



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Tema:

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE INGENIERÍA CONCURRENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA AUTOPORTANTE, PARA UN VEHÍCULO PROTOTIPO BIPLAZA URBANO, PARA LA CIUDAD DE LATACUNGA

Director: Ing. Félix Manjarrés MSc.

Autores:

- **Juan Carlos Gallo J.**
- **Luis Francisco Iza C.**

2017





OBJETIVO GENERAL.



Analizar y aplicar la metodología de ingeniería concurrente para la construcción de una carrocería autoportante para un vehículo prototipo biplaza urbano, para la ciudad de Latacunga.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Recopilar información teórica – científica para el desarrollo del proyecto de investigación. .



Aplicar el método de ingeniería concurrente para determinar las variables requeridas para la adaptabilidad de una carrocería autoportante en un vehículo biplaza



Diseñar la propuesta de solución del análisis de casos para brindar fácil accesibilidad y mejor manejo de los productos de la bodega.



Realizar la simulación y análisis estático de la carrocería autoportante tomando en cuenta condiciones de operación y funcionamiento requeridas.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA



Menor
demanda
energética



Menos
esfuerzo
mecánico



Movilidad
eficiente



- Pruebas de campo que permiten validar el funcionamiento, seguridad y eficiencia del prototipo y comparar los parámetros obtenidos físicamente con los determinados y requeridos en el proceso de investigación

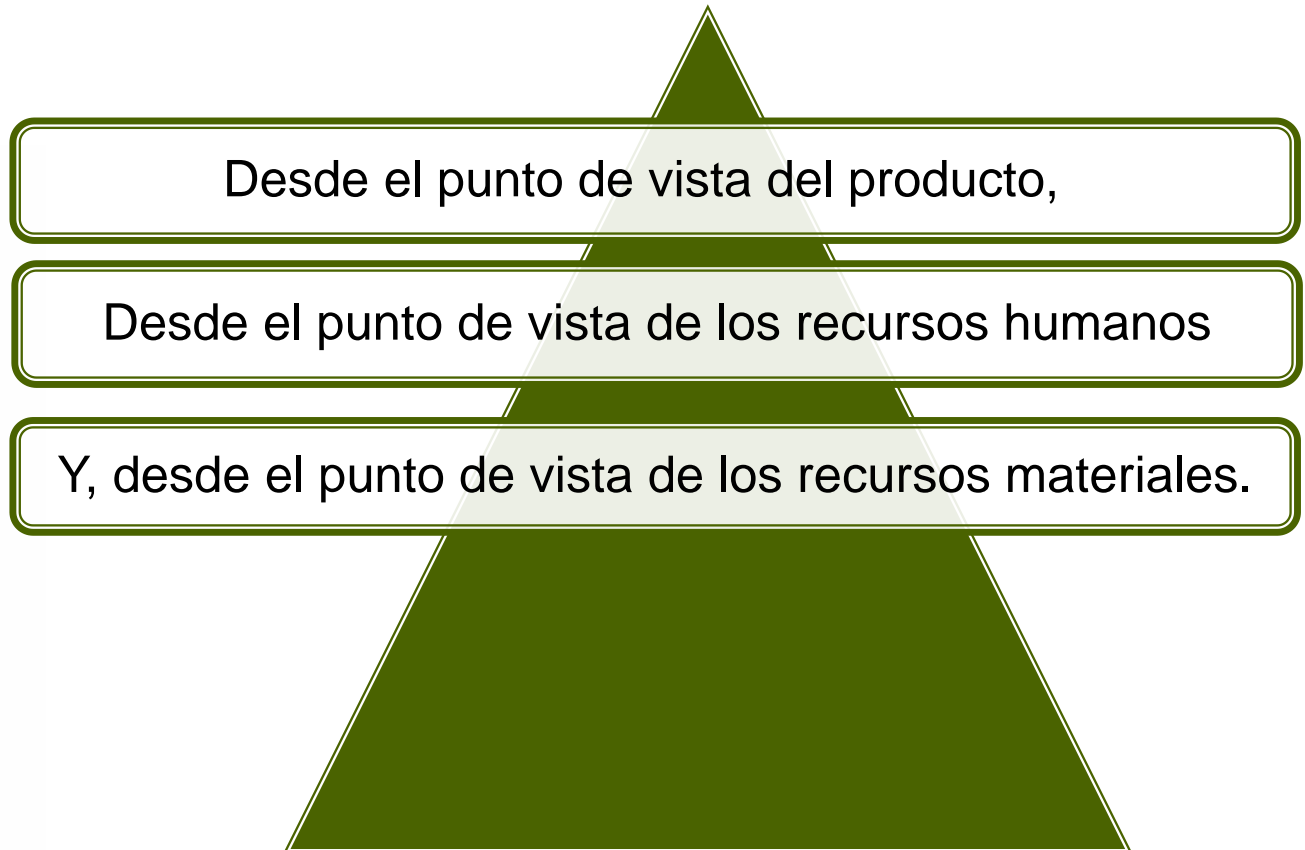


- Evaluar la funcionalidad, el comportamiento, la estabilidad y la seguridad del prototipo biplaza, mediante el protocolo de pruebas en la ciudad de Latacunga



INGENIERÍA CONCURRENTE

Es una nueva forma de concebir la ingeniería de diseño y desarrollo de productos y servicios.



Desde el punto de vista del producto,

Desde el punto de vista de los recursos humanos

Y, desde el punto de vista de los recursos materiales.

Despliegue de la función de la calidad

- ▶ Perspectiva de la ingeniería concurrente que, incide en el mismo diseño para hacerlo más apto para la calidad (eliminación o simplificación de controles, diseño robusto).
- ▶ Se refiere tanto al grado de satisfacción que el producto o servicio proporciona a las expectativas del usuario como a la rentabilización general de los recursos y a la eliminación de las pérdidas.

- La disponibilidad de los productos y sistemas
- La relación hombre-máquina
- La seguridad de las máquinas
- El ahorro energético y los impactos ambientales

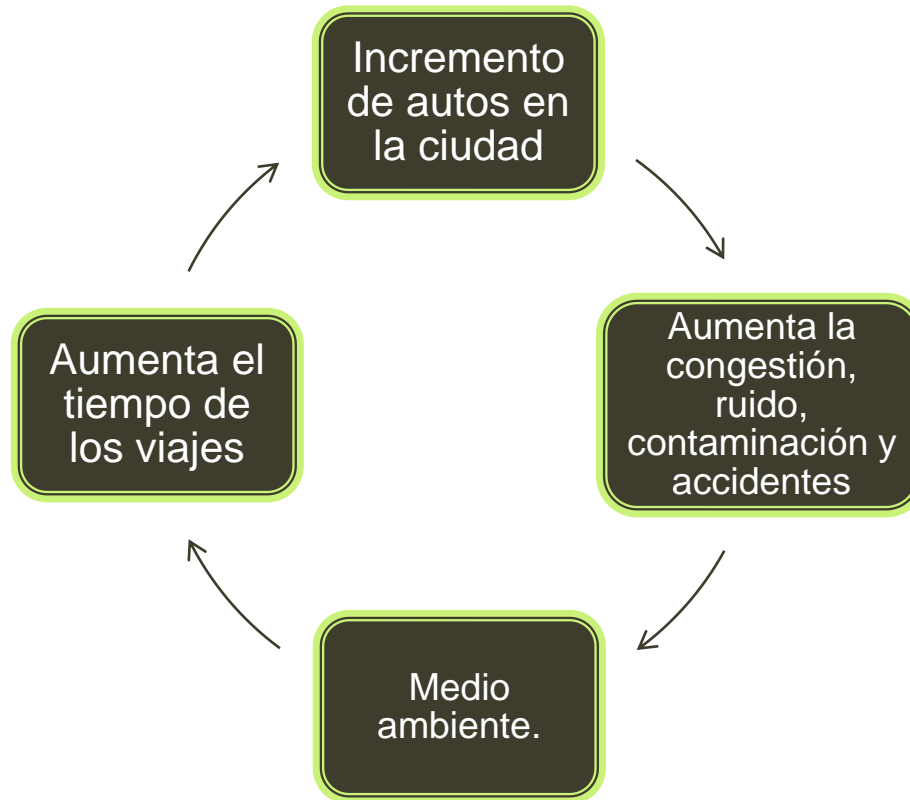
MOVILIDAD VEHICULAR EN LA CIUDAD DE LATACUNGA

- ▶ La movilidad constituye uno de los aspectos fundamentales de la vida cotidiana y desarrollo de los conglomerados urbanos que conlleva grandes complejidades y acarrea un sin número de problemas sociales, económicos y ambientales que afectan la funcionalidad y el convivir de los ciudadanos.



Ilustración. Ubicación de la provincia de Cotopaxi

CONSECUENCIAS.



- El transporte es la causa de gran parte de las emisiones de CO, C02, NOx, contribuyendo de esta manera al efecto invernadero, cambio climático, lluvia ácida, ozono troposférico y al deterioro de la calidad del aire urbano.

Despliegue de la función de la calidad

Voz del usuario

El prototipo debe contar con las siguientes características:

- Modelo ergonómico que permitirá una conducción apropiada.
- El peso debe ser lo más ligero posible.
- En términos económicos debe ser de un valor accesible.
- Seguro ante cualquier accidente.
- Capaz de soportar todas las cargas que se puedan aplicar.
- Fiable en el momento de acoplar y desacoplar los componentes.
- Reducir el consumo de recursos.

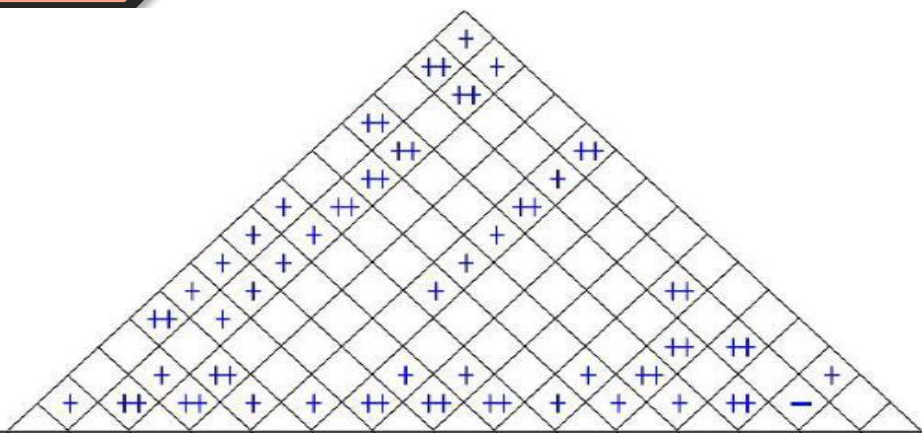
Voz del Ingeniero

Se procesa la información para obtener especificaciones y características técnicas:

- Materiales disponibles en el mercado.
- Determinación de la geometría con todas las consideraciones.
- El centro de gravedad lo más bajo posible.
- Análisis a través de ensayos de tensión, compresión y flexión.
- Distribución de cargas críticas en el bastidor.

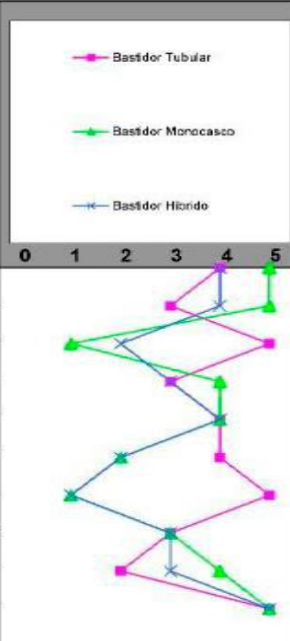
Casa de la calidad.

Legend		
⊗	Relación fuerte	9
○	Relación moderada	3
▲	Relación débil	1
++	Correlación positiva fuerte	
+	Correlación positiva	
-	Correlación negativa	
▼	Correlación negativa fuerte	
▼	Objetivo para minimizar	
▲	Objetivo para maximizar	
x	Objetivo para alcanzar meta	



Fila N°	Valor máximo de la relación en la fila	Peso relativo	Peso / Importancia	Calidad requerida (a.k.a. "Requerimientos del cliente" or "Qué es")	Columna#																
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Dirección de mejoramiento: Minimizar (▼), Maximizar (▲), u Objetivo (x)					▲	▼	▼	▼	▼	▲	▲	▲	▼	▼	▼	x	▼	▲			
Características de la calidad (a.k.a. "Requerimientos Funcionales" or "Cómo es")					Materiales disponibles	Geometría	Distancia entre ejes	Via del vehículo	Centro de gravedad	Ensayo de flexión	Ensayo de tensión	Ensayo de compresión	Cargas críticas	Arcos principales de seguridad	Protecciones laterales	Triangulación de miembros estructurales	Tren de potencia disponible	Tubería reglamentaria	Procesos de manufactura		
1	9	10.0	1.0	Ergonomía del piloto	▲	⊗			○					○		⊗	▲	▲	4	5	4
2	9	15.0	1.5	Peso liviano		⊗	▲	▲	▲					○		▲	○	⊗	3	5	4
3	9	5.0	0.5	Costo reducido	○	⊗												○	5	1	2
4	9	10.0	1.0	Seguridad	○	▲	⊗	⊗		○	⊗	⊗	⊗	○	○				3	4	3
5	9	10.0	1.0	Resistente	⊗	▲				○	○	○	○	▲	▲	○	○	○	4	4	4
6	9	10.0	1.0	Accesibilidad para montaje de partes		⊗									⊗	○	▲	⊗	4	2	2
7	9	5.0	0.5	Fabricación accesible	⊗											▲		⊗	5	1	1
8	9	5.0	0.5	Durabilidad	⊗	▲												○	3	3	3
9	3	10.0	1.0	Muy compacto						▲	▲	▲	▲	○	○		○		2	4	3
Dificultad (0=Fácil de lograr, 10=Extremadamente difícil)					7	8	3	2	8	7	7	7	8	9	8	7	8	8	7		
Valor máximo de relación en la columna					9	9	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9		
Peso/Importancia					265.0	565.0	285.0	285.0	105.0	310.0	310.0	310.0	310.0	280.0	295.0	320.0	210.0	185.0	360.0		
Peso relativo					6.0	12.9	6.5	6.5	2.4	7.1	7.1	7.1	7.1	6.4	6.7	7.3	4.8	4.2	8.2		

Análisis competitivo (0=Peor, 5=Mejor)



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Diagrama funcional



Material →

Sistemas →


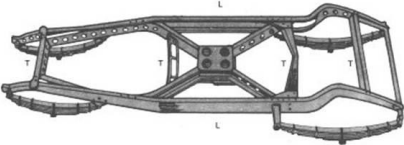

Energía →

Soportar
componentes,
cargas
dinámicas y
estáticas

Carrocería

MATRÍZ MORFOLÓGICA DE TIPOS DE BASTIDORES.



	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Tipos de bastidor	AUTO PORTANTE 	LARGUEROS 	TUBULAR 
Aplicación	Automóvil	Automóvil	Buggies y deportivos
Rigidez	Alta	Media	Alta
Resistencia	Elevada	Elevada	Elevada
Peso	Medio	Medio	Bajo
Costo de material	Elevado	Elevado	Bajo



FUNCIÓN PRINCIPAL

Soportar las cargas y ofrecer resistente protección al vehículo y ocupante, además de sujetar y montar los demás subsistemas

RESTRICCIONES

Bajo costo, alta resistencia, alta rigidez, bajo peso.

OBJETIVOS

Minimizar peso y optimizar espacio.

VARIABLES LIBRES

Seleccionar el material ideal

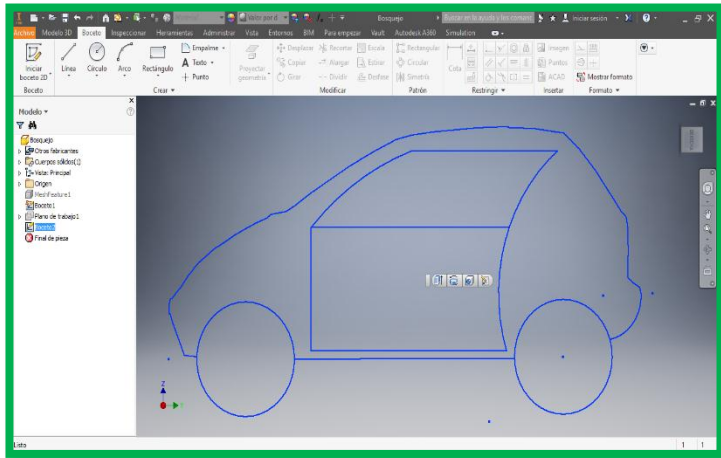
Matriz de selección del bastidor y carrocería

Elementos de selección	FP	Tubular	Largueros	Autoportante
Ergonomía	0,30	0	X	X
Fiabilidad	0,25	X	0	X
Seguridad	0,20	X	X	X
Bajo peso	0,15	X	0	0
Costo reducido	0,10	0	0	X
	1	0,60	0,50	0,85

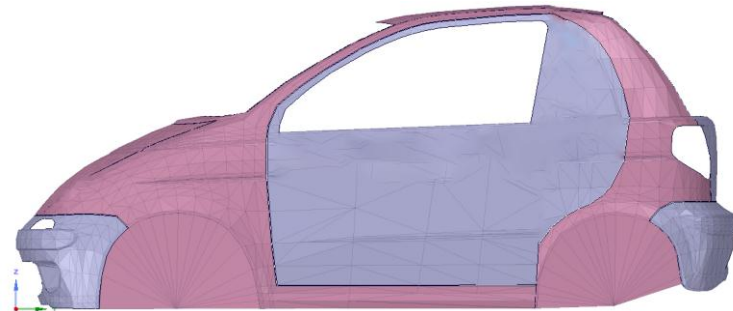


ESTRUCTURA Y CARROCERÍA

Bosquejo



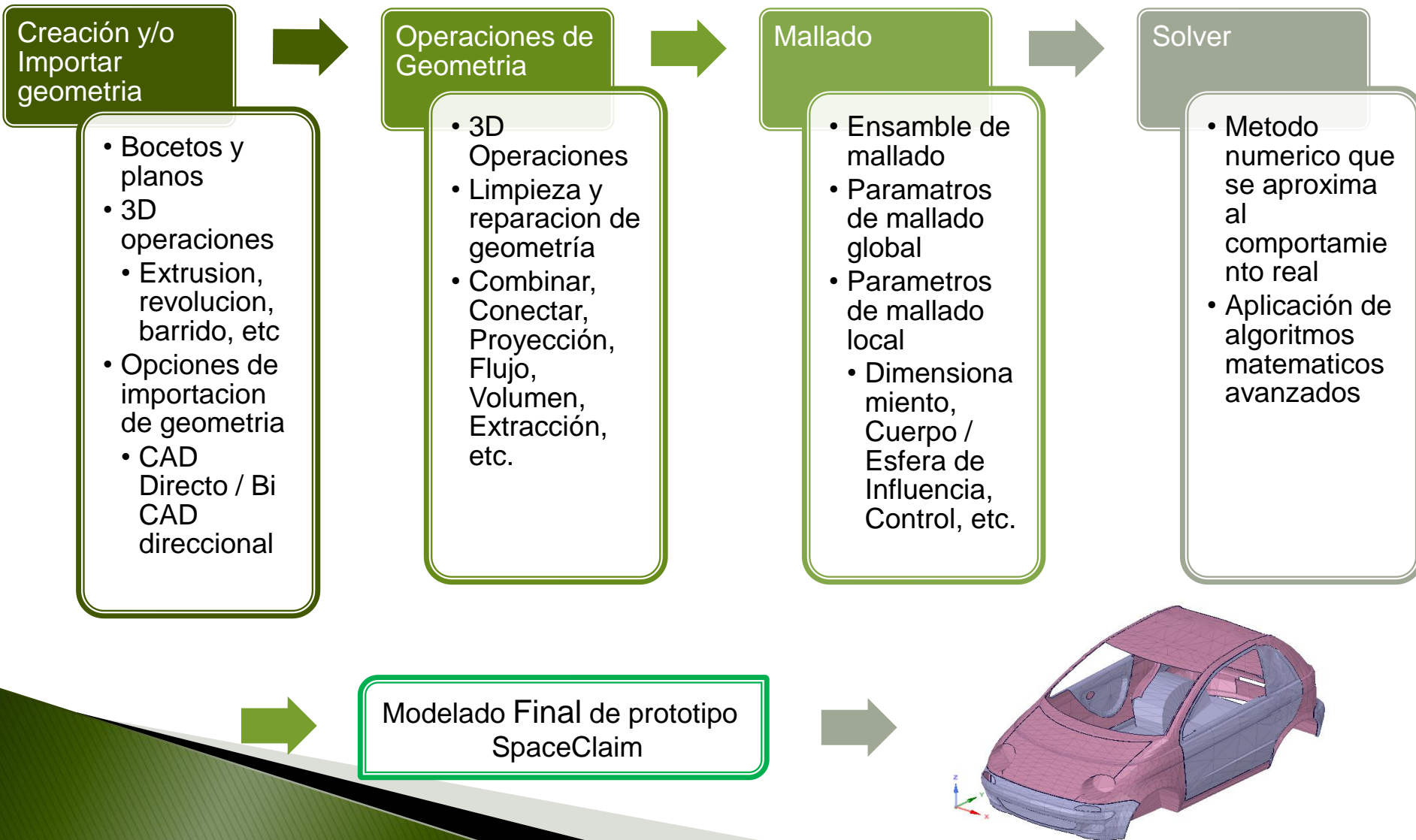
Modelado



Modelo CAD en SpaceClaim como una superficie para someter a ensayos virtuales en el software ANSYS.

INGENIERÍA INVERSA

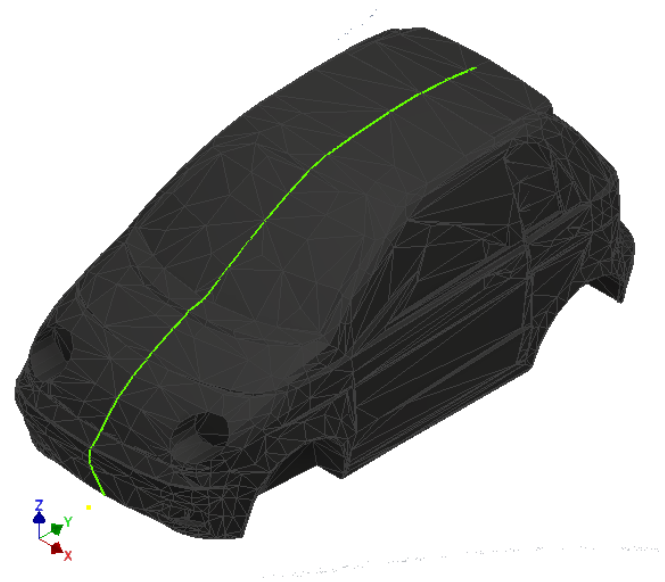
- Diseño del prototipo de la carrocería autoportante biplaza, aplicando ingeniería inversa



Análisis cinemático y dinámico.

La cinemática establece los movimientos como la aceleración, frenado, curvatura y oscilaciones.

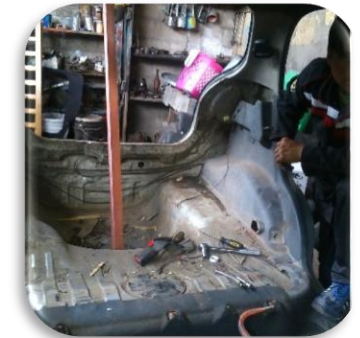
El comportamiento dinámico se basa en obtener las fuerzas que intervienen sobre los neumáticos, centro de gravedad y dispositivos aerodinámicos.



Ejes coordenados de la carrocería

Cargas del bastidor

Cargas muertas en el bastidor	Masa(Kg)	Peso(N)
1 Motor	90	882
2 Sistema de transmisión	80	784
3 Batería	12,5	122,5
4 Sistema de dirección	60	588
5 Asientos(2)	25	245
6 Tablero de instrumentación	30	294
7 Puertas(3) -vidrios -neumático de emergencia	60	588
8 Bastidor	302.5	2964.5
9 Varios	60	588
Carga muerta Total	720 Kg	7056 N



Cargas vivas

CARGAS	Masa (Kg)	PESO (N)	Tipo de carga	Distribución
Ocupantes (2)	150	1470	Viva	Distribuida

Cargas dinámicas

Calculo de frenado

Aceleración:

$$a = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2 \cdot S}$$

Donde,

a = Aceleración (m/s^2).

V_1 = Velocidad final (m/s).

V_0 = Velocidad inicial (m/s).

S = Distancia de Frenado (m).

Energía cinética del vehículo:

$$E_c = \frac{m \cdot V^2}{2}$$

Donde,

E_c = Energía Cinética del vehículo (Nm).

m = Masa del vehículo (Kg).

V = Velocidad (m/s).



Trabajo de frenado

$$T = P \cdot \mu \cdot S$$

Donde,

T = Trabajo de frenado (Nm).

P = Peso del vehículo = (masa x gravedad).

μ = Coeficiente de Rozamiento.

S = Distancia de Frenado (m).

$$\frac{m \cdot V^2}{2} = m \cdot g \cdot \mu \cdot S$$

Ecuación distancia de frenado

$$S = \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot \mu}$$

El coeficiente de rozamiento para un camino hecho de asfalto es de 0.67. El límite de velocidad para vehículos livianos, en el sector urbano es de 50km/h y el rango moderado es de 50 a 60 Km/h

$$S = \frac{(13,88 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.8 \text{ m/s}^2) \cdot 0.67}$$

$$S = 14.67 \text{ m}$$

❖ Una vez calculada la distancia de frenado, se calcula la aceleración.

$$a = \frac{0^2 - (13,89 \text{ m/seg})^2}{2 \cdot 14.7 \text{ m}}$$

$$a = -6.56 \text{ m/s}^2$$

Masa total:

$$mT = mCV + mCM$$

$$mT = 150 \text{ Kg} + 720 \text{ Kg}$$

$$mT = 870 \text{ Kg}$$

Carga de frenado:

$$CF = mT * a$$

$$CF = 870 \text{ Kg} \times (-6.56) \text{ m/s}^2$$

$$CF = -5707,2 \text{ N}$$



Cargas de giro

Radio de curvatura vs velocidad del vehículo.

Velocidad del vehículo (Km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)
80	250
85	300
90	350
95	400
100	450
105	500
110	550
115	600
120	700



Aceleración centrípeta:

$$a_c = \frac{V^2}{r_c}$$

Donde,

a_c = Aceleración Centrípeta (m/s^2).

V = Velocidad del vehículo (m/s).

r_c = Radio de Curvatura (m).

$$a_c = \frac{(25 \text{ m/s})^2}{156 \text{ m}}$$

$$a_c = 4 \text{ m/s}^2$$

Carga de giro:

$$CG = mT \times a_c$$

$$CG = 870 \text{ Kg} \times 4 \text{ m/s}^2$$

$$CG = 3480 \text{ N}$$

IMPACTOS



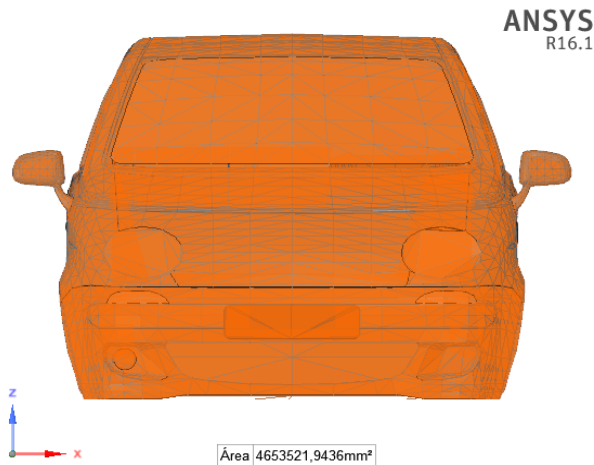
La primera colisión:

Es la que tiene lugar entre el vehículo que provoca el impacto y otra estructura que se encuentra en estado fijo o móvil.

DISEÑO AERODINÁMICO

Carga de resistencia al aire frontal.

Es la fuerza actuante del aire sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal



Resistencia al aire frontal

$$R_{af} = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \delta \cdot A_f \cdot V^2$$

Donde,

R_{af} = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N)

C_x = Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

δ = Densidad del aire, en (kg/m³)

A_f = Área de contacto con el aire (m²)

V = Velocidad del aire, en (m/s).

La densidad del aire en la ciudad de Latacunga, a 20°C es de 1,199Kg/m³

Fuente: (Novoa, 2006, pág. 33)



“El coeficiente de resistencia aerodinámica se debe tener como mínimo 0.7”

Fuente: (INEN, 2009)

$$Raf = \frac{1}{2} \cdot 0.7 \cdot 1.2 \frac{Kg}{m^3} \cdot 4.68 m^2 \cdot (13.89 m/s)^2$$

$$Raf = 379.23 N$$

Presión ejercida por la resistencia al aire:

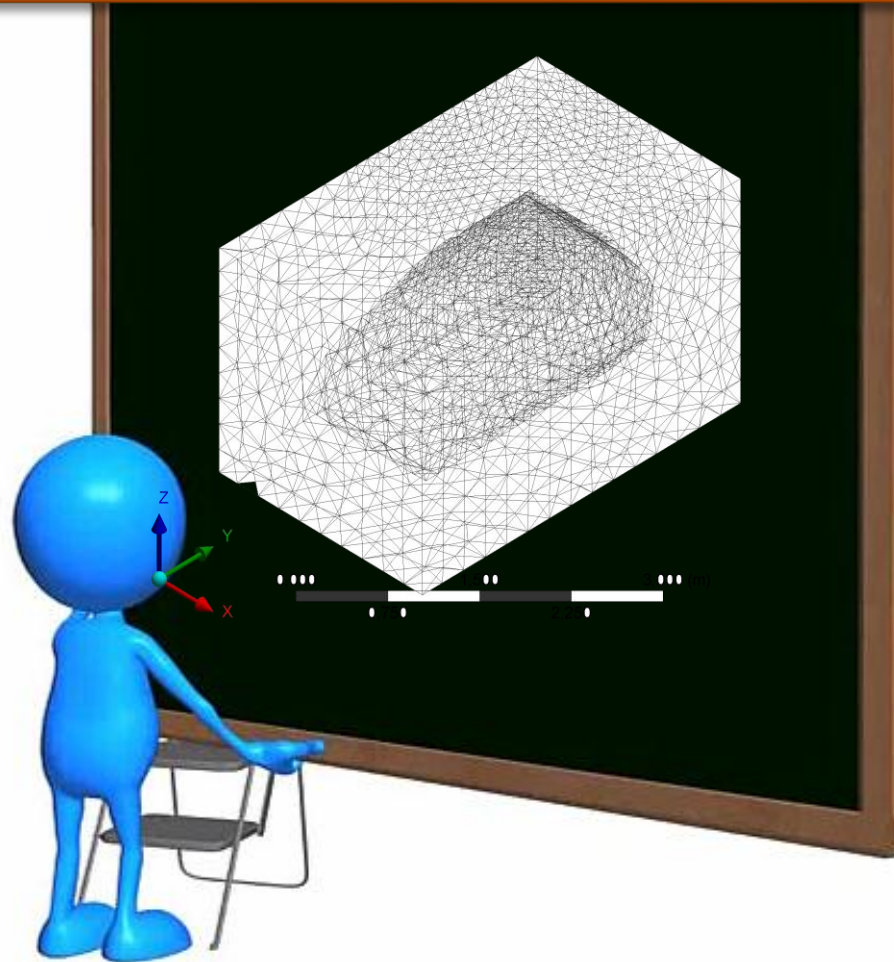
$$P = \frac{Raf}{A}$$

$$P = \frac{379.23 N}{4.68 m^2}$$

$$P = 81.03 Pa$$

Fuente: (Novoa, 2006, pág. 33)

MALLADO



Después de crear el modelo geométrico, se utilizan diversos procedimientos para definir y dividir el modelo en pequeñas secciones o elementos, mediante la unión de estos a través de sus nodos se forma una malla

Métrica y calidad de la malla

Details of "Patch Conforming Method" - Method

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	Tetrahedrons
Algorithm	Patch Conforming
Element Midside Nodes	Patch Conforming

Details of "Patch Independent" - Method

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	Tetrahedrons
Algorithm	Patch Independent
Element Midside Nodes	Use Global Setting
Advanced	
Defined By	Max Element Size
<input type="checkbox"/> Max Element Size	Default(3.e-002 m)
<input type="checkbox"/> Feature Angle	30.0 °
Mesh Based Defeaturing	Off
Curvature and Proximity Refinement	Yes
<input type="checkbox"/> Min Size Limit	Default
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default
Smooth Transition	Off
Growth Rate	Default
Minimum Edge Length	0.31919 m
Write ICEM CFD Files	No

Details of "Mesh"

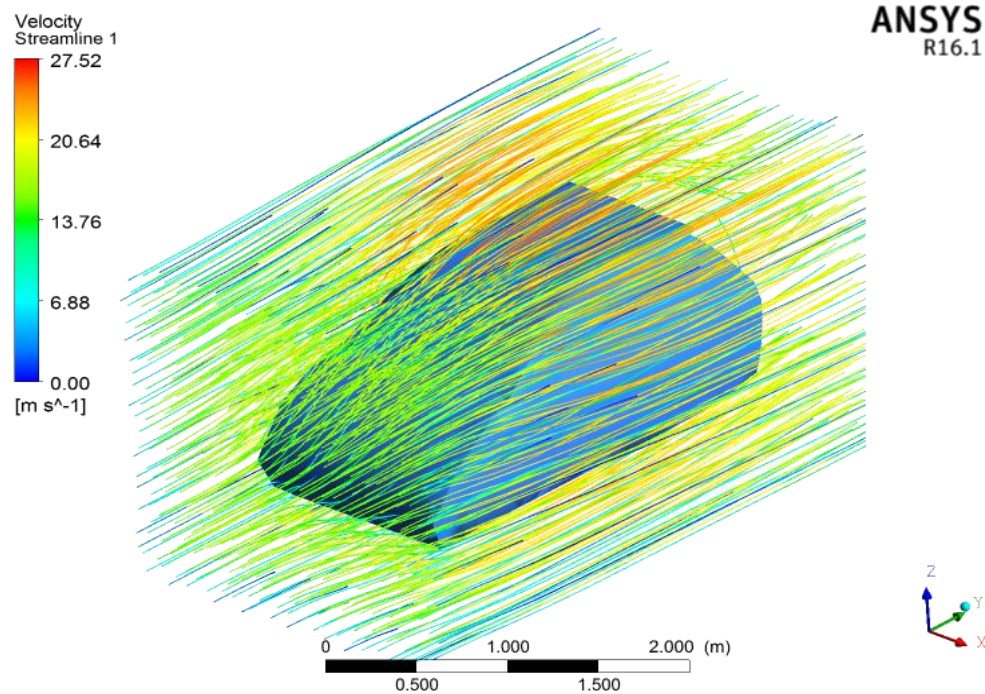
Defaults	
Sizing	
<input checked="" type="checkbox"/> Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0.5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (3)
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1.3887e-002 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1.3887e-002 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (1.38870 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (2.77750 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.20)
Minimum Edge Length	8.8745e-003 m
Inflation	
Assembly Meshing	
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	Program Controlled
Defeaturing	Advancing Front
Statistics	

Details of "Patch Independent" - Method

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	Tetrahedrons
Algorithm	Patch Independent
Element Midside Nodes	Use Global Setting
Advanced	
Defined By	Max Element Size
<input type="checkbox"/> Max Element Size	Default(0.175 m)
<input type="checkbox"/> Feature Angle	30.0 °
Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/> Defeaturing Tolerance	3.e-002 m
Curvature and Proximity Refinement	Yes
<input type="checkbox"/> Min Size Limit	3.e-002 m
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	3
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	18.0 °
Smooth Transition	Off
Growth Rate	Default
Minimum Edge Length	1.e-002 m
Write ICEM CFD Files	No
Advanced	
Defined By	Max Element Size
<input type="checkbox"/> Max Element Size	Default(0.175 m)
<input type="checkbox"/> Feature Angle	30.0 °
Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/> Defeaturing Tolerance	3.e-002 m

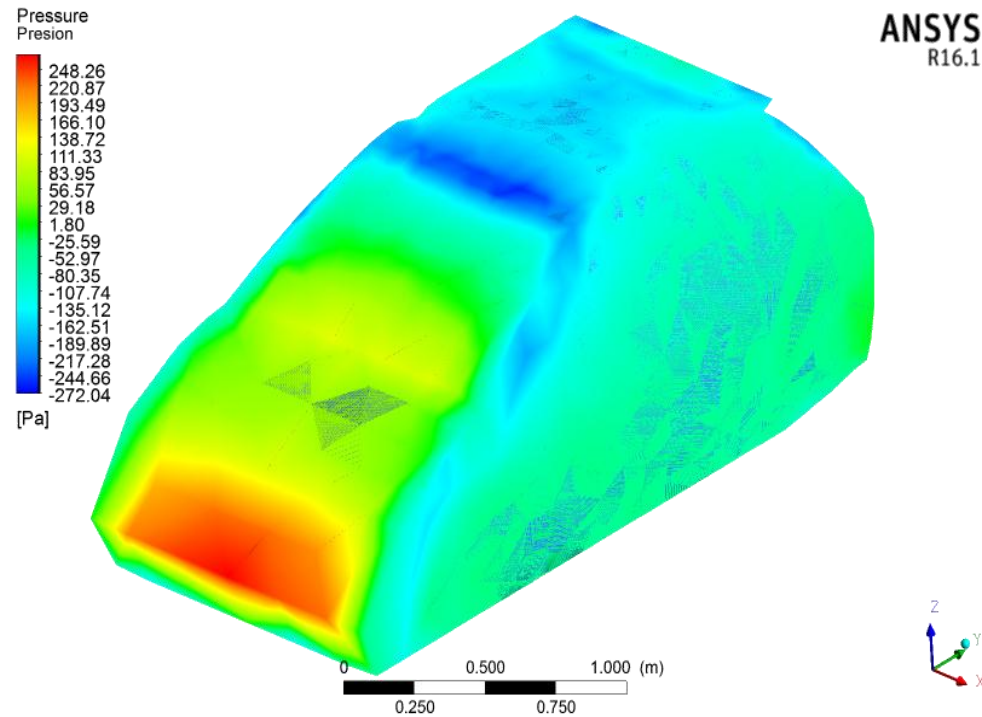
Distribución de cargas aerodinámicas

Dinámica de fluidos computacional - CFD



Flujo de aire sobre la carrocería en un
túnel de viento a 50 km/h

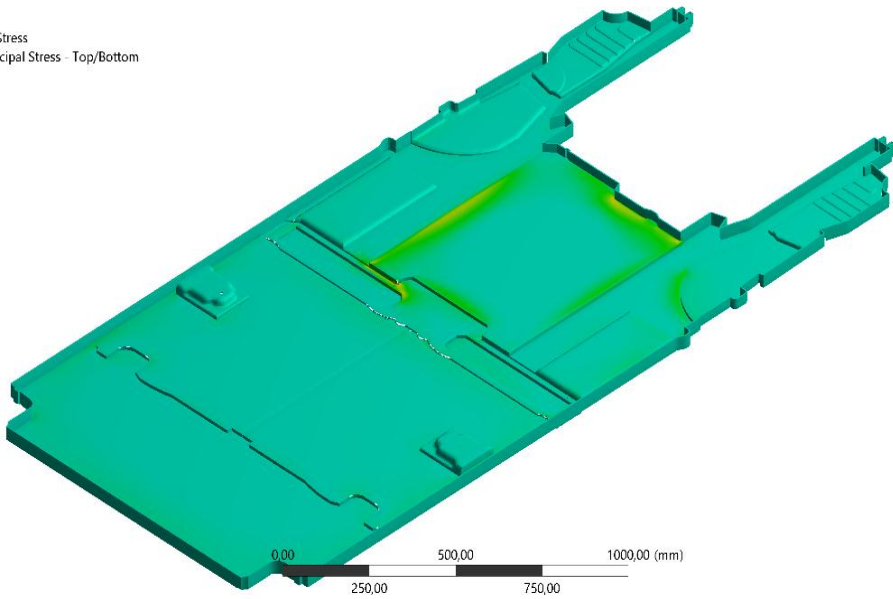
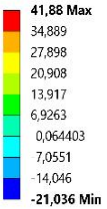
Análisis de resultados CFD.



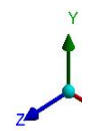
La resistencia aerodinámica que entrega la carrocería a una velocidad de 50 Km/h es de 379.23 N lo que permite tener una idea más clara de las fuerzas que actúan sobre el mismo

Del ensayo estructural se obtienen los siguientes resultados:

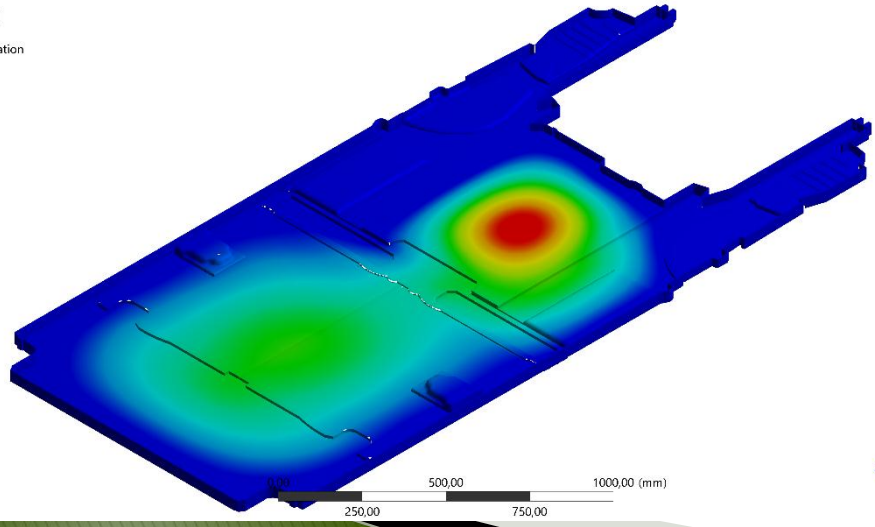
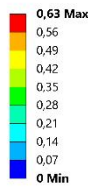
B: Static Structural
Maximum Principal Stress
Type: Maximum Principal Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1



Esfuerzo máximo principal
41.88 Mpa



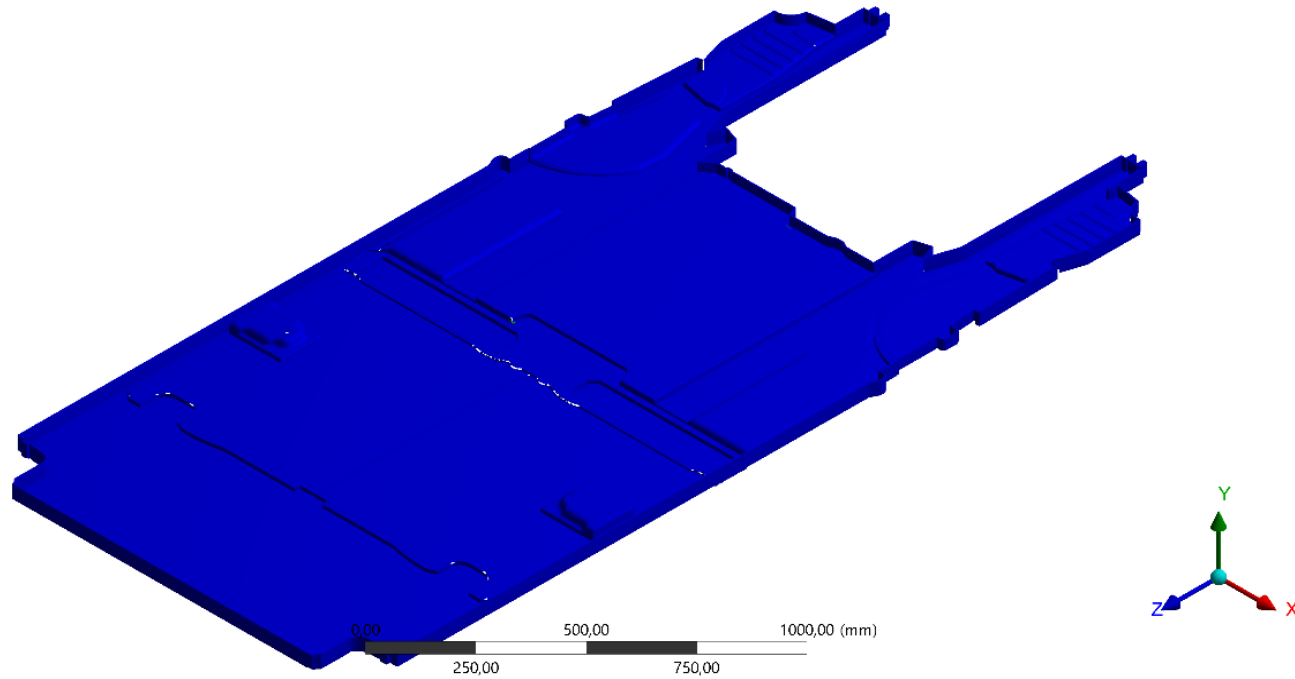
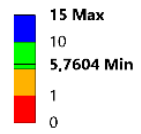
B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



Deformación total - 0.63mm

Z

B: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1

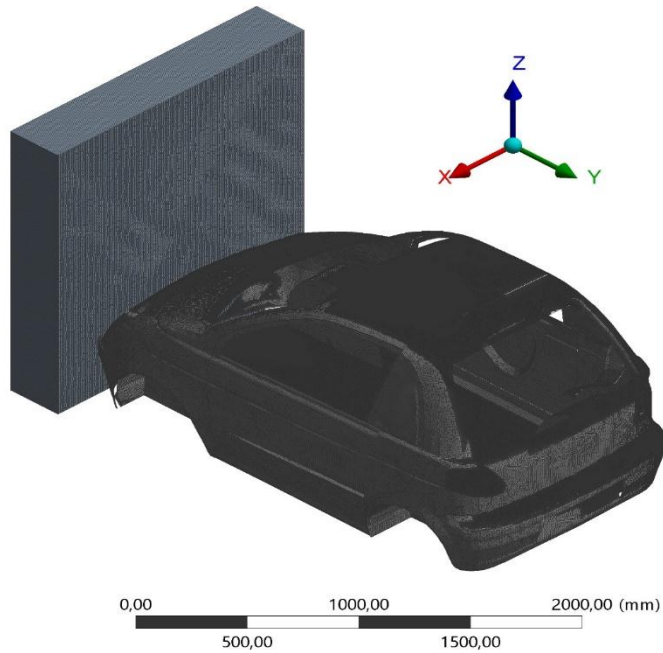


Factor de seguridad: 5.76





Análisis dinámico explícito

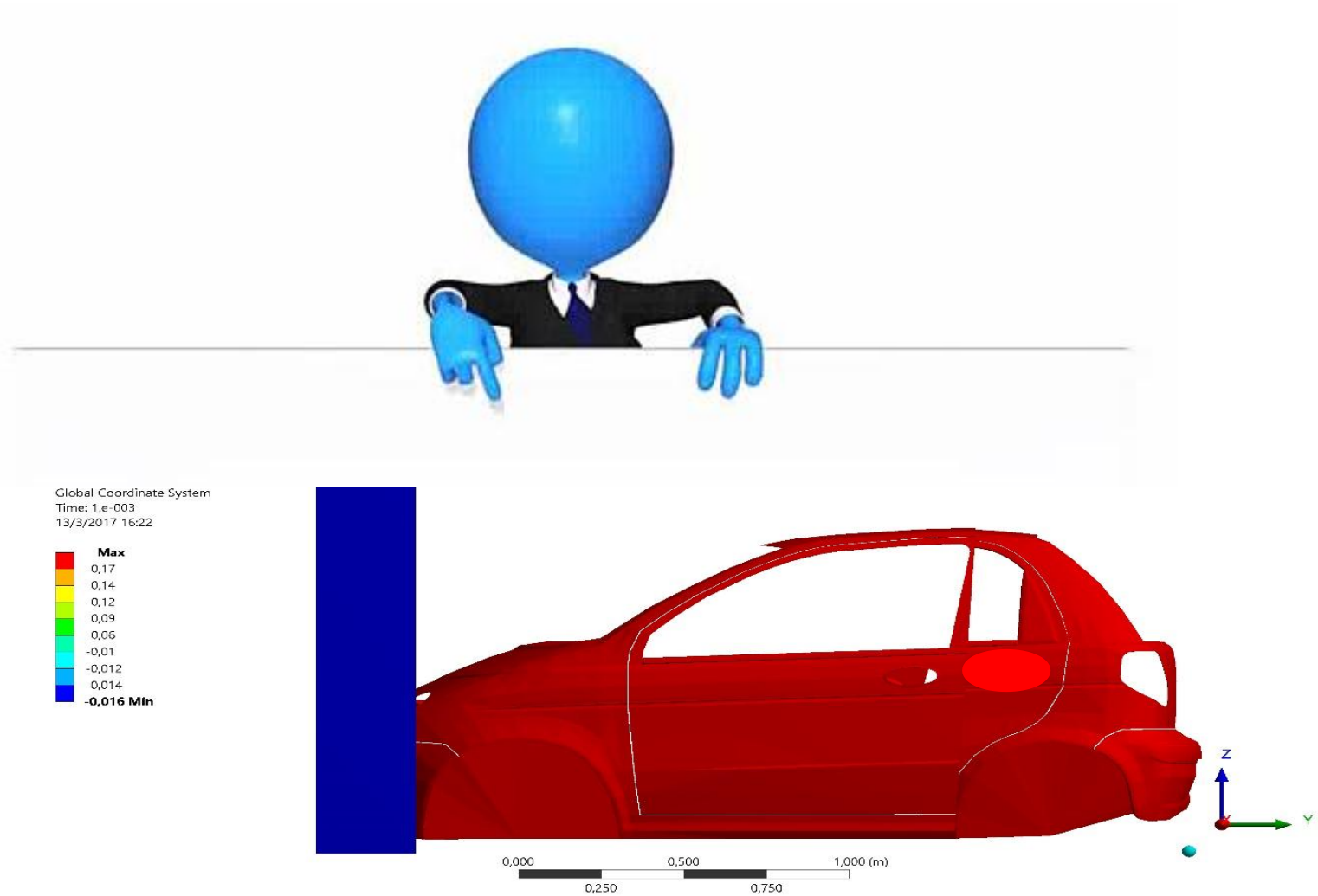


Carrocería para ensayo de impacto frontal

Información de ensayo de impacto.

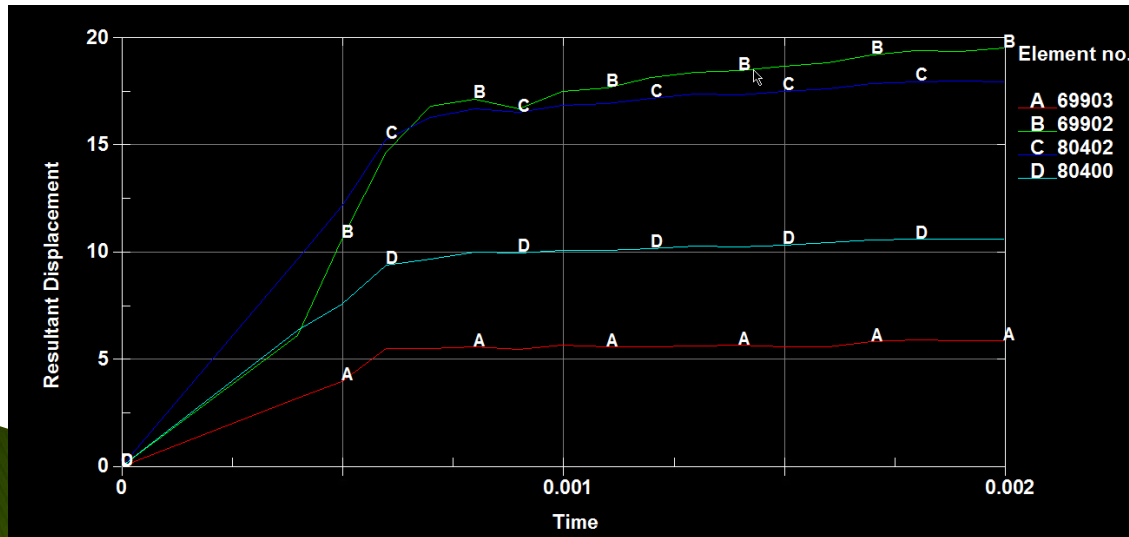
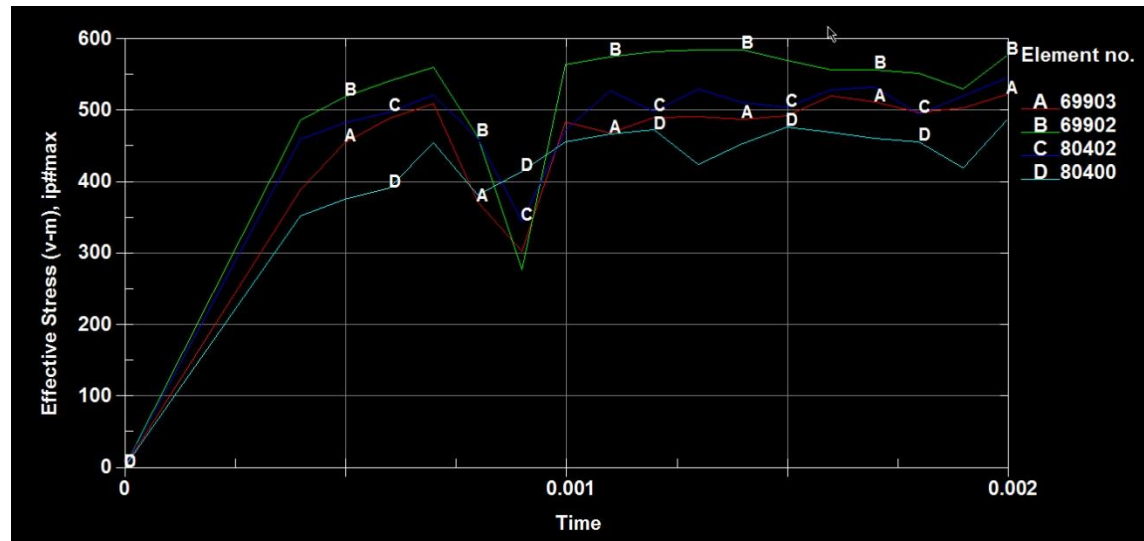
ENSAYO DE IMPACTO FRONTAL					
Nombre del ensayo:		Simulación de impacto frontal sobre una pared rígida de una carrocería			
<p>Resumen: para el presente estudio se ha realizado el dibujo en tres dimensiones de una carrocería de un prototipo biplaza urbano en el software SpaceClaim de ANSYS, con el objetivo de lograr el modelado matemático en el módulo Dynamic Explicit que permita determinar parámetros ingenieriles cuando la carrocería sea sometida a impacto frontal</p>					
Software CAD:	SpaceClaim	Software FEM:	ANSYS 16,1	Módulo / APP:	Dyn amic Expli cit
Tipo de simulación:	Estructural	Dyna mic	Explicit		
PROPIEDADES FÍSICAS					
•	Estructura	○	Componente	○	Ensamblaje
Descripción:	Carrocería				
Área	7.7067 m ²				
Masa	720 Kg				
Centro de gravedad	X	0,69122 m			
	Y	1,3933 m			
	Z	0,3821 m			
LISTA DE ELEMENTOS					
ELEMENTO	CTD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	
1	1	Carrocería.scdoc	Carrocería de prototipo	Acero A500	
CONDICIONES DE BORDE					
NORMA:	ECE R95 Naciones Unidas	Impacto frontal			
CARGAS:	Generadas a partir de la masa del modelo.				
RESTRICCIONES:	La pared de impacto se restringe como fija y se configura como elemento rígido.				
<p>OBSERVACIONES: (Condiciones Originales) existen dos métodos para determinar parámetros en impacto frontal, depende de la norma utilizada, el uno es mediante péndulo contra la estructura y la otra es la que se utilizó en este análisis que consiste en impactar la carrocería a una velocidad determinada contra una pared rígida.</p>					
MODELADO MATEMÁTICO					
Tipo de elemento:	Cuadrilateral				
Tamaño de elemento:	1,4147e-004 m				
Tamaño mínimo de malla:	Default (Coarse)				
Número de nodos:	285873				
Número de elementos:	285189				
Configuración de los modelos de análisis:	Flanagan Belytschko Stiffnes				
CONVERGENCIA	Método:	Jacobian Ratio			
	Valor:	1,08			

- ❖ El ensayo de impacto frontal sobre una pared rígida en un tiempo de 0.001 segundos da como resultado una deformación direccional sobre el eje Y de 170 milímetros.



Deformación en el eje Y – 170 mm

Se ha tomado como elemento de análisis al nodo que ha presentado el mayor valor de esfuerzo, por lo tanto, a la zona a la que pertenece ese elemento se la considera la más crítica.



Se puede verificar en la gráfica de deformación que el comportamiento de los elementos de muestra es similar por lo cual se considera que los picos existentes se tratan de fenómenos aislados durante el suceso

Desplazamiento vs Tiempo

PROCESO DE MANUFACTURA



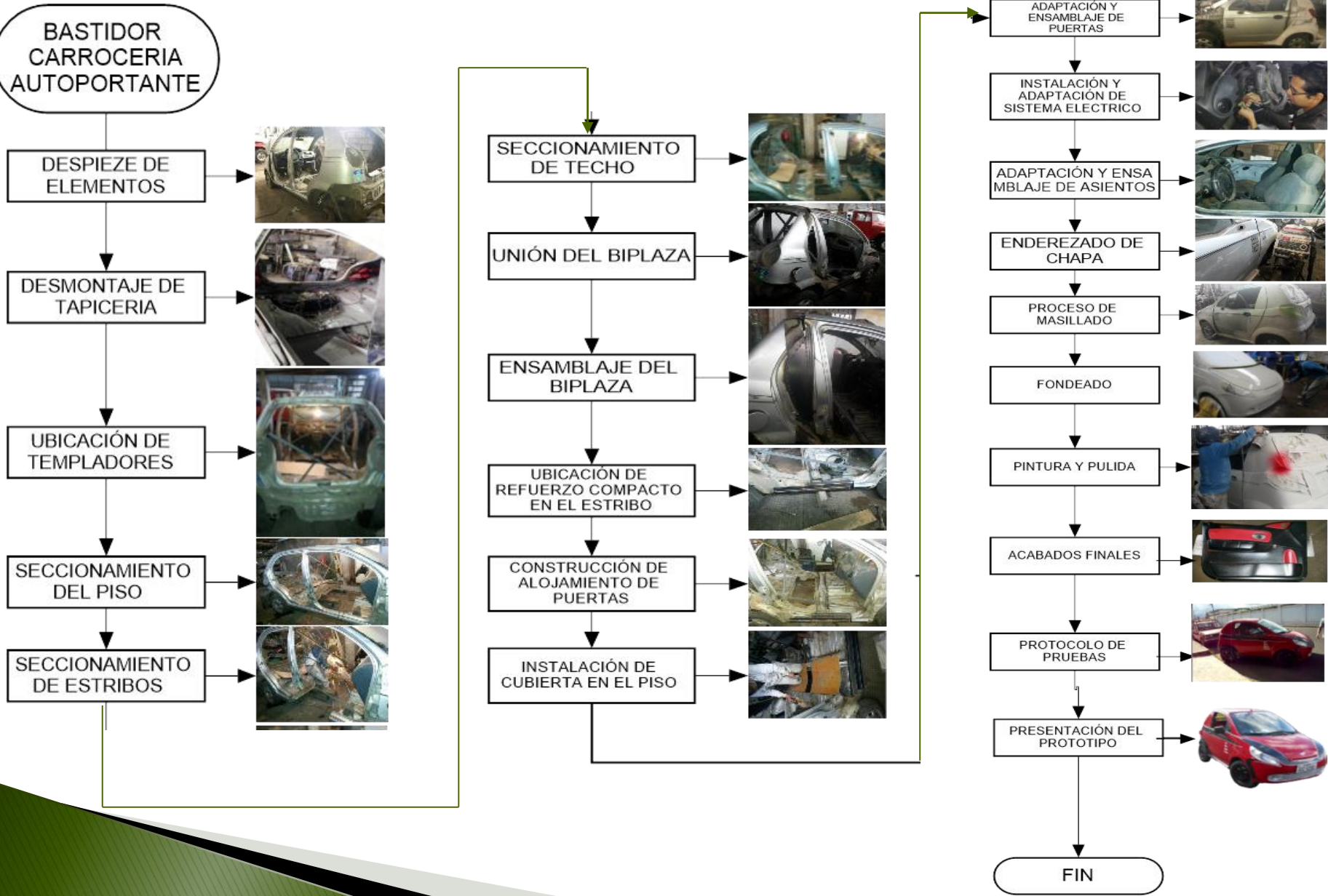
Seccionamiento de estribos y parantes



Descripción de los estribos y parantes seccionados

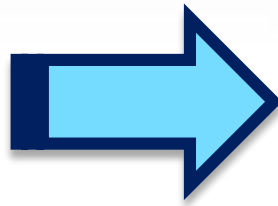
- A / A₁** - Estribo inferior
- B** - Parante
- C / C₁** - Estribo superior

Flujograma de manufactura de la carrocería auto portante del prototipo

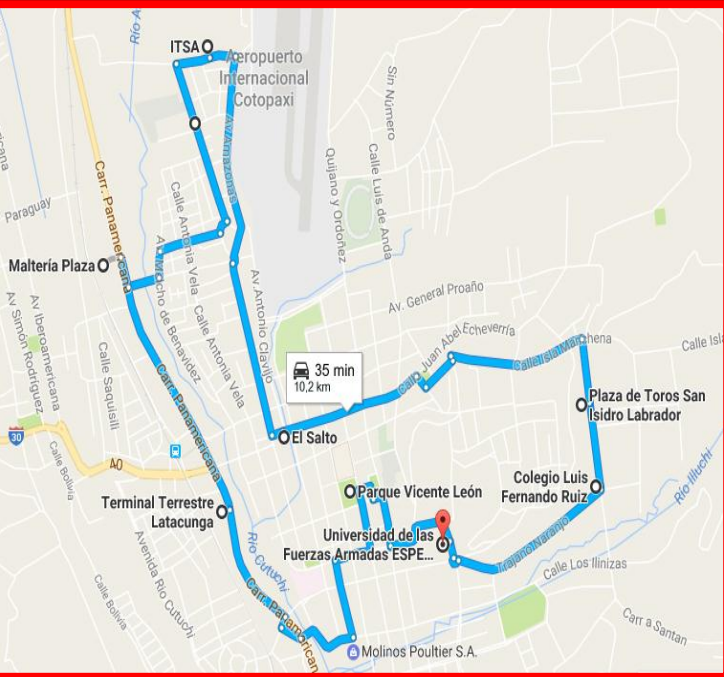




Dimensiones finales del prototipo



Protocolo de pruebas



Conclusiones

- La presente investigación se realizó en base a los postulados de la ingeniería concurrente, además del uso de software CAD / CAE de Autodesk y ANSYS en sus versiones estudiantiles, toda vez que el modelado y el diseño tuvieron que ser garantizados y evaluados por la metodología de los elementos finitos.
- El modelado de la estructura de la carrocería se realizó bajo un estudio y análisis sistemático que permite escoger la mejor opción mediante una matriz de selección que califica diferentes factores necesarios para la función que cumple la carrocería
- La combinación de carga viva y muerta en los ensayos dinámicos virtuales de impacto frontal a 56 Km/h según la normativa internacional NCAP no producen daños severos dentro del espacio límite del habitáculo del conductor y su copiloto.
- Se utilizó soldadura MIG/MAG ya que corresponde a un proceso de suelda mediante un hilo continuo evitando deformaciones en los elementos y no produce escoria ni oxidación; aspectos de vital importancia para evitar corrosión y porosidad en la carrocería.
- El prototipo cumple las normativas y reglamentos existentes y vigentes en las normativas INEN



Recomendaciones

- Al no existir un método específico para diseñar y calcular una carrocería es necesario ser creativo, persistente e ingenioso para tomar decisiones correctas respecto a los cambios que puedan darse para obtener el diseño definitivo.
- Respetar las normas INEN, con el fin de garantizar el buen funcionamiento y seguridad de la carrocería.
- Para visualizar un fenómeno físico de deformación con mayores características se debe aumentar el tiempo de simulación y procesarlo en computadores de alta capacidad de datos y memoria RAM





Gracias por
su atención.

