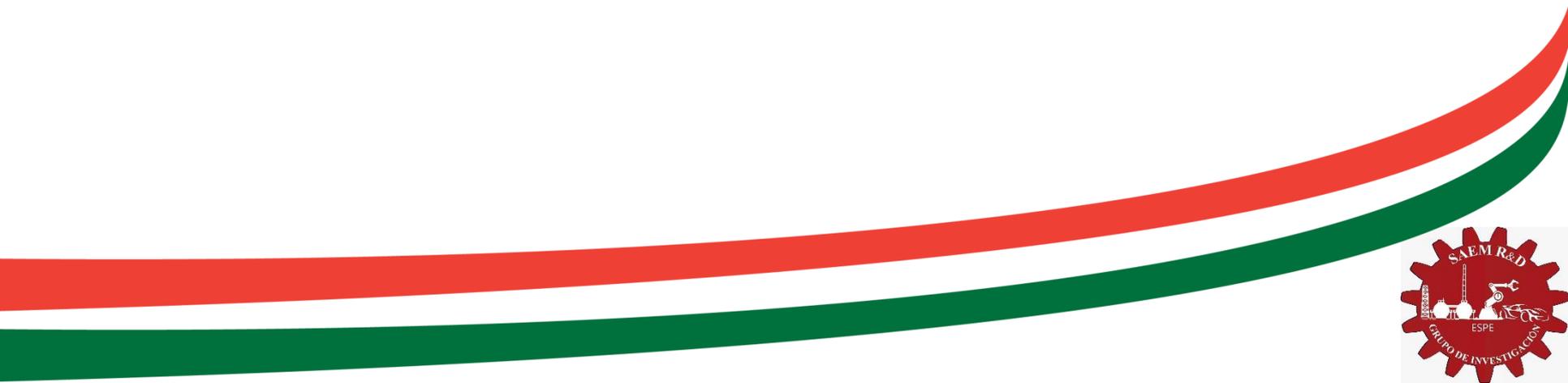
INTRODUCCIÓN

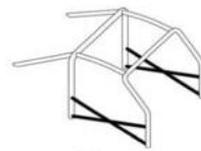
Ensayo FMVSS 208



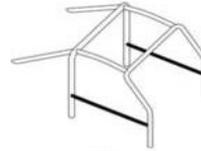


ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD

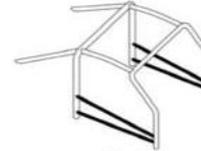




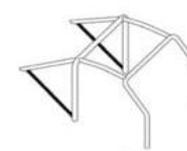
A1
Rinforzo porta a croce
dwg. 253-9



A2
Rinforzo porta semplice
dwg. 253-8



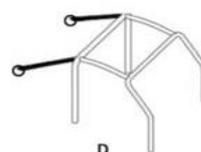
A3
Rinforzo porta doppio
dwg. 253-11



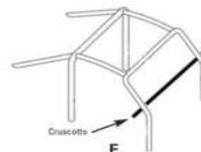
B
Prolungamento
rinforzi porta
dwg. 253-17



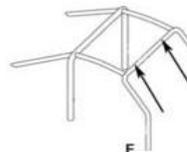
C
Attacco ai duomi
anteriori
dwg. 253-25



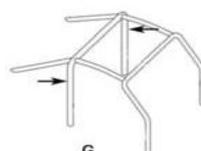
D
Attacco duomi
posteriori



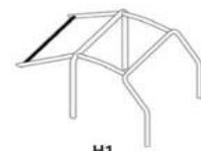
E
Arco anteriore
passa nel cruscotto



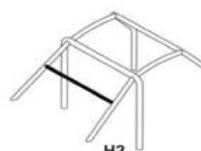
F
Attacco al tetto
zona alette parasole



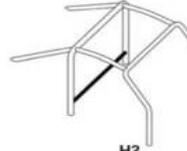
G
Attacchi dell'arco
posteriore sul montante
centrale dell'auto



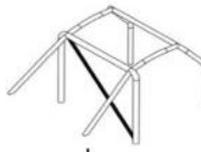
H1
Traversa attacco
cintura
dwg. 253-18



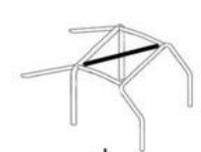
H2
Traversa attacco
cintura
dwg. 253-28



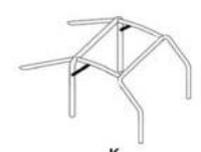
H3
Traversa attacco
cintura
dwg. 253-30



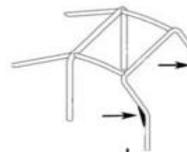
I
Diagonale su arco
principale



J
Diagonale su tetto



K
Rinforzi su arco
posteriore



L
Rinforzi in lamiera
piegature arco

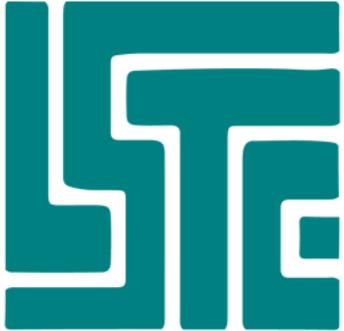




ACERO ESTRUCTURAL ASTM A500

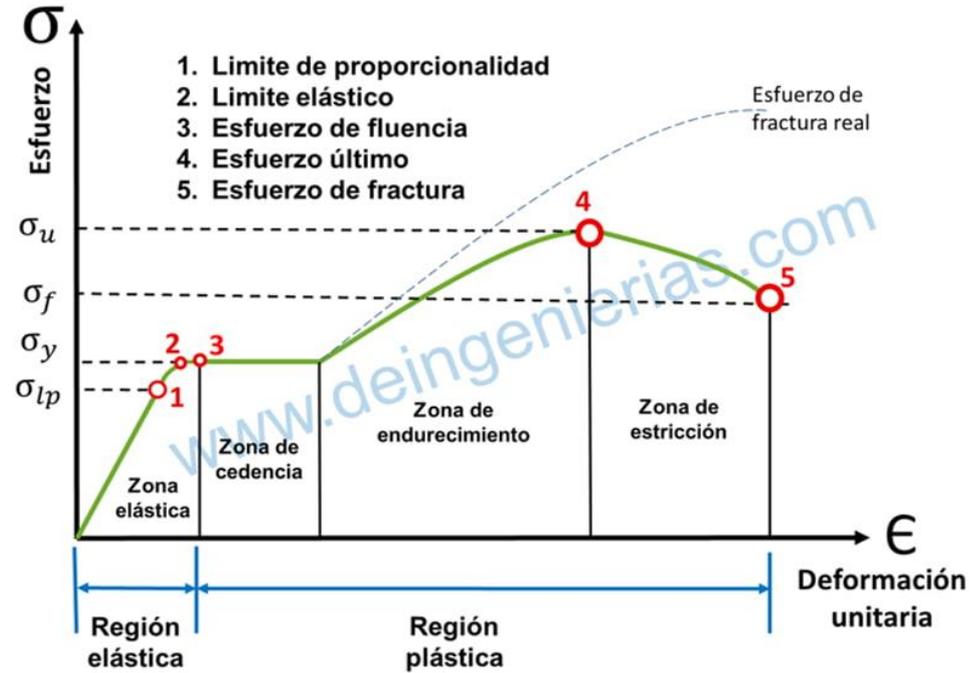
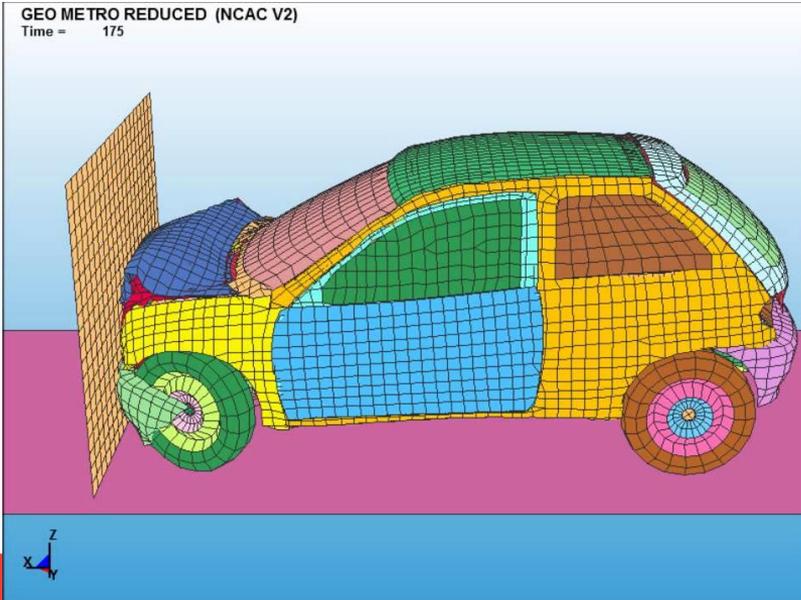
Densidad	7.85 g/cm ³
Esfuerzo de cedencia (σ_y)	317 MPa
Esfuerzo último de tracción (σ_u)	417 MPa
Módulo de Young	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0.3





LS-DYNA

PROGRAMA CAE





HIDRID III 95 PERCENTIL





CRITERIO DE COMPROTAMIENTO EN LA CABEZA
HIC

$$(t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right)^{2.5}$$

MAX 1000 según

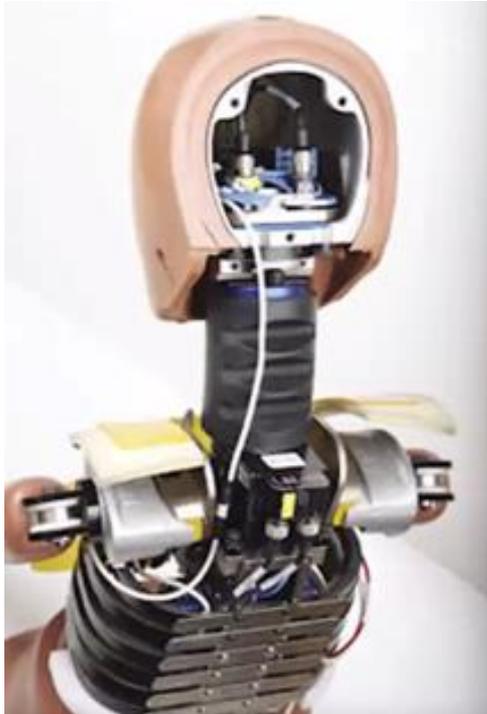
UNECE/CEPE

Max 700 según EURONCAP



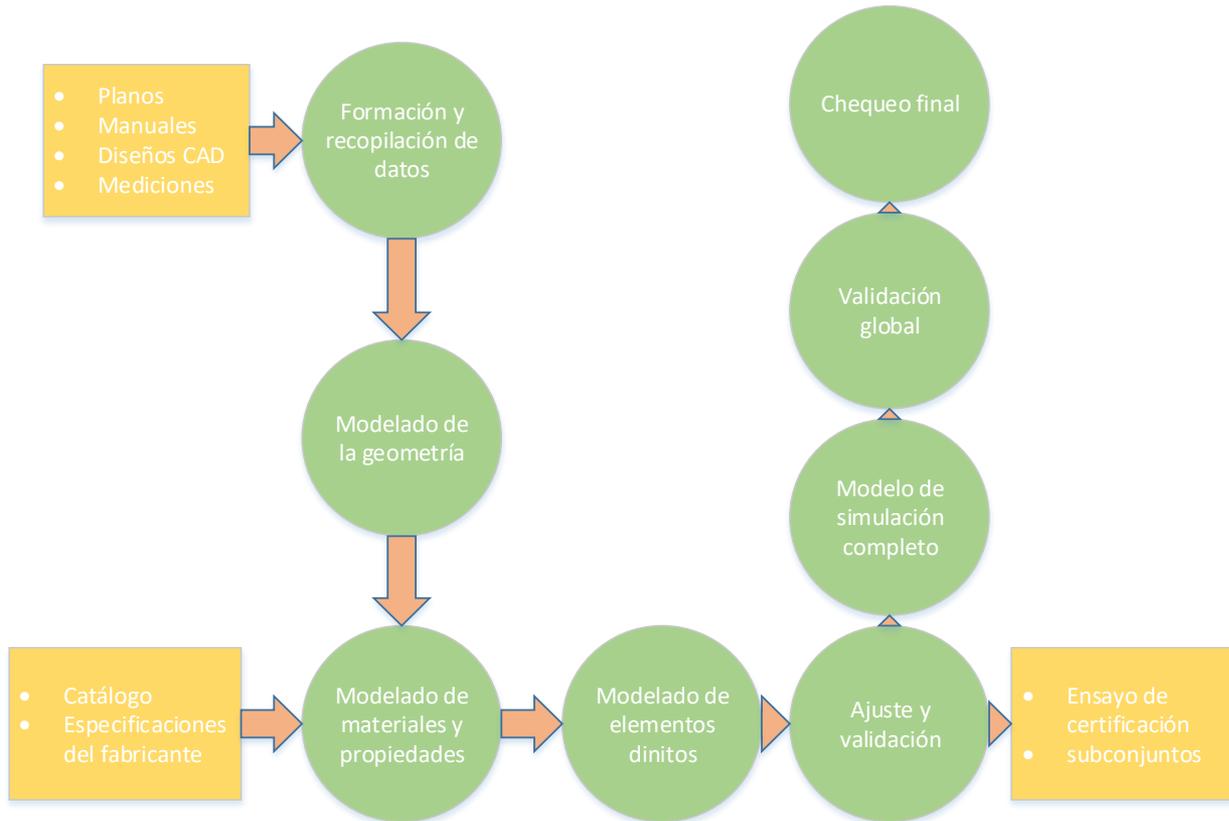


ACELERÓMETROS EN MANIQUÍ





PROCESOS DE VALIDACIÓN DE MODELOS





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sede
Latacunga

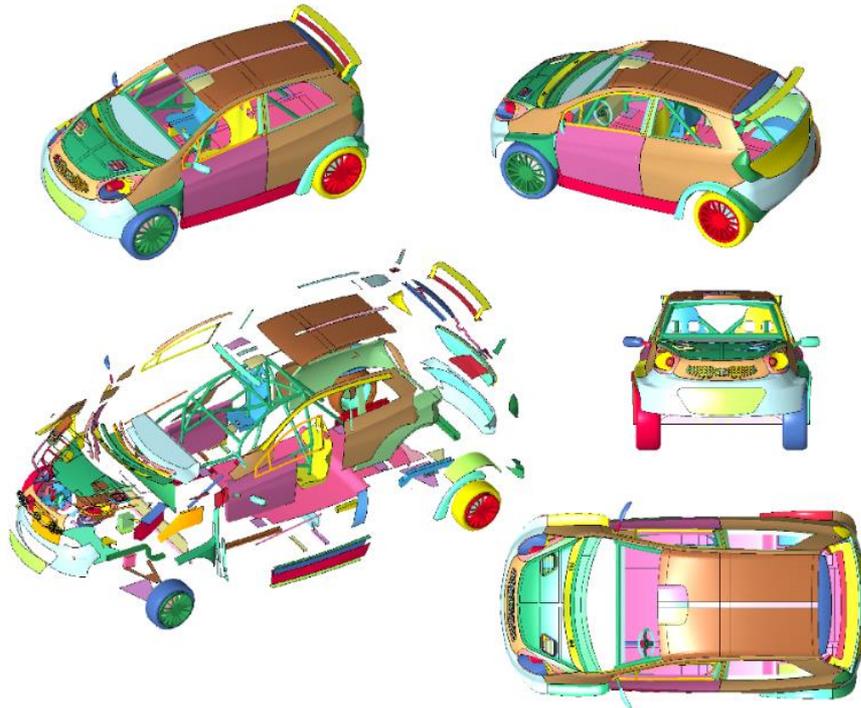


DESARROLLO DE ESTRUCTURAS DE MODELOS CAD



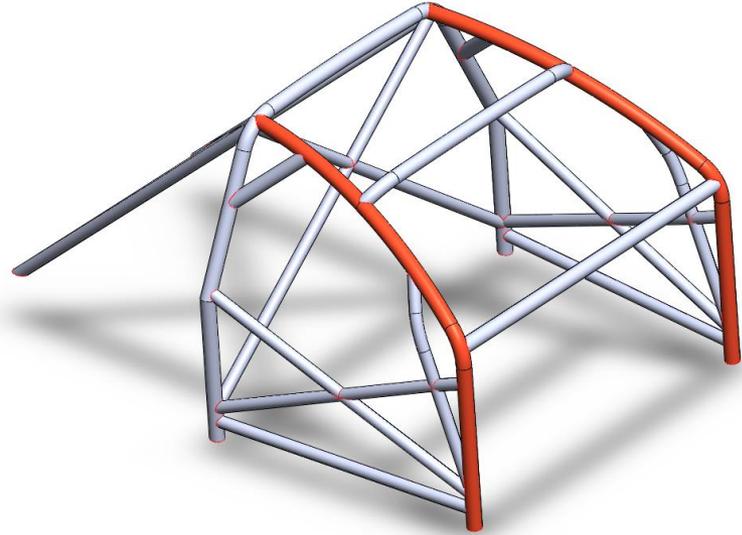
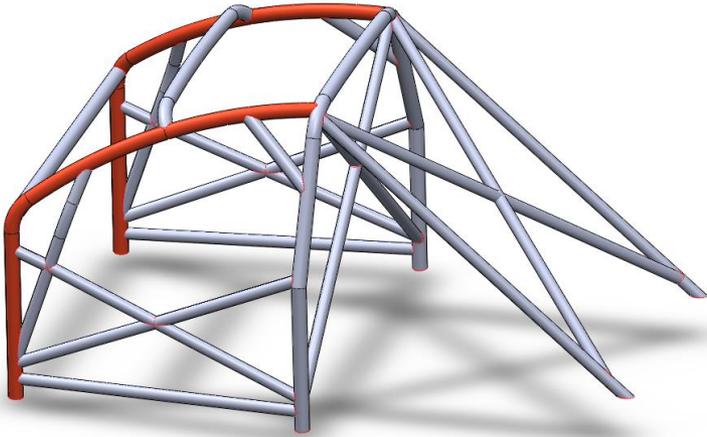


MODELO KIA PICANTO



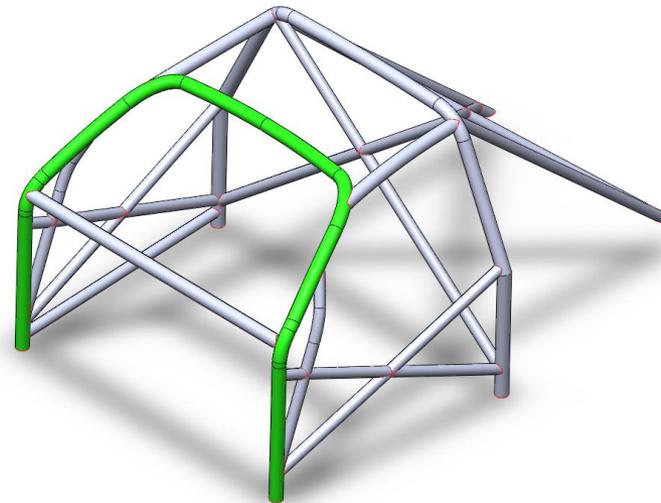
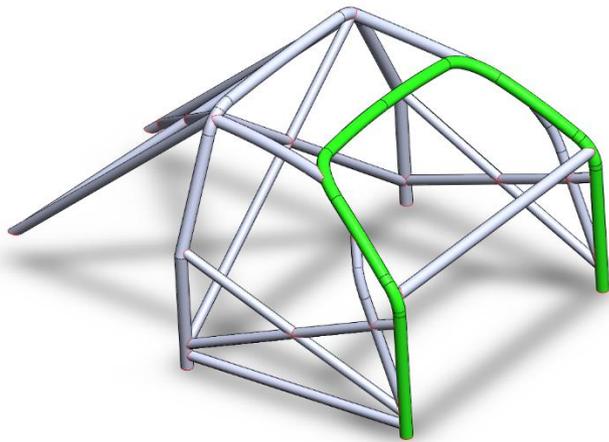


ESTRUCTURA A





ESTRUCTURA B





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Sede
Latacunga**

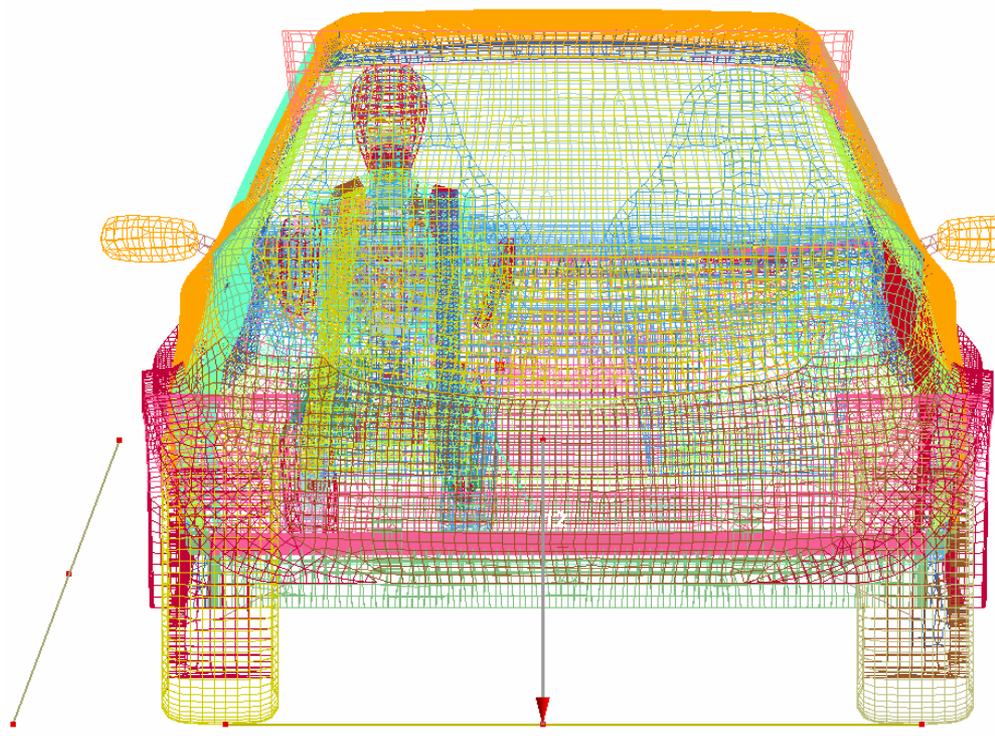


CÁLCULO DE CENTRO DE GRAVEDAD





Medida del centro de gravedad hacia el lateral derecho 658.93183 mm



Measure

Show Shapes' ID

- Vertex
- Edge
- Face
- Shape
- Indep
- Hide Type's Label
- Inverse Label Color

Measure Points' Distance

Measure Edges' Gap

Measure Faces' Angle Diff

Measure Edge to Face Distance

Measure Curve to Curve Distance

Show Points on Curve

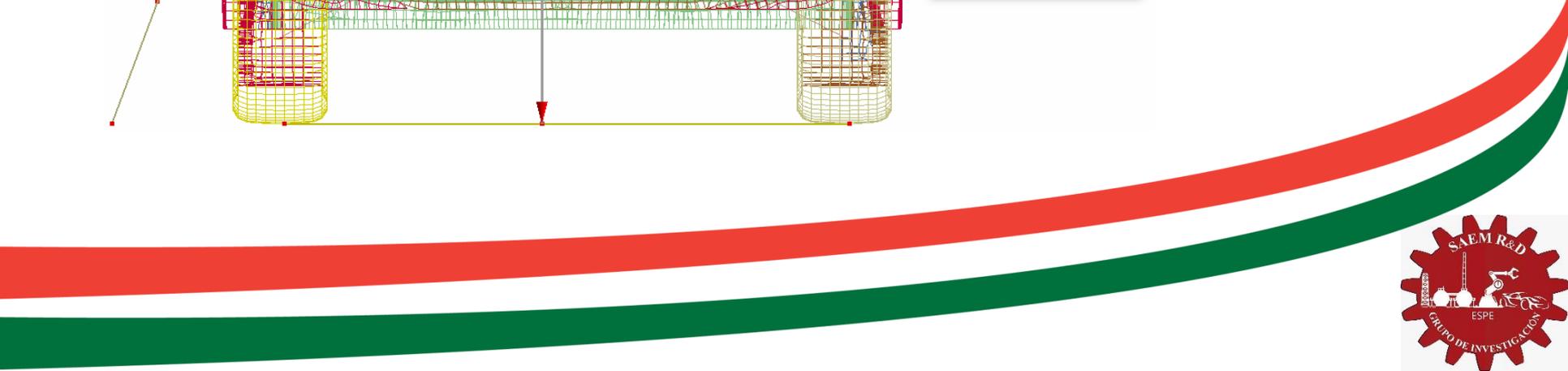
Show Curvature Comb

Show Curvature Analysis

Geometry Information

Type	Line, 12
Start Pnt	0.00000, -827.29281, 1075.35993
End Pnt	0.00000, -1035.79864, 502.45368
Direction	0.00000, -0.34200, -0.93970
Length	609.66897

Close Export...





Medida del centro de gravedad al suelo 609.667 mm

The image shows a 3D wireframe model of a car chassis in a CAD software environment. A vertical dimension line is drawn from the ground plane to the center of gravity, with a value of 609.667 mm. A 'Measure' dialog box is open on the right, showing the geometry information for the dimension line.

Geometry Information	
Type	Line, 14
Start Pnt	0.00000, -416.60001, 277.10001
End Pnt	0.00000, -1035.79858, 502.45367
Direction	0.00000, -0.93970, 0.34200
Length	658.93183





Medida del centro de gravedad hacia un eje 922.5mm

The image shows a CAD software interface with a wireframe model of a car. A measurement tool is active, showing a line segment across the car's width. A 'Measure' dialog box is open, displaying the following data:

Measure		
Show Shapes' ID		
<input type="checkbox"/> Vertex	<input type="checkbox"/> Edge	<input type="checkbox"/> Face
<input type="checkbox"/> Shape	<input type="checkbox"/> Indep	
<input type="checkbox"/> Hide Type's Label		
<input checked="" type="checkbox"/> Inverse Label Color		
<input type="checkbox"/> Measure Points' Distance		
<input type="checkbox"/> Measure Edges' Gap		
<input type="checkbox"/> Measure Faces' Angle Diff		
<input type="checkbox"/> Measure Edge to Face Distance		
<input type="checkbox"/> Measure Curve to Curve Distance		
<input type="checkbox"/> Show Points on Curve		
<input type="checkbox"/> Show Curvature Comb		
<input type="checkbox"/> Show Curvature Analysis		
Geometry Information		
Type	Line, 16	
Start Pnt	6359.50000, 0.00000, 125.50000	
End Pnt	5437.00000, 0.00000, 125.50000	
Direction	-1.00000, 0.00000, 0.00000	
Length	922.50000	
Close Export...		

Below the car model, there is a small 'om(1)' dialog box with the following options:

- In
- Out
- Add
- Rm
- L ID:
- Active:

Buttons: Clear, Save, Load, Deselect, Whole, Active.





ASIGNACIÓN DE VELOCIDAD SEGÚN NORMATIVA

PICANTO RALLY

- Assembly 1
- FEM Parts
- Geom Parts
- Part 1
- Keyword Entity
- Boundary
- Constrained
- Contact
- Database
- Define
- Element
- Initial
- Load
- Set

Keyword Manager

Keyword Edit: Keyword Search

Edit: INITIAL_VELOCITY Edit

Model All RefBy

Name	Count
*INITIAL_VELOCITY (1)	

Keyword Input Form

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 PICANTO RALLY.k)

*INITIAL_VELOCITY (1)						
1	NSID	NSIDEX	BOXID	IRIGID	ICID	
	62	0	0	-1	0	
2	VX	VY	VZ	VXR	VYR	VZR
	0.0	13.410000	0.0	0.0	0.0	0.0

COMMENT:

VY=-Initial velocity in y-direction.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Sede
Latacunga**



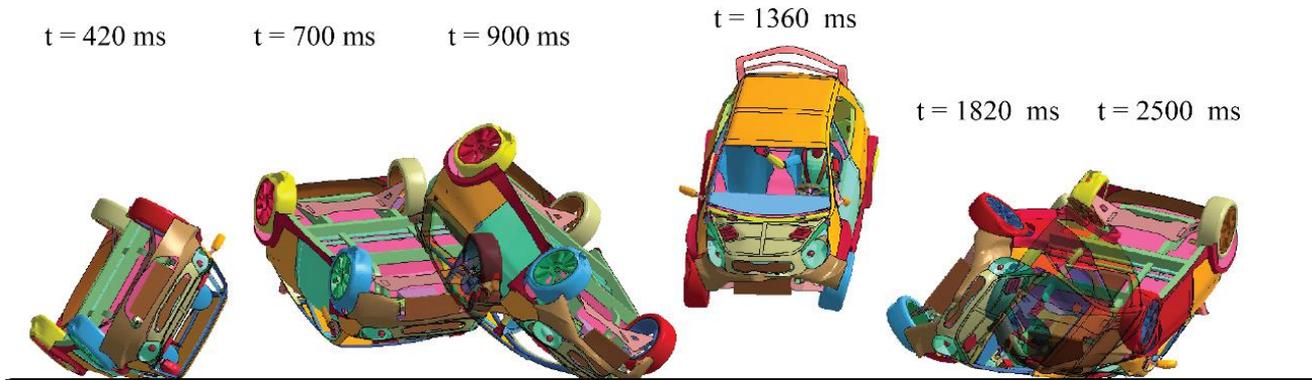
SECUENCIAS DE VULECO





COMPONENTES

Secuencia de vuelco sin estructura de seguridad





Secuencia de vuelco con estructura de seguridad "A"

t = 540 ms

t = 740 ms

t = 940 ms

t = 1380 ms

t = 1840 ms

t = 2640 ms





Secuencia de vuelco con estructura de seguridad "B"

t = 580 ms

t = 720 ms

t = 920 ms

t = 1400 ms

t = 1880 ms

t = 2500 ms



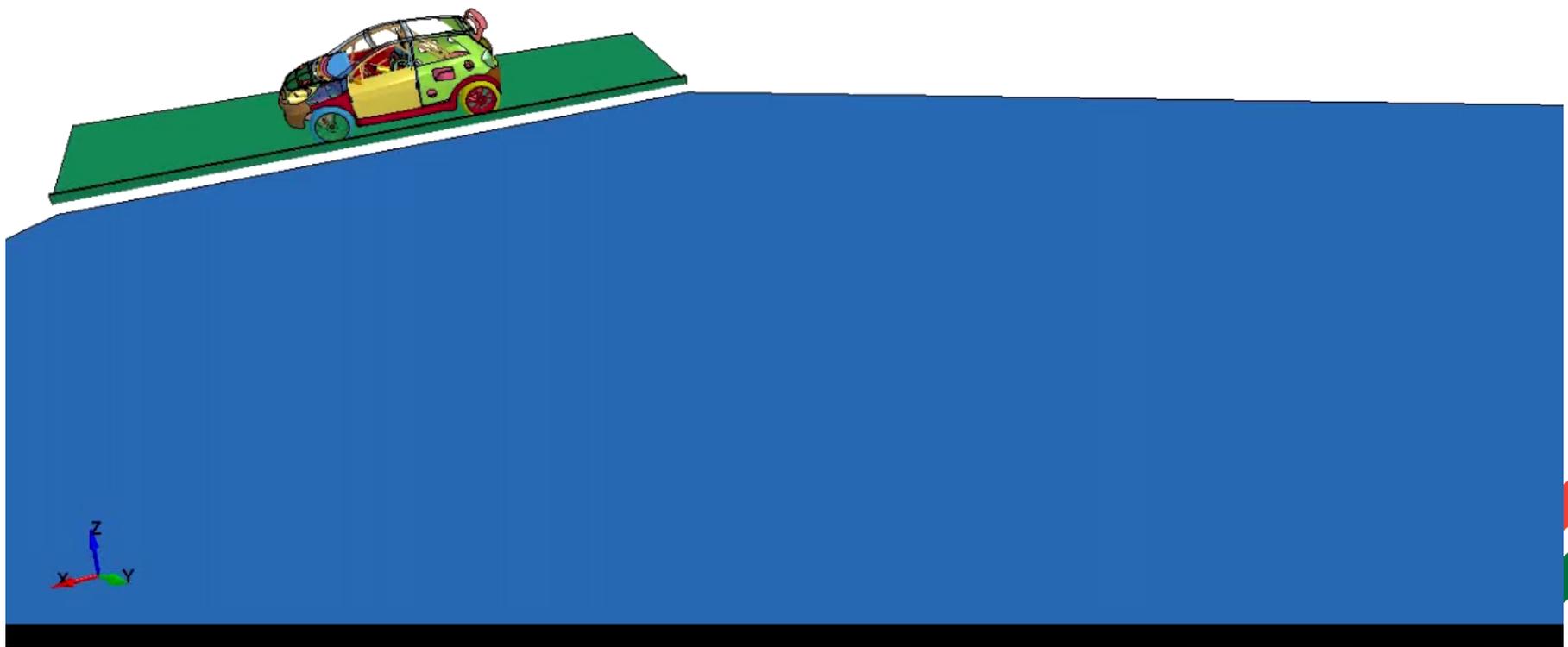


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sede
Latacunga



PICANTO RALLY
Time = 0





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sede
Latacunga

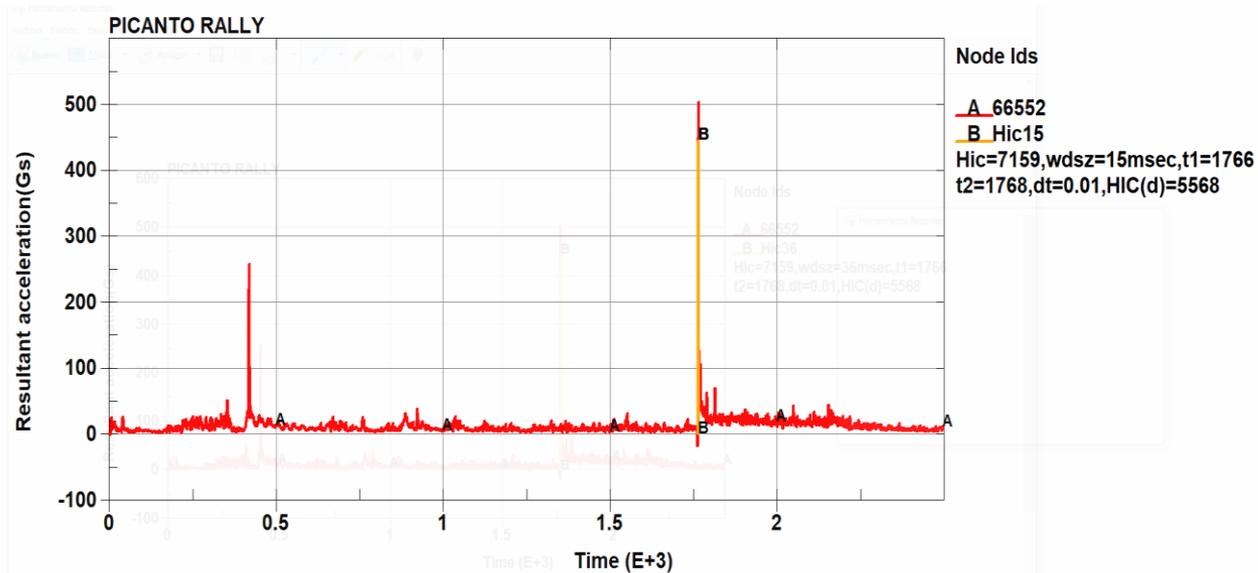


ANÁLISIS DE RESULTADOS



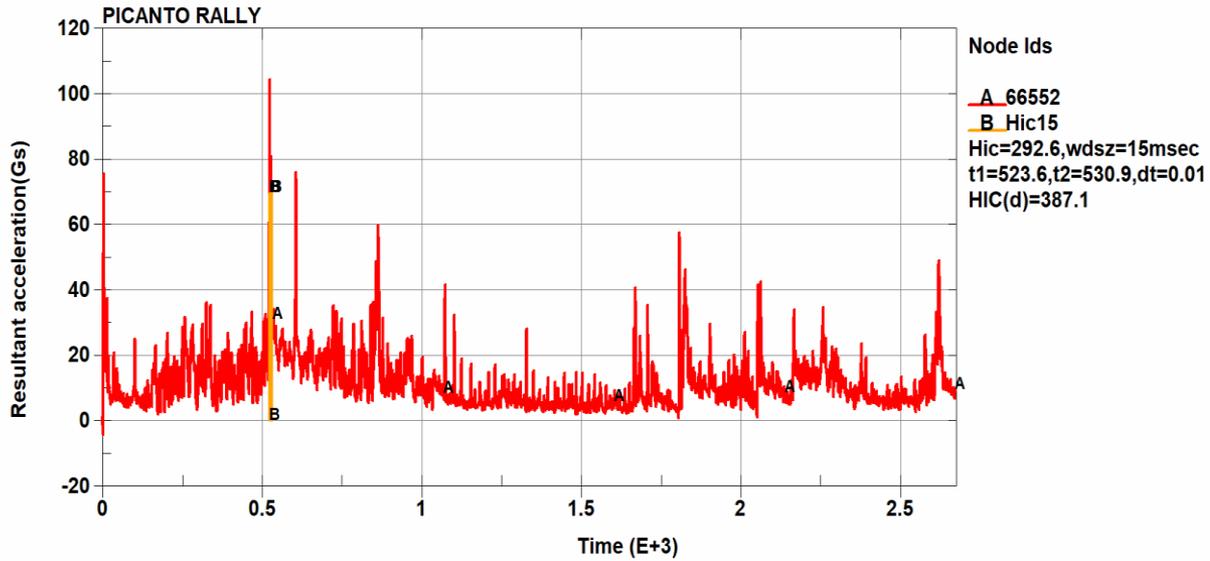


HIC15 Análisis sin estructura de seguridad



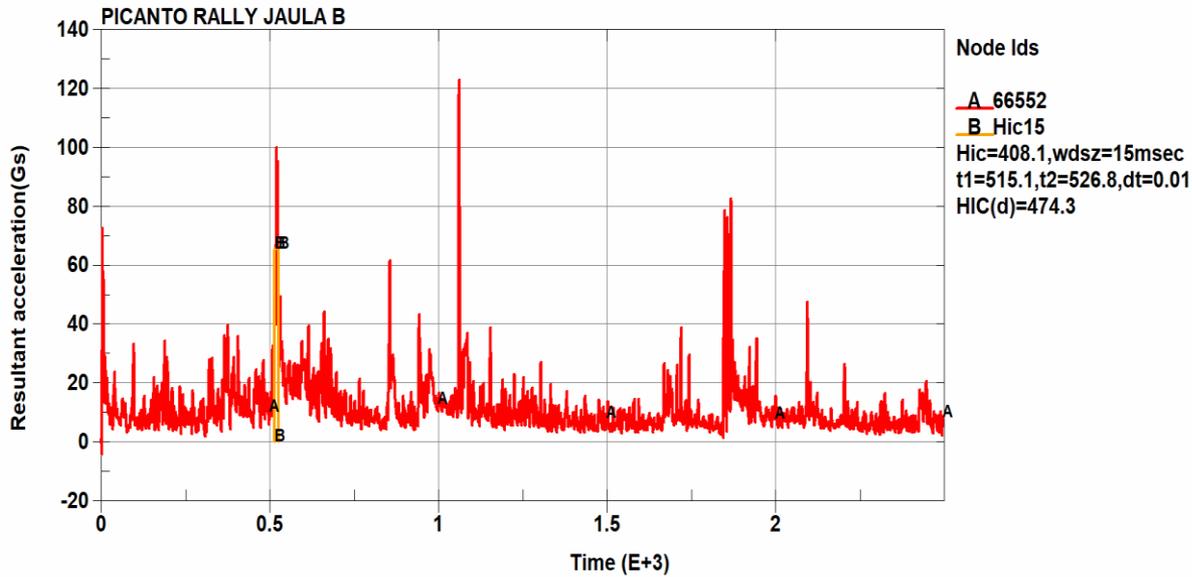


HIC15 Análisis con propuesta tipo A



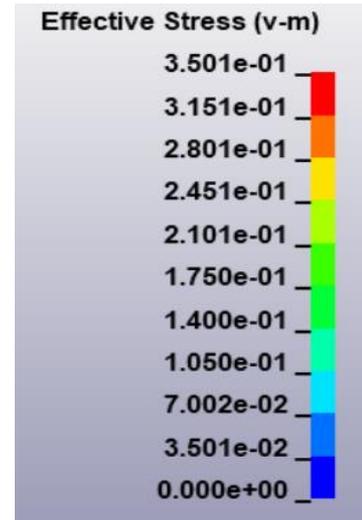
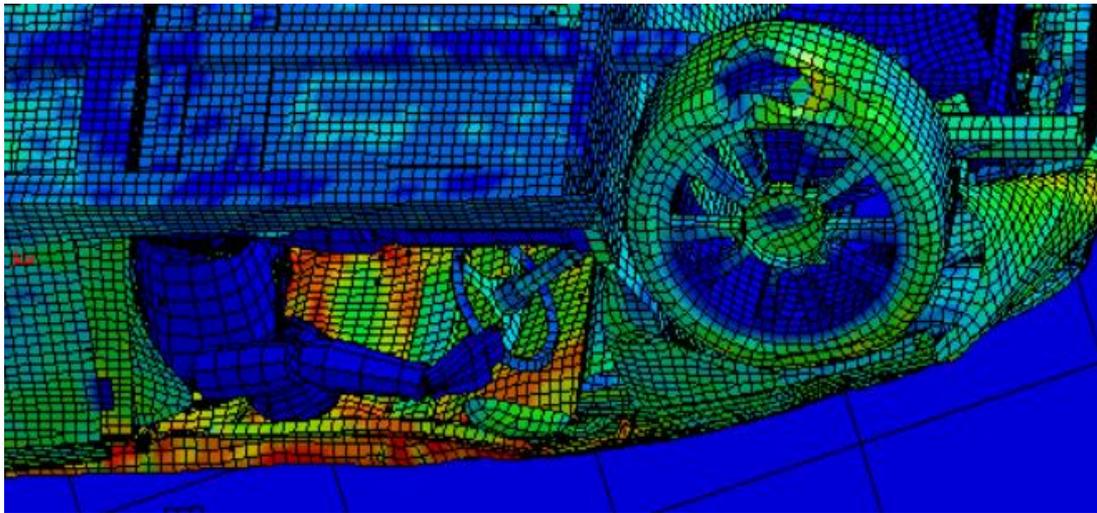


HIC15 Análisis con propuesta tipo B



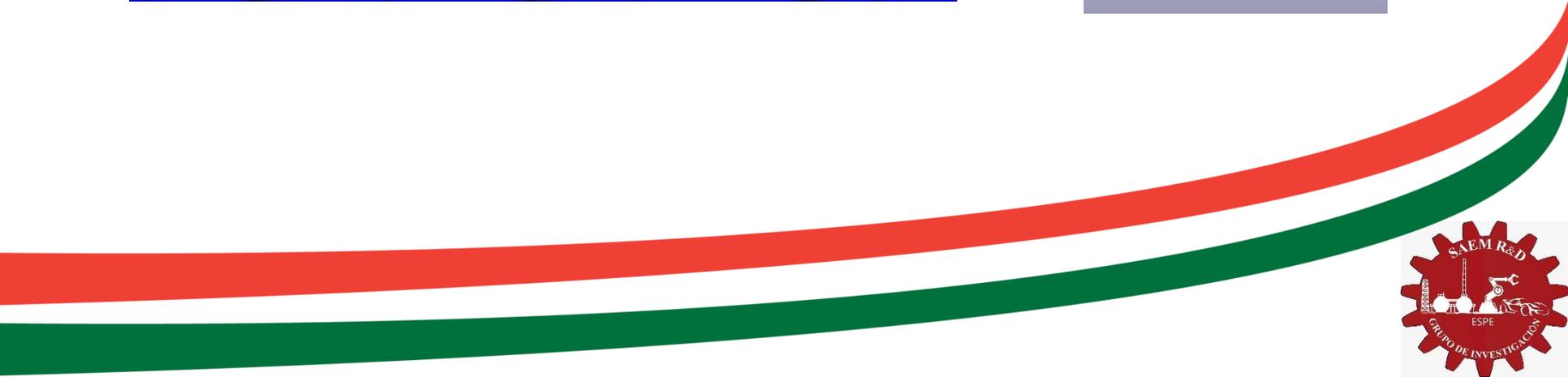
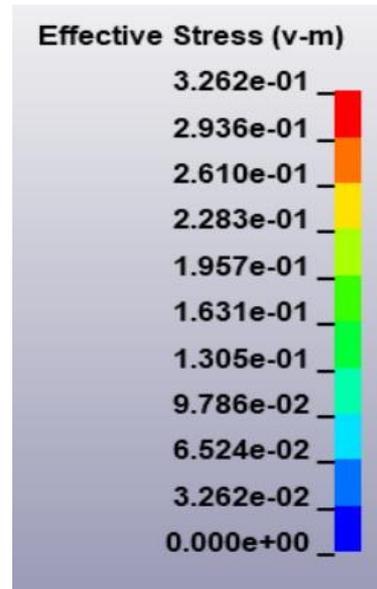
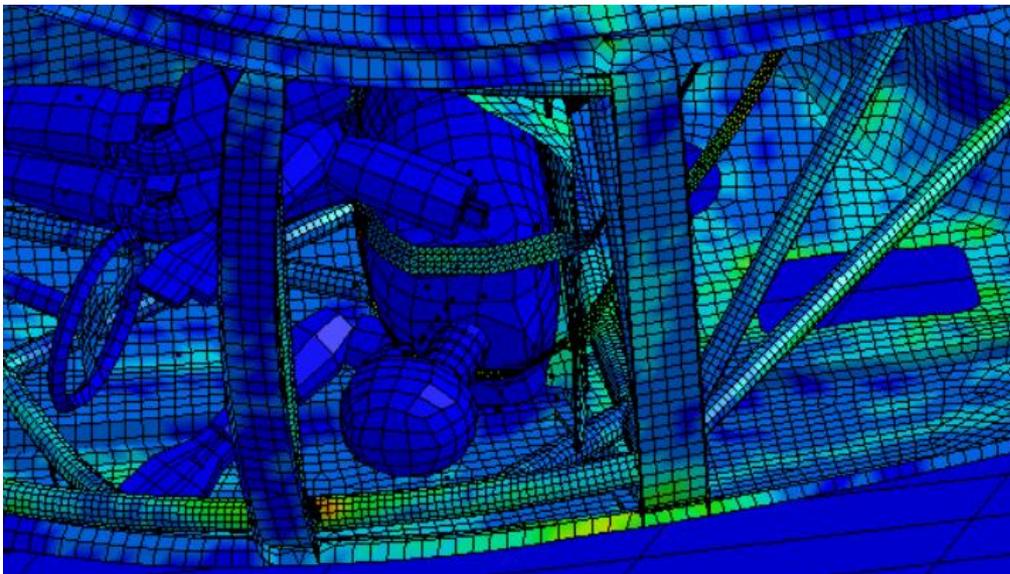


Esfuerzo de Von Mises sin estructura de seguridad



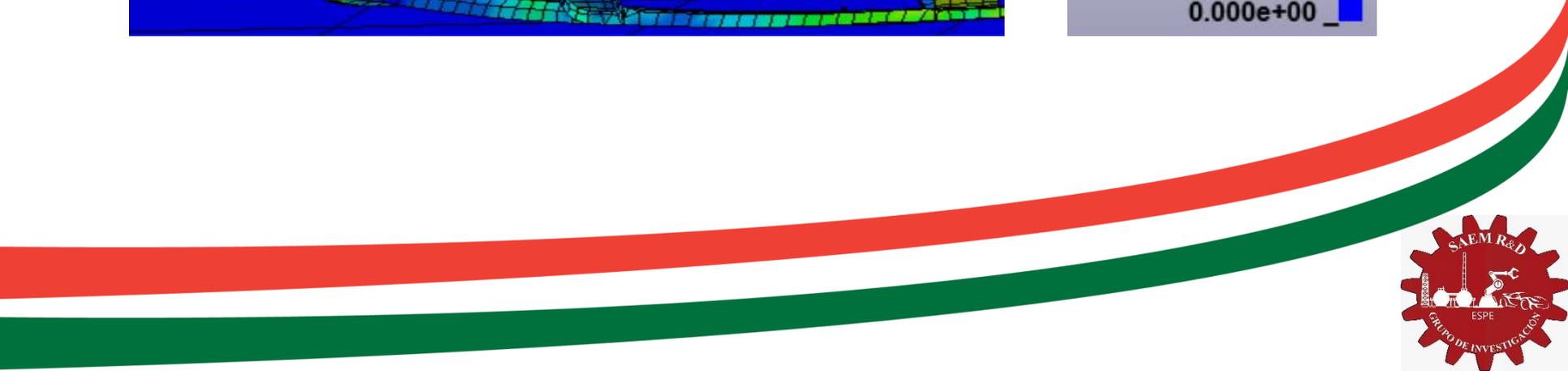
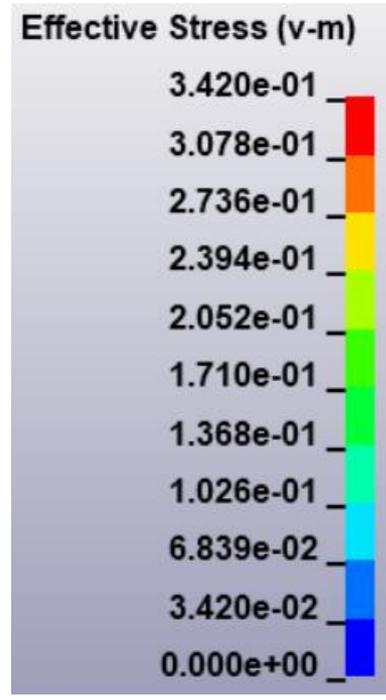
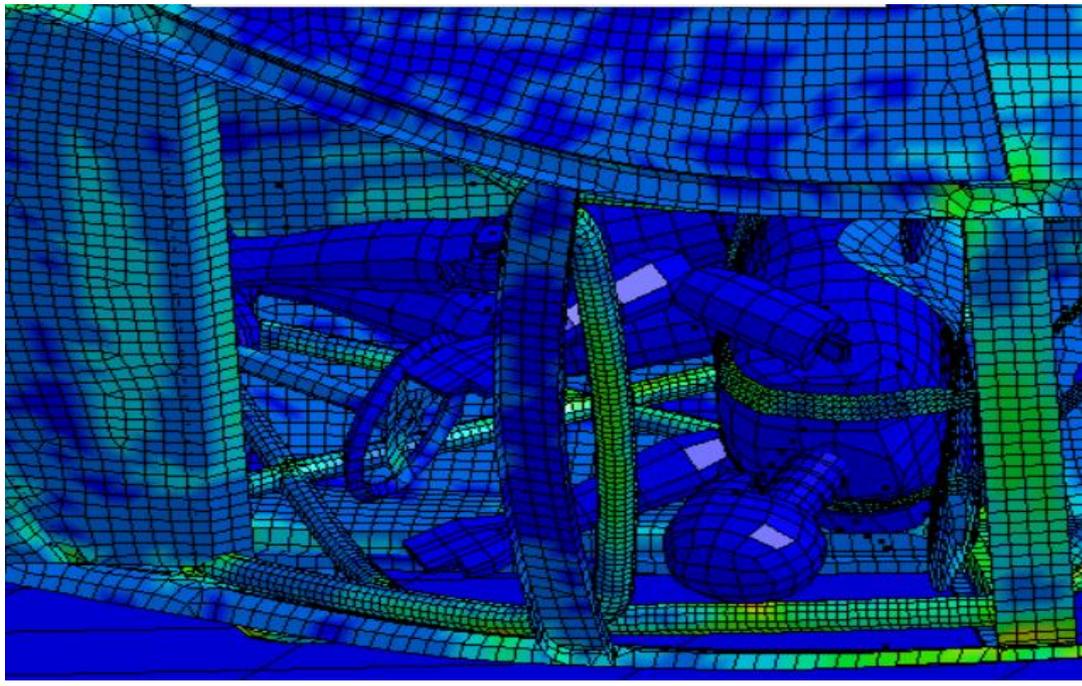


Esfuerzo de Von Mises con estructura de seguridad "A"



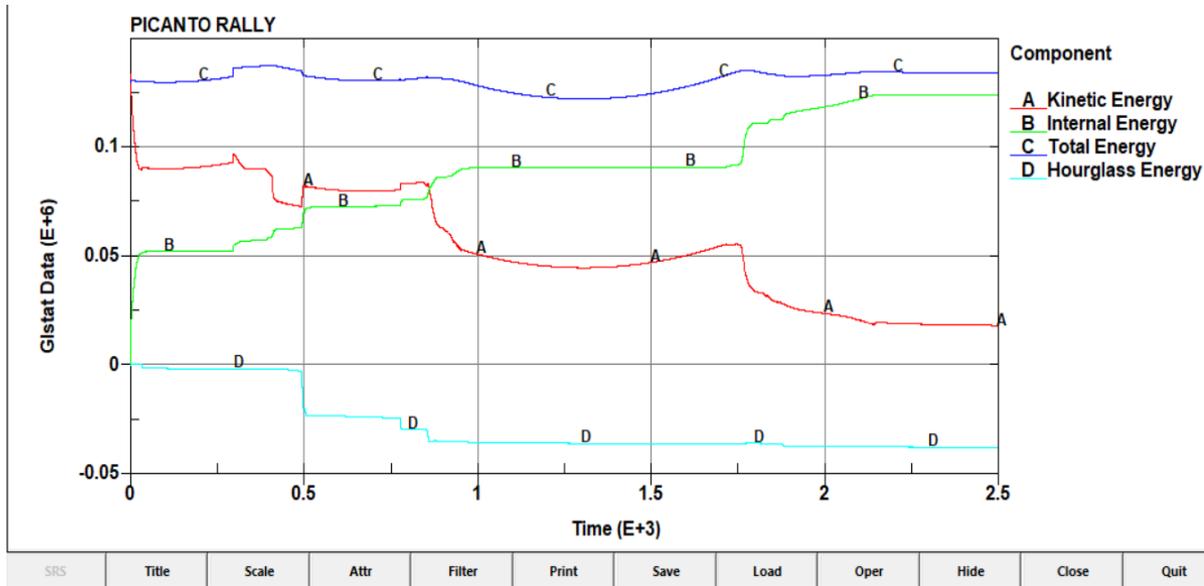


Esfuerzo de Von Mises con estructura de seguridad "B"



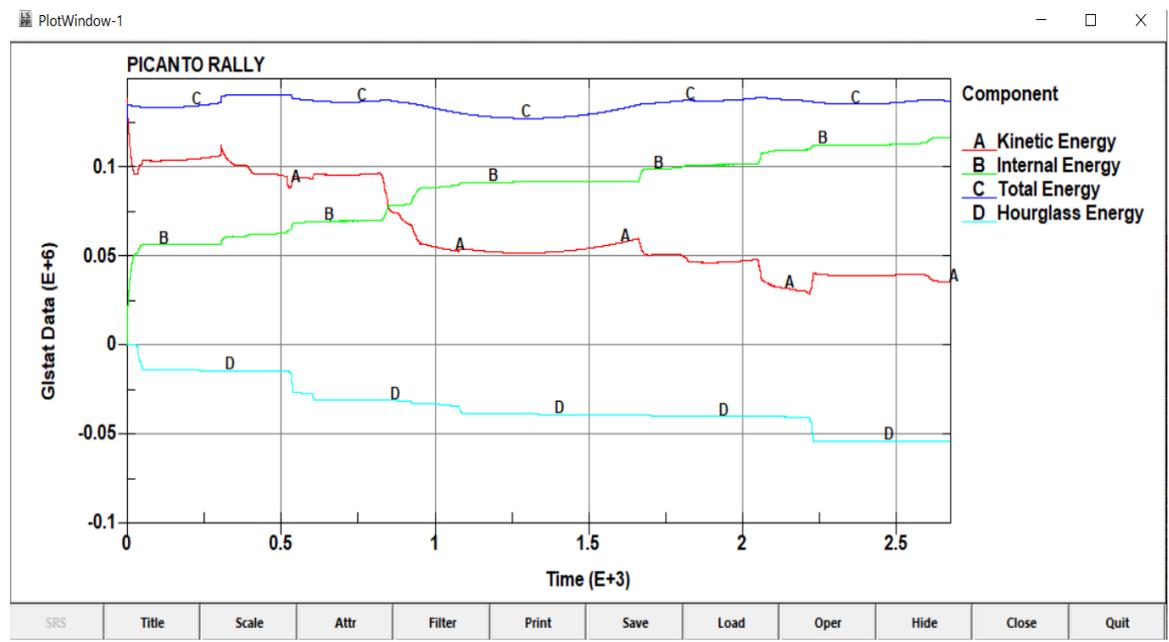


Balance de energías del modelo sin estructura de seguridad



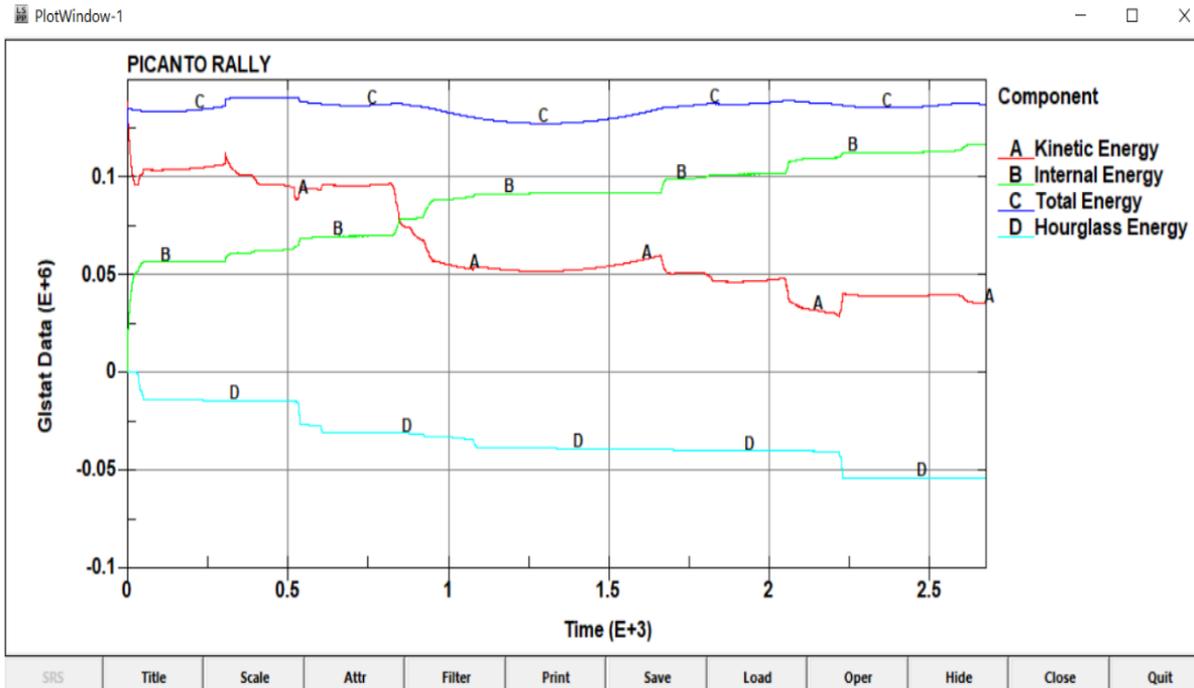


Balance de energías del modelo con estructura de seguridad "A"





Balance de energías del modelo con estructura de seguridad "B"





Propuesta	Sin jaula	Propuesta A	Propuesta B
HI15	7159	292.6	408.1
Peso del vehículo completo (kg)	1364.81	1573.56	1621.21
Velocidad de impacto (mm/ms)	13.41	13.41	13.41
Tipo de cinturón de seguridad	6 puntos	6 puntos	6 puntos
Distancia de primer impacto DP (mm)	3346.41	4107.82	4257.3
Distancia final recorrida DF (mm)	13011.6	14482.9	13242.9
Vueltas completas V	2	2	2
Distancia de estructura de seguridad con cabeza inicial (mm)	257.505	197.18	197.18
Deformación de estructura de seguridad (mm)	350.15	42.151	48.514
Distancia de cabeza con estructura de seguridad en máxima deformación	Colisiona	42.151mm	Colisiona





CONCLUSIONES

- El modelado de automóviles es factible realizarlo en el programa CAD, puesto que se manipula dimensiones, trabajar por medio de tipo Shell, es decir, cascaron para que posteriormente se den dimensiones en el programa CAE y por medio de otros parámetros se pueda obtener una simulación adecuada para que se asemeje hacia la vida real.
- Por medio de las simulaciones realizadas en el programa CAE se obtiene resultados que se asemejan a la vida real, con esto se logra evitar una inversión fuerte en los ensayos, anteriormente para identificar si un modelo de un automóvil funcionaba, era necesario invertir una fuerte cantidad de dinero para un vehículo y realizar pruebas reales.





- Se concluye que aumenta el grado de supervivencia mientras se agreguen las estructuras de seguridad que son implementadas por la FIA porque antes de agregarlas el conductor muere debido a que el HIC15 es elevado en un 715.9% de lo que recomienda CEPE y agregando estructuras de seguridad estas disminuyen considerablemente obteniendo resultados de sobrevivencia en el siniestro, con la estructura “A” el HIC15 es menor al 30% y la propuesta “B” mayor a un 40% pero no sobrepasa a lo establecido por CEPE.





- La propuesta de estructura “A” es la más conveniente debido a que no se contempla en ningún momento contacto entre la cabeza y la estructura de seguridad teniendo un valor máximo de aproximación de 42.151mm con lo que se determina que mientras la cabeza tenga contacto con algún tipo de sólido el HIC15 aumenta, se llega a esta conclusión pues en la propuesta de estructura “B” la cabeza tiende a tener contacto leve y el HIC15 aumenta con un valor de 408.1 pero sobrevive debido a que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por CEPE, sin embargo cuando existe un contacto en proporciones mayores como el análisis propuesto sin estructura de seguridad el HIC15 es mayor con un valor de 7159 y el nivel de supervivencia del conductor se ve reducido drásticamente incluso llega a perder la vida.





- Se determina que mientras más peso tenga el cuerpo más largo será el contacto de la estructura con el piso entre tiempo y distancia pues el peso del análisis sin de estructura de seguridad es de 1364.81kg y la distancia entre el primer vuelco del automóvil es de 3346.41mm a los 0.420s. Mientras que en la propuesta de estructura “A” el peso es de 1573.56kg y el contacto sucede a los 0.54s con una distancia de 4107.82mm mientras que en la propuesta de estructura “B” tiene un peso de 1621.21kg y el primer contacto suscita a los 0.580s con una distancia de 4257.3mm.





RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar análisis en otras partes del cuerpo, es decir que pasa en el pecho en las piernas, etc para obtener datos más reales de lo que sucederá dentro de la cabina del piloto puesto que solo se analiza en esta investigación lo que sucede en la cabeza.
- Se recomienda para el caso del mallado tener un buen diseño del auto, si no se lo tiene el mallado suele dar errores y por ende la simulación no funciona o arrojará datos erróneos cuyo caso sería un peligro si posterior al diseño se realizara un prototipo.





- Se recomienda utilizar el programa CAE para ensayos no lineales, pues nos da datos precisos al momento de un ensayo, este programa puede analizar lo que sucede cada milésima de segundo dando así un resultado más acorde a la vida real.
- Se recomienda implementar la estructura de seguridad “A” debido a que esta es la más factible pues al momento de realizar el análisis arroja resultados muy buenos de supervivencia del piloto, el Hi15 es inferior al 30% y nunca llega a existir contacto entre la cabeza y la estructura de seguridad.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Sede
Latacunga**



**“DEL ÉXITO NO APRENDES ABSOLUTAMENTE
NADA. DE LOS ERRORES Y DE LOS
CONTRATIEMPOS, SÍ”.**

NIKI LAUDA

