

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

# ANÁLISIS Y SIMULACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y PROPUESTA DE HOMOLOGACIÓN DEL VIDRIO DE SEGURIDAD DE USO AUTOMOTRIZ SOMETIDO A PRUEBAS DE IMPACTO

**AUTORES:** LUNA BUSTILLOS ANTHONY LEONARDO  
MORALES TOAPANTA NORMAN ARIEL

**ING. MAURICIO CRUZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**



“El secreto para una vida exitosa  
es encontrar nuestro propósito  
y luego hacerlo”

*Henry Ford*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Contenido

Objetivos

Justificación del problema

Metas

Hipótesis

Marco teórico

Desarrollo experimental y virtual

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones



# OBJETIVO GENERAL

Analizar y simular pruebas de impacto para la identificación y propuesta de homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar normativas para la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz.
- Identificar las características del vidrio de seguridad de uso automotriz para su análisis en los diferentes requerimientos de las normativas de identificación y homologación.
- Realizar el ensayo de fragmentación para su respectiva comparación de los resultados comercializados y permitidos.
- Ejecutar la prueba de impacto con esfera de acero para su respectiva comparación de los resultados comercializados y permitidos.
- Efectuar el ensayo de determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí) para su respectiva comparación de los resultados comercializados y permitidos.
- Evaluar los resultados de cada ensayo de impacto realizado para la correspondiente identificación y propuesta de homologación.



# JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los vehículos para circular en las calles, autopistas y carreteras deben cumplir con normas de seguridad activa y pasiva.

Al realizar esta investigación se podrá obtener una visión sobre las normativas de seguridad que deben cumplir los vidrios en automotores, diferentes procesos y ensayos para su cumplimiento.

Esta investigación se enfoca en el estudio de los vidrios de seguridad que forman parte de la seguridad pasiva y activa del vehículo.

Identificar y proponer la homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz mediante ensayos de fragmentación e impactos.



# METAS

Recopilar información sobre las normativas y reglamentos nacionales y/o internacionales que permiten la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz.

Ejecutar los ensayos y pruebas normadas: Fragmentación, Impacto con esfera de acero y Impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí), con la finalidad de recopilar información útil para la identificación y homologación.

Realizar el análisis CAE del vidrio de seguridad de uso automotriz para comprobar los datos obtenidos en los ensayos.

Realizar el análisis comparativo de los resultados obtenidos entre los normados con el fin de elaborar un informe



# HIPÓTESIS

¿El vidrio de seguridad de uso automotriz que se fabrique y/o se comercialice en el país presentará propiedades y variables iguales o mejores a las mismas que se encuentran regidas bajo las normativas de identificación y homologación?

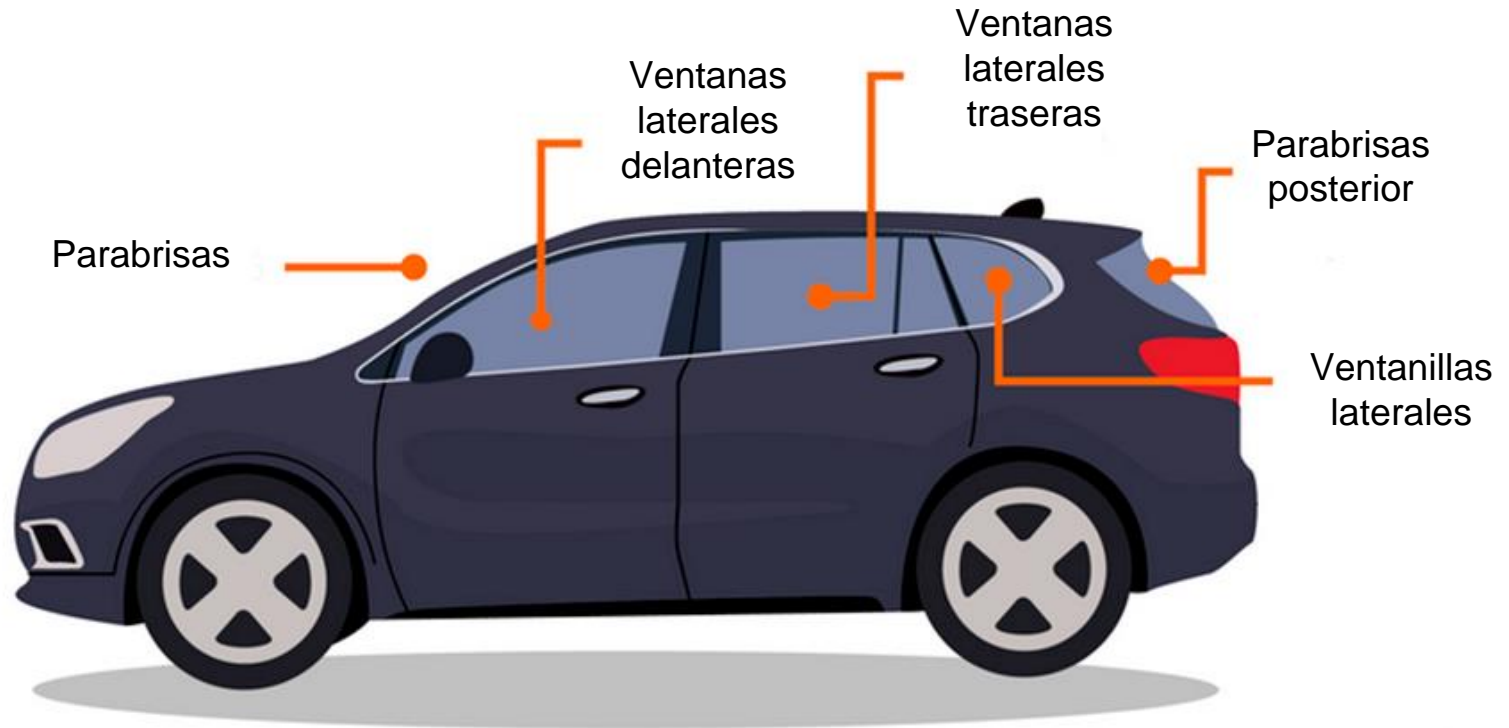




# Marco Teórico



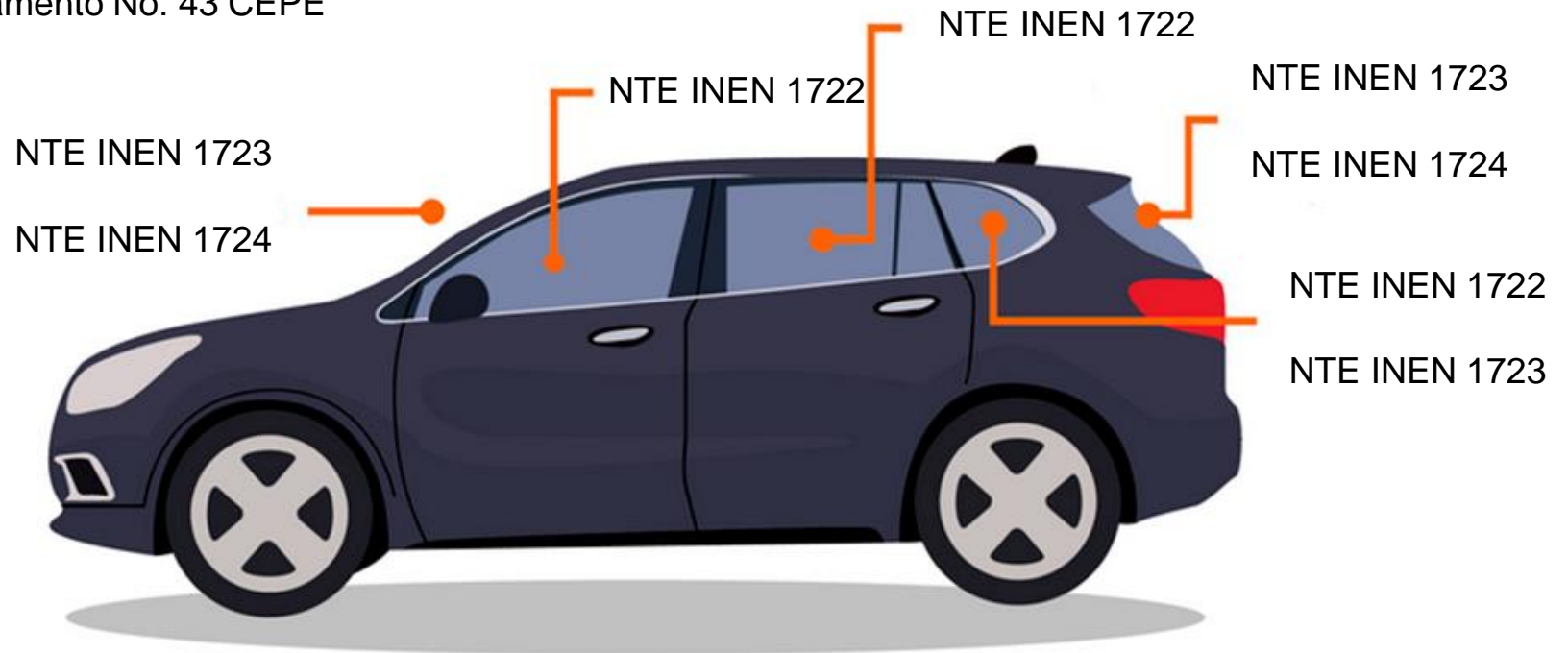
# SEGURIDAD PASIVA Y ACTIVA EN EL VEHÍCULO



# NTE INEN 1669

Norma Armonizada Mercosur

Reglamento No. 43 CEPE



# Desarrollo experimental y virtual



# NTE INEN 1722

## Determinación de la fragmentación



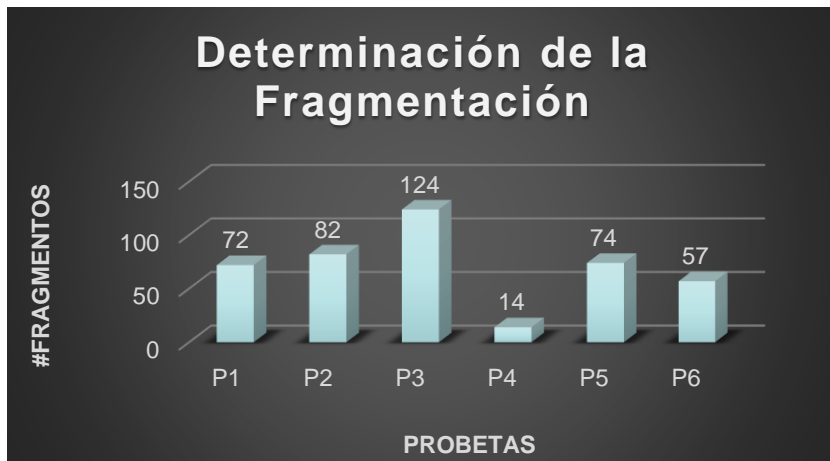
Este método consiste en romper las muestras a ensayar con un dispositivo en el punto prescrito para el impacto y proceder al conteo de partículas o pesaje de la más grande. (NTE INEN 1722, 2015)



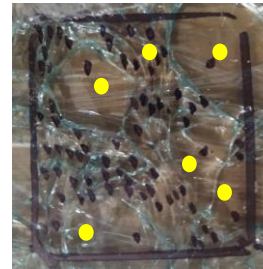
# Procedimiento de ensayo



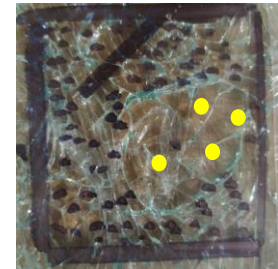
# Resultados obtenidos del ensayo



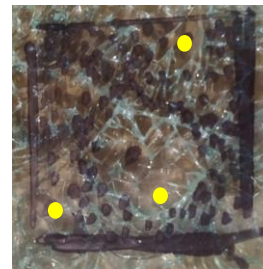
Probeta 1



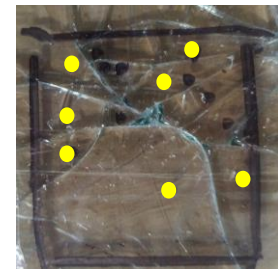
Probeta 2



Probeta 3



Probeta 4



Probeta 5



Probeta 6





# NTE INEN 1723

## Determinación de la resistencia a la prueba de impacto con esfera de acero

Consiste en dejar caer desde una altura determinada, sin brindar ningún impulso, una esfera sólida de acero de masa definida para los diferentes tipos de vidrios, dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde el centro de la probeta. (NTE INEN 1723, 2011)

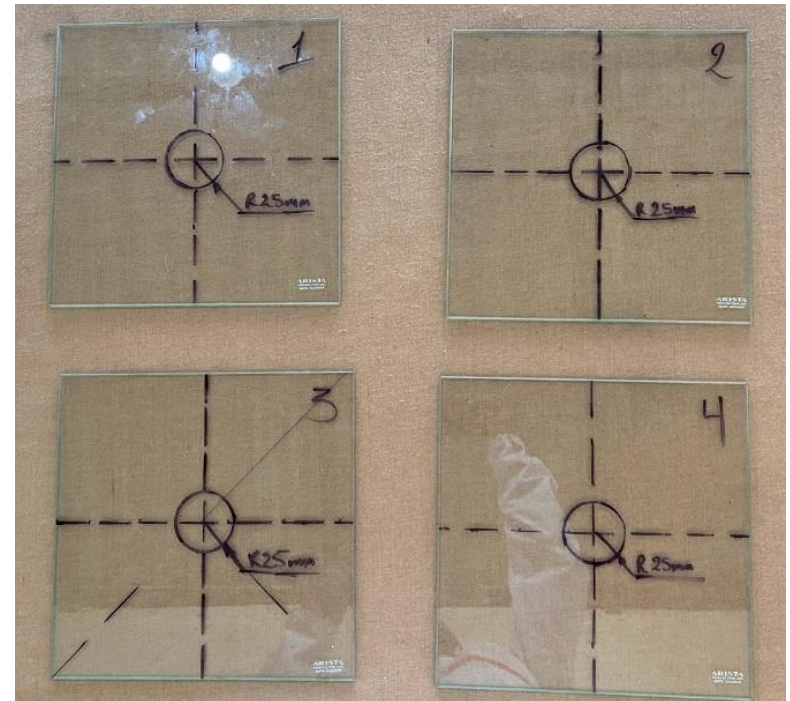
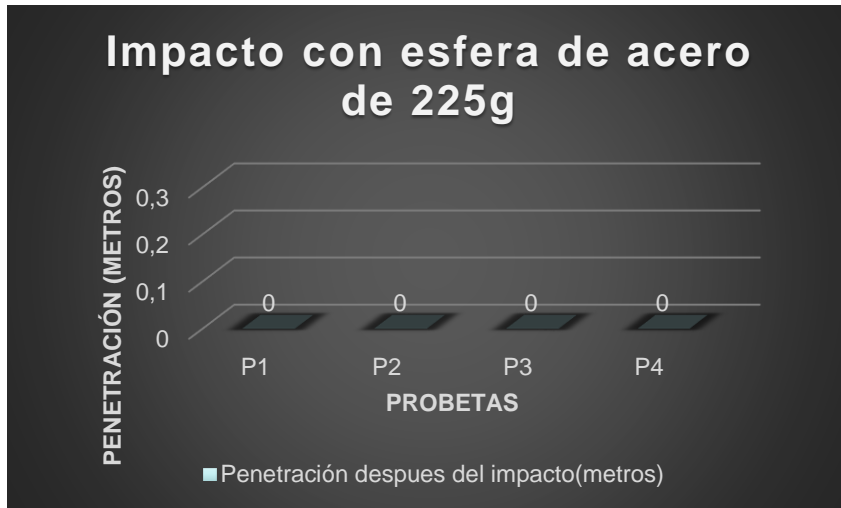




# Procedimiento de ensayo

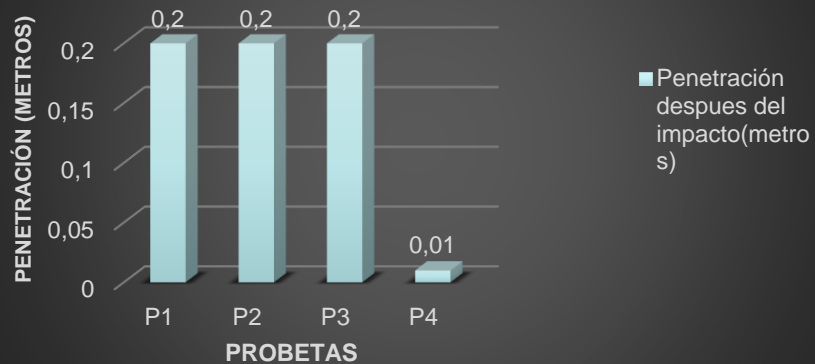


# Resultados obtenidos del ensayo



# Resultados obtenidos del ensayo

Impacto con esfera de acero de 2,25Kg



Probeta 1



Probeta 2



Probeta 3



Probeta 4





# NTE INEN 1724

## Determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (maniquí)



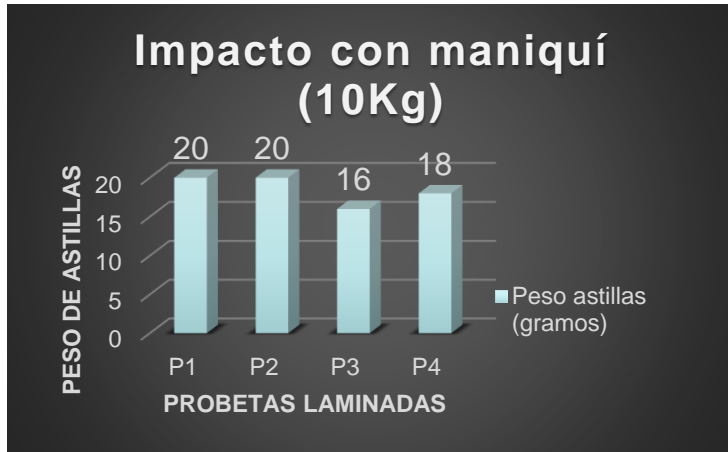
Consiste en dejar caer de cabeza un maniquí de características prescritas en la normativa, desde una altura determinada, sin que se dé ningún impulso, dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde el centro de la probeta de ensayo. (NTE INEN 1724, 2011)



# Condiciones de ensayo



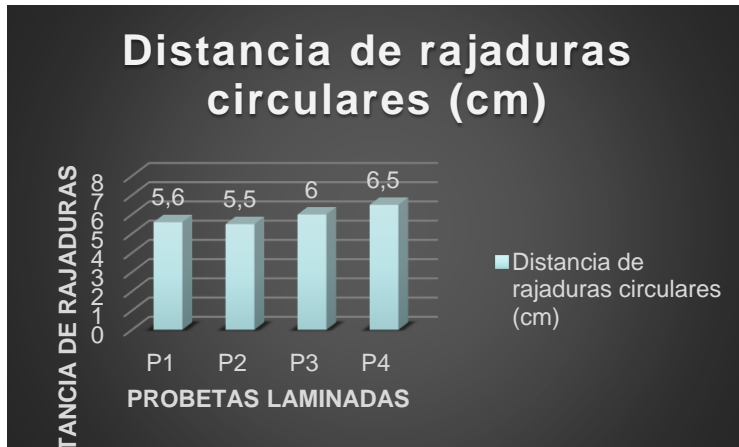
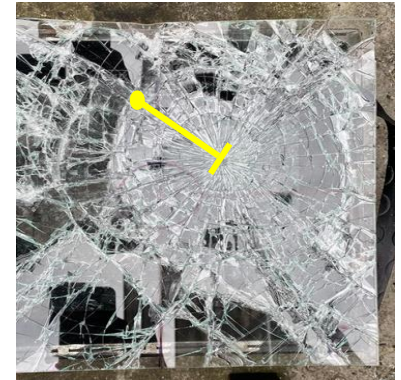
# Resultados obtenidos del ensayo



Probeta 1



Probeta 2



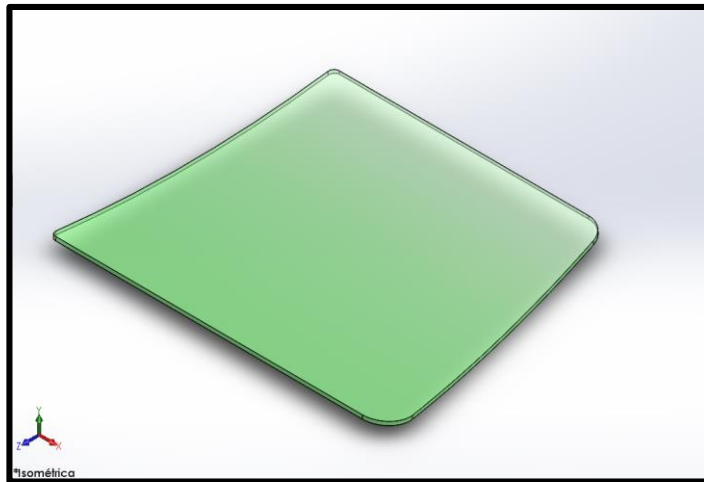
Probeta 3



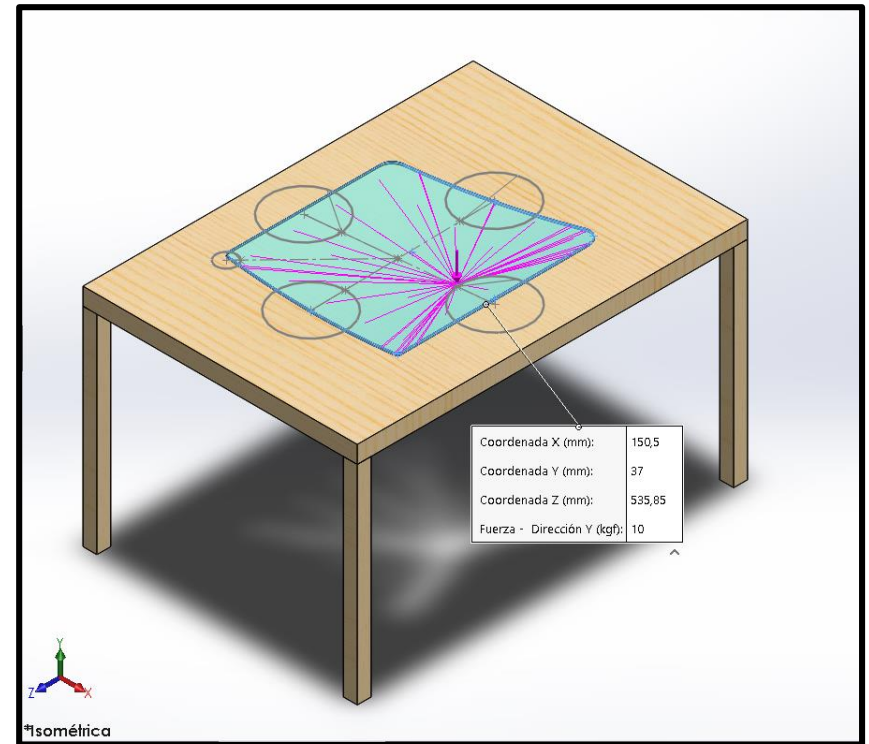
Probeta 4



# SIMULACIÓN ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN



Vidrio templado curvo

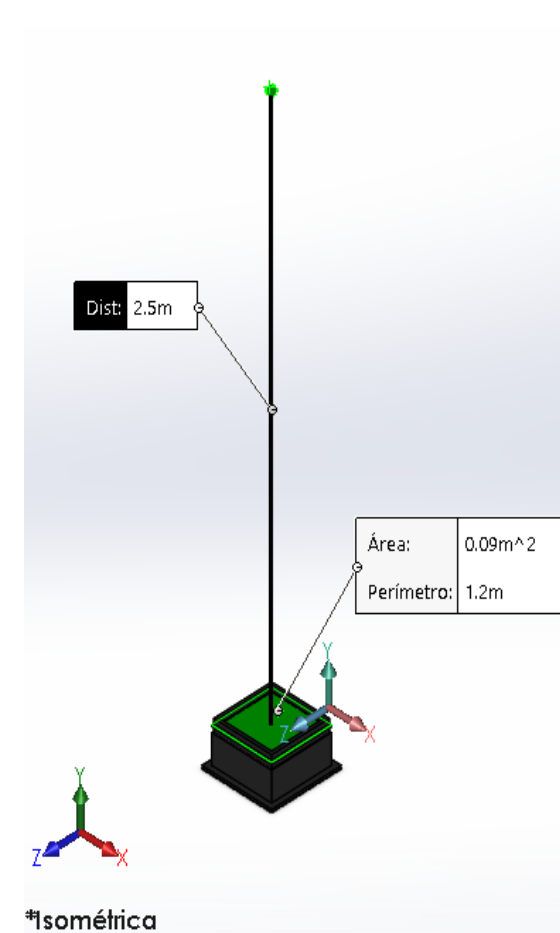
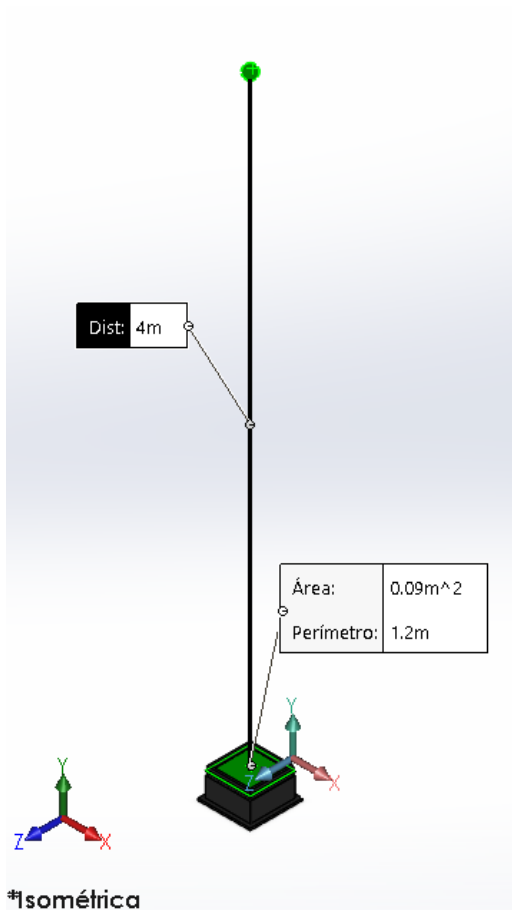
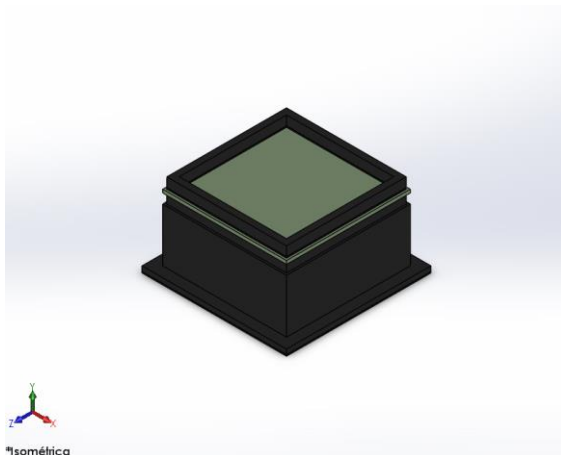
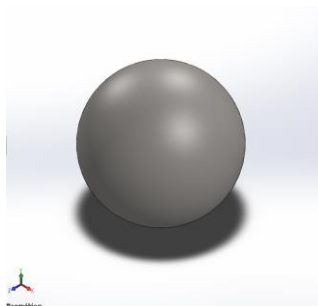


Fuerza de Aplicación (Kgf)



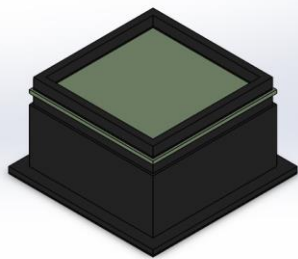
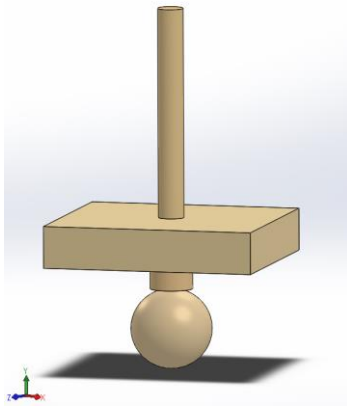


# SIMULACIÓN DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO CON ESFERA DE ACERO

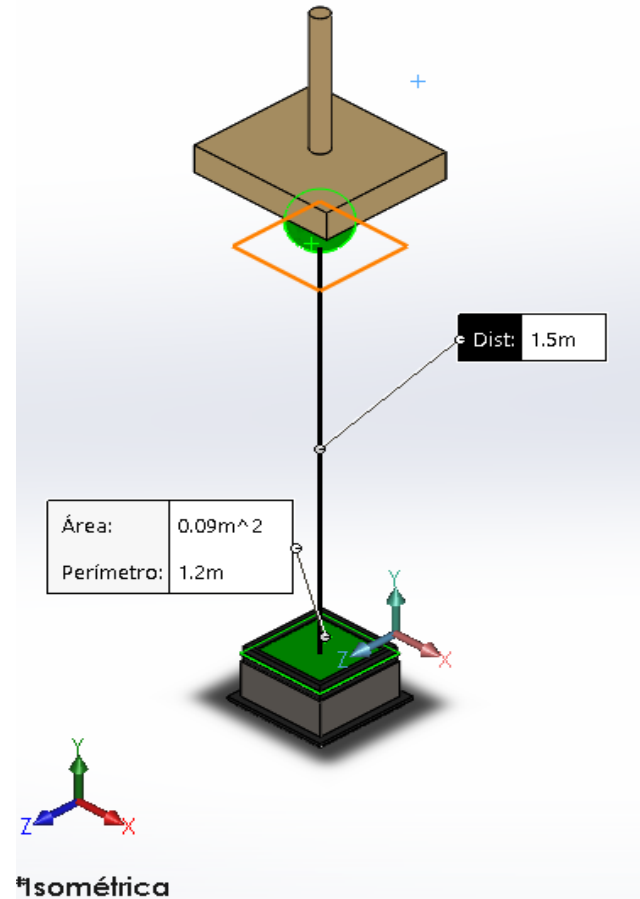




# SIMULACIÓN ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO SIMULADO DE LA CABEZA (ENSAYO MANIQUÍ)



Isométrica



Isométrica

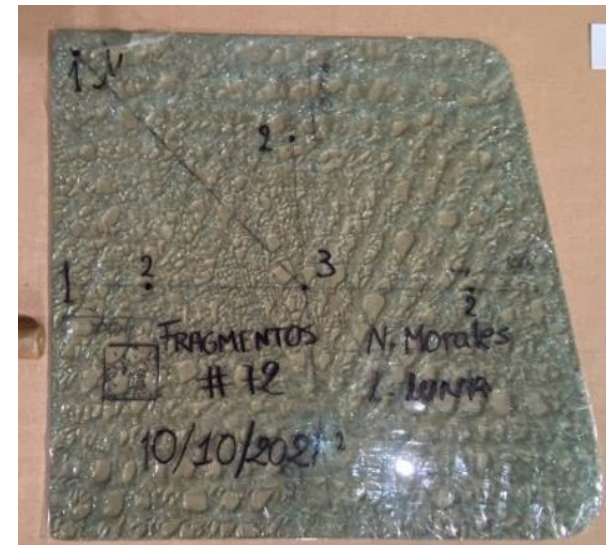
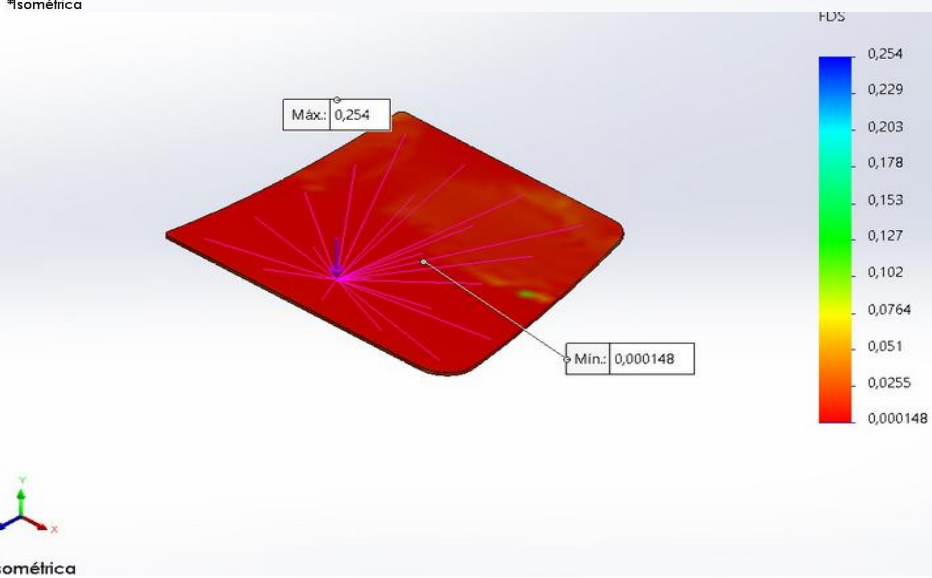
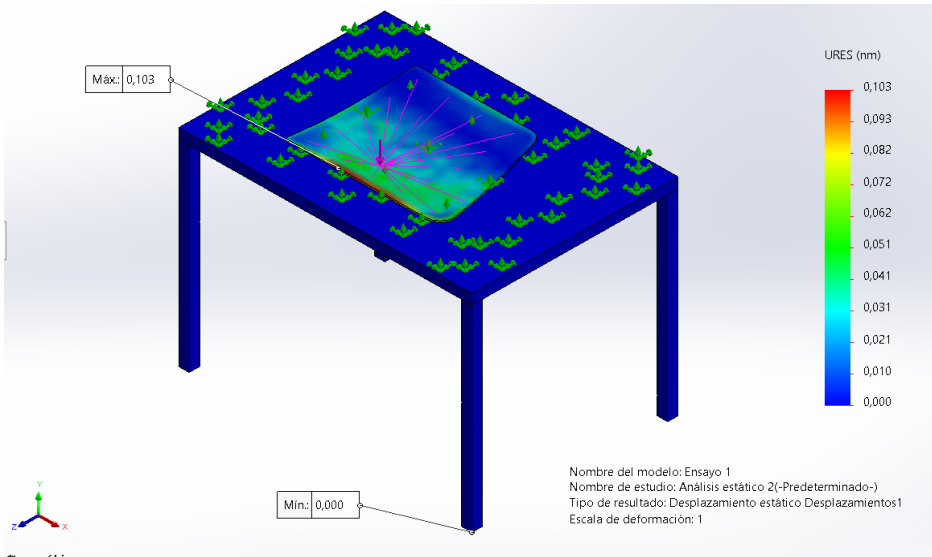


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

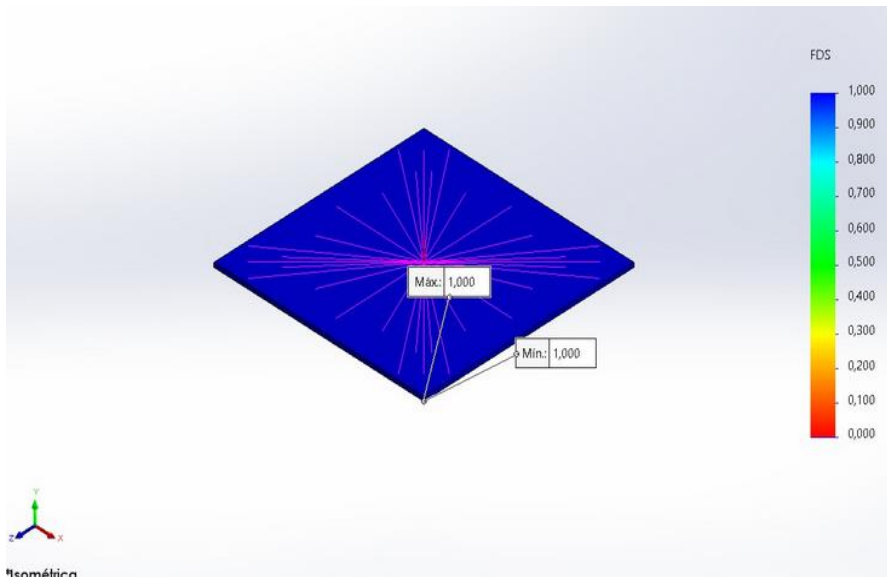
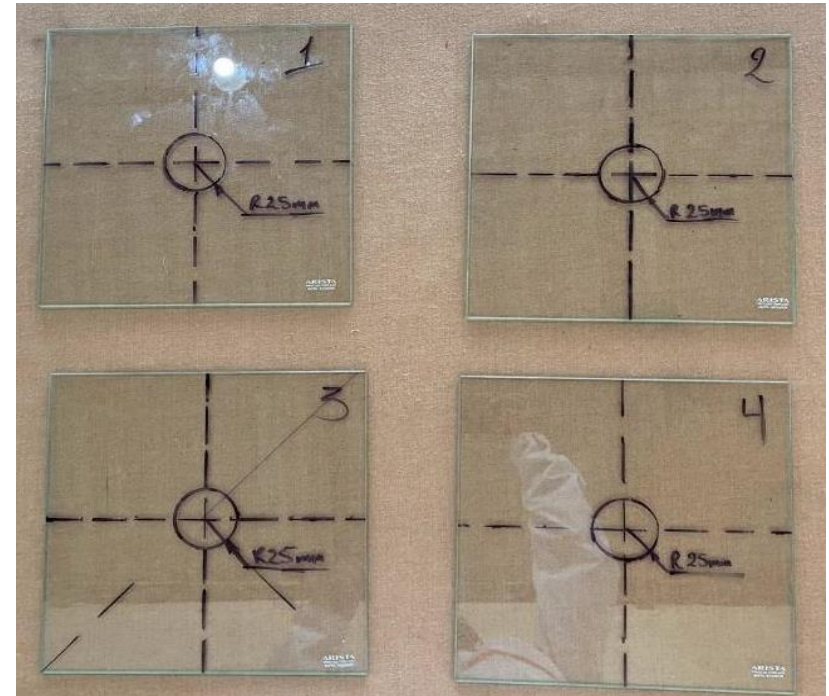
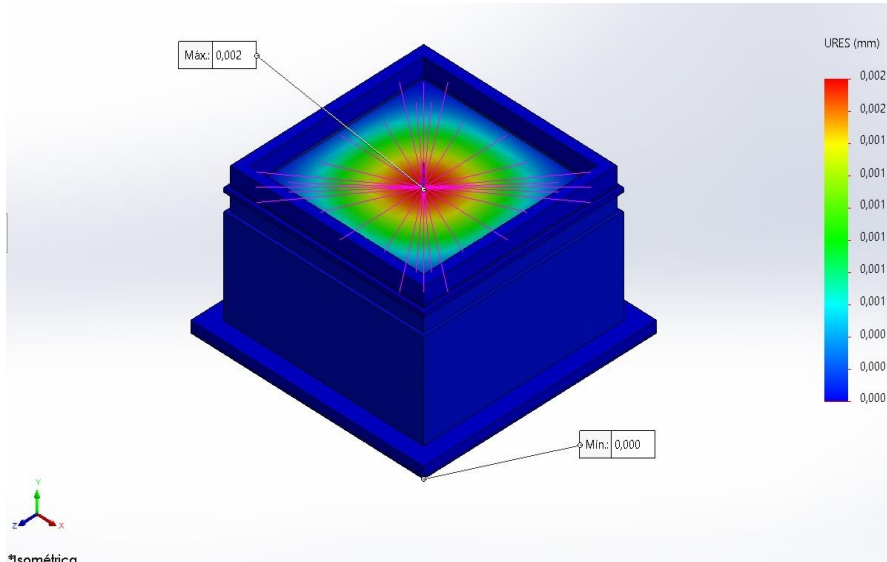
# Análisis de resultados



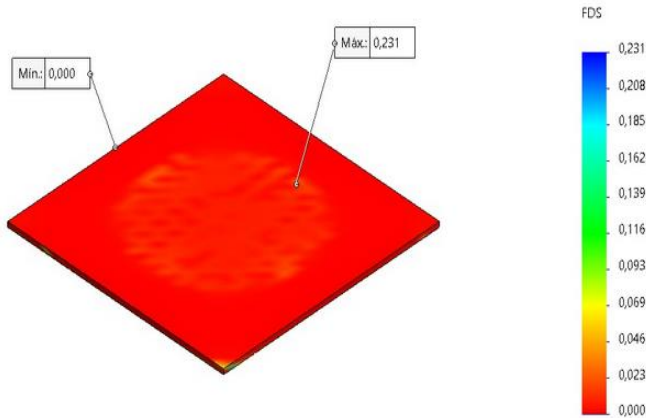
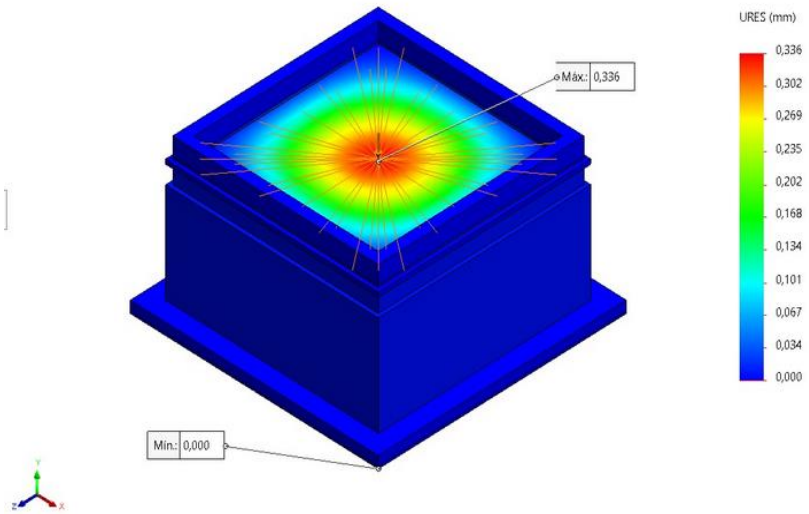
# COMPARACIÓN ENTRE EL ENSAYO EXPERIMENTAL Y SIMULADO



# COMPARACIÓN ENTRE EL ENSAYO EXPERIMENTAL Y SIMULADO



# COMPARACIÓN ENTRE EL ENSAYO EXPERIMENTAL Y SIMULADO



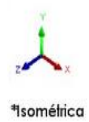
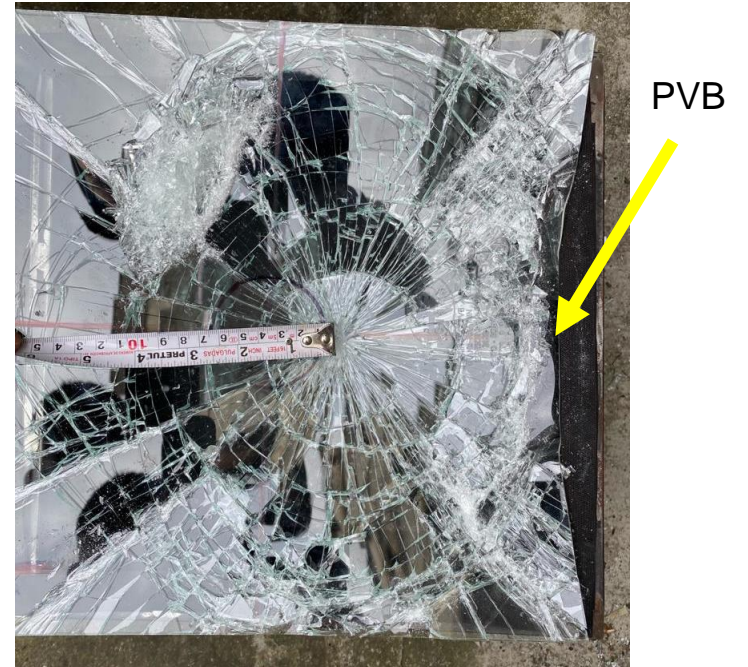
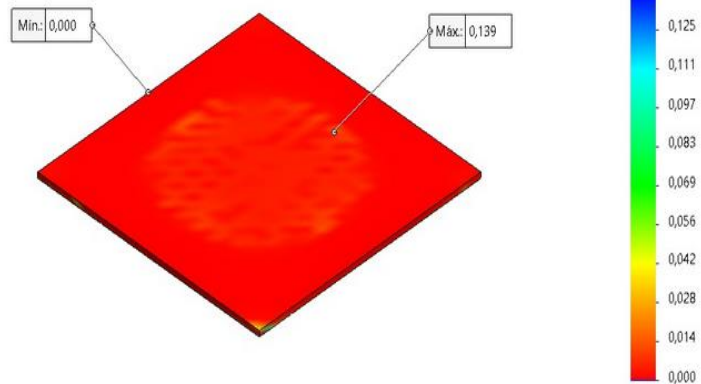
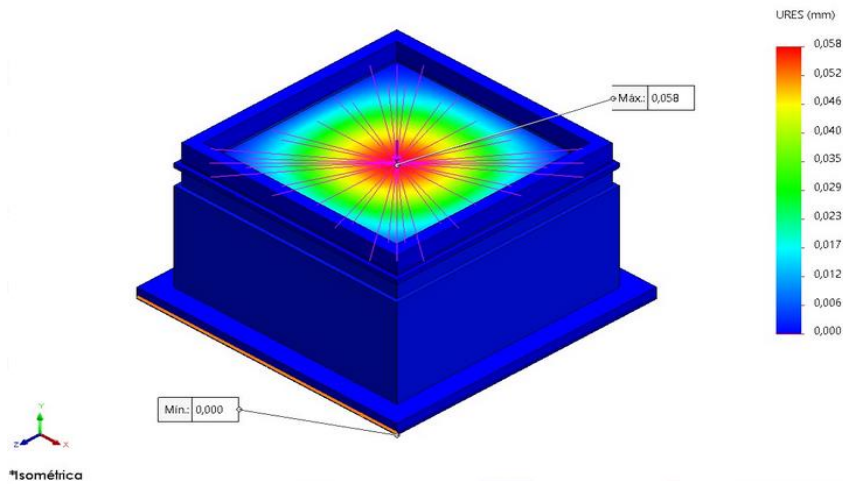
Isométrica



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# COMPARACIÓN ENTRE EL ENSAYO EXPERIMENTAL Y SIMULADO



# CONCLUSIONES

- Se analizó las pruebas de impacto que permiten la identificación del vidrio de seguridad de uso automotriz, mismas que fueron investigadas en normativas técnicas nacionales e internacionales.
- Se investigó en fuentes y bases digitales tales como artículos técnicos, manuales de identificación y homologación como NTE INEN 1669, Normativa Armonizada MERCOSUR, Reglamento No. 43 CEPE y más. Fundamentos principales para el proyecto de investigación.
- La contabilización de los fragmentos en el grupo de seis probetas templadas sometidas al ensayo que determina la fragmentación del vidrio de seguridad de uso automotriz el 83.33% se encuentra sobre el rango permitidos de fragmentos encontrados en un área de 50 mm x 50 mm de acuerdo con la normativa NTE INEN 1721. El grupo de probetas templadas ingresa en la categoría III de 6mm de espesor como tolerancia admisible. En el 16.67% restante se contabiliza 14 fragmentos encontrados en el área cuadrada incumpliendo el requisito mínimo establecido en la normativa. El análisis CAE muestra 0.0056 MPa como tensión máxima, deformando a la probeta templada 0.103 mm por la fuerza de aplicación ejercida sobre el punto de impacto, misma que debilitará al factor de seguridad del material. Por tanto se concluye que el grupo de probetas sometidas al ensayo cumple con los requisitos para identificarse como vidrio de seguridad de uso automotriz y su posterior homologación.



# CONCLUSIONES

- Se ejecutó el ensayo que determina la resistencia que tiene el vidrio de seguridad de uso automotriz al impacto con esfera de acero a dos diferentes grupos de probetas: laminadas y templadas. El grupo de cuatro probetas templadas sometidas a impacto con esfera de acero de 225 g, desde una altura de 2.5 m, concluye que tiene alta resistencia al impacto al no presentar rajaduras y fracturas. Se observa los resultados de la simulación CAE un valor máximo de tensión en la superficie de la probeta de 0.007 MPa, provocando el desplazamiento que no supera 0.002 mm y un factor de seguridad de 1. El grupo de cuatro probetas laminadas sometidas a impacto con esfera de acero de 2.25 Kg, concluye que tiene una baja resistencia al impacto al presentar fracturas, rajaduras y penetración de la esfera de acero. Los resultados de la simulación CAE detallan una tensión máxima de 2.324MPa, 0.336 mm de desplazamiento en la zona más crítica y un factor de 0. Finalizando, se menciona que el grupo de probetas templadas se logra identificar como vidrio de seguridad de uso automotriz dando paso a su homologación. El grupo de 4 probetas laminadas no cumple con los requisitos para ser identificados como vidrio de seguridad de uso automotriz por lo que no se permite su homologación.





# CONCLUSIONES

- Mediante el desarrollo de la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí), El pesaje de las astillas desprendidas en el punto de impacto tiene 18.5 g en promedio sobre el grupo de probetas impactadas, sin superar el requisito máximo de 20 g. así también las rajaduras circulares se presentan a 5.9 cm desde el centro de impacto, en ningún caso se supera los límites establecidos. En el análisis CAE detalla que la probeta laminada sufre una tensión superior a 3.112 MPa, un desplazamiento de 0.058 mm y el factor de seguridad de 0. El grupo de probetas laminadas cumple con los requisitos establecidos en la Normativa INEN 1669, permitiéndose identificar al grupo como vidrio de seguridad de uso automotriz.



# CONCLUSIONES

- A través de los resultados del análisis de los ensayos de impacto que determinan la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz el 83.2% correspondiente al grupo de 6 probetas templadas del ensayo de fragmentación encaminados al uso e instalación de ventanas en el vehículo; las 4 probetas templadas del ensayo de la determinación al impacto con esfera de 225 gramos dirigidas al uso e instalación de parabrisas posterior o lunetas y las 4 probetas laminadas del ensayo de resistencia al impacto simulado de la cabeza(ensayo del maniquí) orientados al uso e instalación de parabrisas cumplen con las especificaciones de cada normativa aplicada y se permite su homologación y comercialización. El 16.8% correspondiente a las 4 probetas laminadas del ensayo de resistencia al impacto con esfera de acero de 2.25 Kg no permite identificarse como vidrio de seguridad automotriz negando su homologación.



# RECOMENDACIONES

- Se recomienda la investigación de entidades que permitan el desarrollo y justifiquen la aplicación de normativas, artículos y fichas técnicas nacionales e internacionales, entidades que aprueben la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz.
- Desarrollar un protocolo detallado que permita la recopilación de resultados, parámetros y variables, que facilite el análisis de resultados y ayude con la identificación y homologación de vidrios de seguridad de usos automotriz fabricados y comercializados en el país.
- Para la obtención de precisión y evaluación de los análisis de resultados, se recomienda desarrollar los ensayos que determinan la identificación del vidrio de seguridad de uso automotriz bajo las mismas condiciones de impacto, tales como: fuerza, peso, altura orientación, puntos prescritos, entre otras.
- Se aconseja investigar fuentes bibliográficas tales como: artículo, revistas, libros que detallen las propiedades y características físicas y mecánicas que poseen los polímeros. Debido a que el material aporta en la investigación siendo utilizado como intercapa en la fabricación y comercialización de vidrios laminados.



# RECOMENDACIONES

- La fabricación o el uso de un soporte que permita orientar al maniquí de manera vertical y perpendicular con el centro geométrico de la probeta, asistirá al impacto del maniquí en el punto prescrito para la precisión y evaluación de obtención de resultados
- Debido a la vanguardia y al crecimiento tecnológico del confort y la seguridad pasiva y activa del vehículo, la obtención del vidrio de seguridad de uso automotriz requiere de procedimientos que se encuentran en constante innovación, es por ello que se recomienda el uso de herramientas y equipos que permitan continuar con la línea tecnológica.



# GRACIAS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA