



FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO

Evaluación del Proceso de Termoformado para la Obtención de la Carcasa de la Alarma ChevyStar, Utilizando Ingeniería Inversa y Simulación por Elementos Finitos.

Ing. Juan Gabriel Espinosa Aguilar

Director: Ing. Edilberto Llanes, PhD.

Codirector: Ing. Javier Martínez, PhD.

Quito, Marzo 2019

ANTECEDENTES, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Antecedentes:

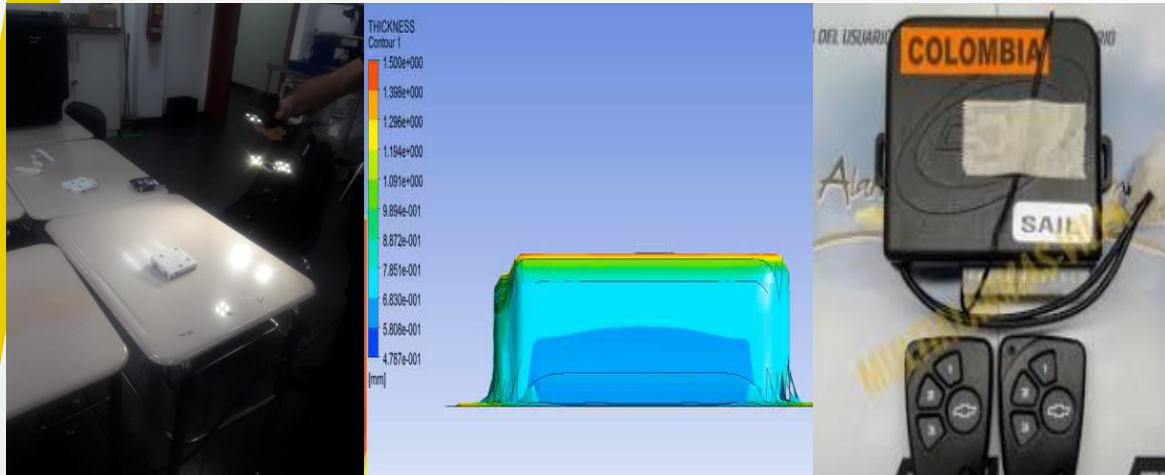
Road -Track	AEADE (2018)
• Las partes en su totalidad se fabricaban en el exterior con tecnología israelí y eran importadas. • Con los procesos de globalización, reducción de costos y centralizar los procesos provocó que la compañía abra una planta de producción de las partes en Hong Kong. • La empresa desea realizar la producción en el medio local.	• Los pocos procesos de elaboración de autopartes plásticas en el Ecuador se basan en su totalidad a la inyección. • Dependen de un elevado costo, tiempo de producción y complejidad del proceso.
	

Planteamiento del problema:

Planteamiento del problema
• El problema se plantea debido a que los procesos de termoformado de materiales poliméricos en la fabricación de autopartes en el Ecuador aún no se han desarrollado lo suficiente.

Justificación:

(Minalla, 2016)	(SENPLADES, 2017)
• La fabricación de este elemento es factible pues Chevrolet con 28 28 375 unidades lidera el mercado automotriz. • El producto que se pretende es de uso exclusivo de los vehículos de la marca y no existe un fabricante a nivel local.	• Aportando al cambio de la matriz productiva. • Fomentando la producción local tal como lo establece el Plan de Desarrollo 2017-2021 impulsado por el gobierno del Ecuador.
	



Objetivo general: Evaluar el proceso de termoformado para la obtención de la carcasa de la alarma ChevyStar, utilizando ingeniería inversa y simulación por elementos finitos, para la fabricación de la autoparte a nivel nacional.

Objetivos específicos:

- Obtener la geometría de la carcasa de la alarma ChevyStar, mediante ingeniería inversa, para su utilización como base para el diseño y la construcción del molde de termoformado.
- Simular el proceso de termoformado de la carcasa, mediante la herramienta informática especializada, determinando el espesor óptimo del poliestireno de alto impacto a utilizar para la construcción de la autoparte.
- Analizar los resultados dimensionales de las carcasas obtenidas en el proceso de termoformado, comparando con los resultados de la simulación y con las piezas físicas existentes en el mercado, para la validación del proceso en la fabricación de las carcasas.

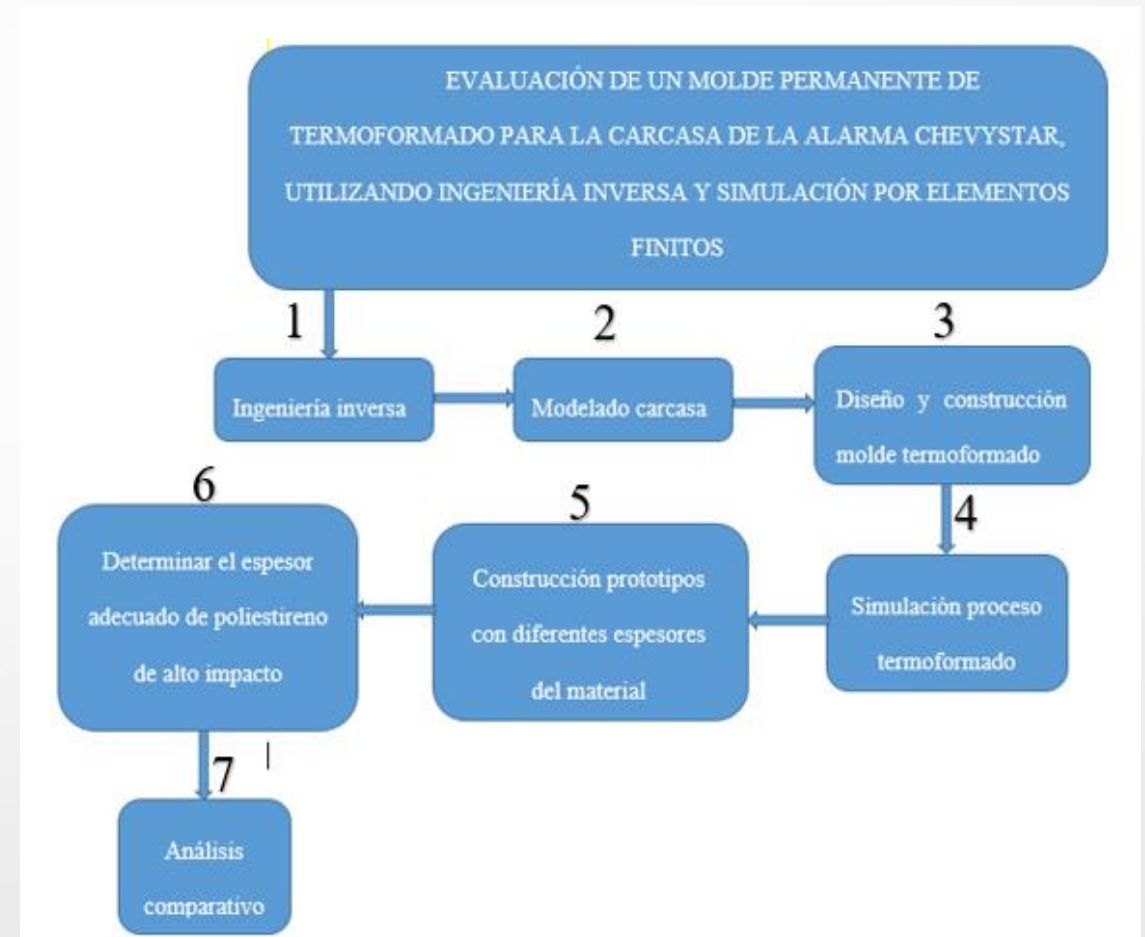
MÉTODO

Método deductivo:

- Se basa en el estudio a base de la descripción de los componentes.
- Permite identificar los diversos fenómenos ocurridos en el proceso de termoformado.
- La relación entre la geometría de la pieza, los espesores del material y las variables que puedan presentarse en el proceso de obtención de la carcasa.
- Comparar los resultados obtenidos con la pieza existente.

Método experimental:

- Se determinó las especificaciones técnicas de la carcasa.



Ingeniería Inversa:



Modelado de la carcasa:

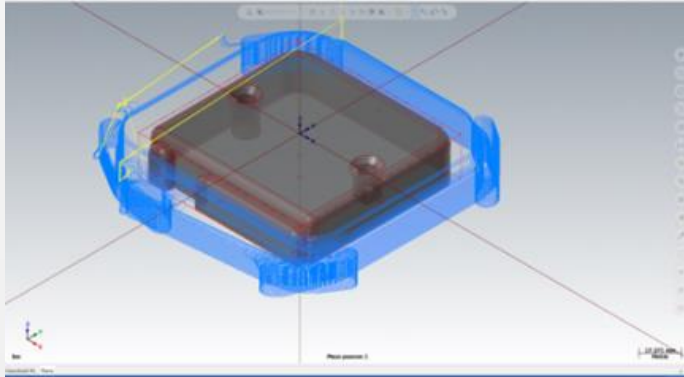


Molde de termoformado:

Características	Material		
	Aluminio (6011)	Acero (astm a36)	Madera pino)
DENSIDAD (kg/m3)	2,698	7,85	900
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/mm2)	40-44	48-55	40
Tensión de rotura (Mpa)	483	400-550	40
Manufactura	Alta mano de obra. Soldadura MIG y TIG. Corte por chorro de agua. Permite plegado, doblado, remaches, etc.	Soldadura MIG y TIG. Corte Plasma y Oxicorte	Herramientas de carpintería, manuales y eléctricas
Mantenimiento	Baja Mantención, no se oxida y puede recibir golpes	Alta Mantención, Requiere pintado constante y ánodos de sacrificio	Alta Mantención, requiere limpieza, pintado y protección al fouling

MÉTODO

Mecanizado del molde:



Fresas de carburo 4 flancos Marca Sandvik

	Acabado	Desbaste
OAL:	63 mm	50 mm
LOC:	19 mm	16 mm
DIA:	8 mm	5 mm

SANDVIK R290-12T308M



Velocidades y avance recomendado en el proceso de face milling (planeado) de aleaciones ferrosas y no ferrosas con herramientas de acero rápido y carburo

Material (Dureza)	Profundidad de corte (mm)	Herramienta de acero rápido			Herramienta de carburo		
		Velocidad de corte (m/min)	Avance por diente (mm)	Material de la herramienta	Velocidad de corte (m/min)	Avance por diente (mm)	Material de la herramienta
Al 6011 (30-80 HB)	1	365	0,25	S4, S2	610	0,25	K10,M20
	4	245	0,4	S4, S2	550	0,5	K10,M20
	8	200	0,5	S4, S2	365	0,65	K10,M30

Fuente: Castro (2016)

Velocidades y avances para el fresado de acabado para el aluminio 6011 con herramientas de acero rápido y carburo

Material (Dureza)	Profundidad de corte (mm)	Herramienta de acero rápido			Herramienta de carburo		
		Velocidad de corte (m/min)	Avance mm/diente, respecto al diámetro de la herramienta (mm/diente)		Material de la herramienta		
Al 6011 (30-80 HB)	0,5	245	0,075	0,0102	0,13	0,18	S4,S5,S2
	1,5	185	0,102	0,15	0,2	0,25	S4,S5,S2

Fuente: Castro (2016)

Velocidades y avances para el fresado de acabado para el aluminio 6011 con herramientas de acero rápido y carburo



Material (Dureza)	Profundidad de corte (mm)	Herramienta de acero rápido			Herramienta de carburo		
		Velocidad de corte (m/min)	Avance mm/diente, respecto al diámetro de la herramienta (mm/diente)		Material de la herramienta		
Al 6011 (30-80 HB)	0,5	245	0,075	0,0102	0,13	0,18	S4,S5,S2
	1,5	185	0,102	0,15	0,2	0,25	S4,S5,S2

Fuente: Castro (2016)

Material de la carcasa:

Matriz de variables selección material de la carcasa

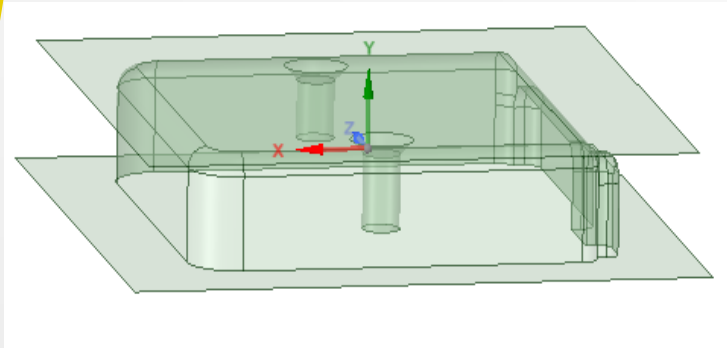
Polímeros	Temperatura de deflexión al calor			Temperatura de termoformado		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	SIN CARGA (°C)	Temp. de la hoja (°C)	Temp. del molde (°C)	Temp. de ayuda (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetoburitato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Poliétileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-85	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno de alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (RV.C)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato	130	140	160	180-230	95-120	140

Fuente: Melorose, Perroy y Careas (2015)

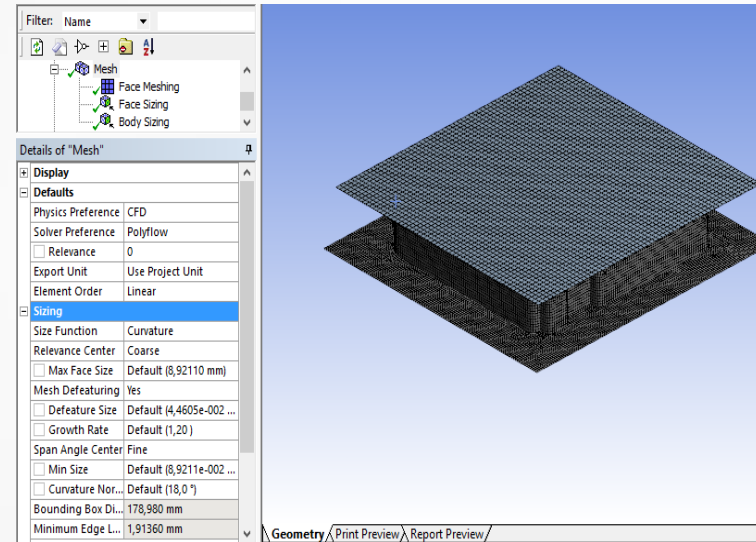


MÉTODO

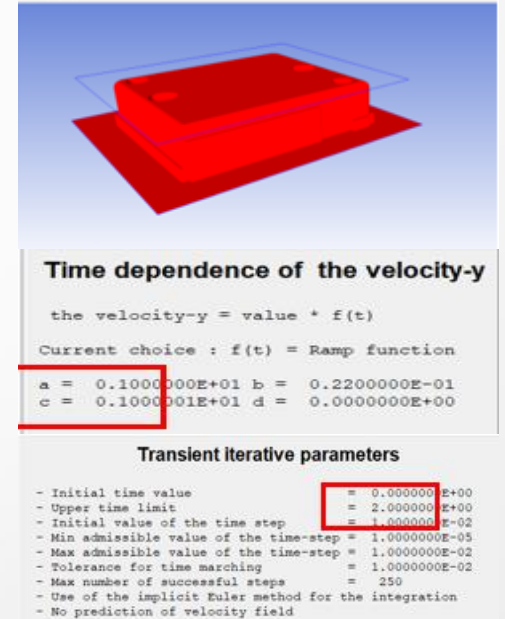
Simulación por Elementos Finitos:



Importar CAD



Mallado



Configuración parámetros de simulación

Termoformado experimental:

Características de la máquina Formech 2440

Área de formado	Tamaño de la lamina	Profundidad de termoformado máxima	Grosor máximo del material
2380 x 1160 mm	2440 x 1220 mm	600 mm	500 mm

Fuente: Formech 2018



Preparación y carga de la lámina

Calentamiento

Termoformado

Enfriamiento

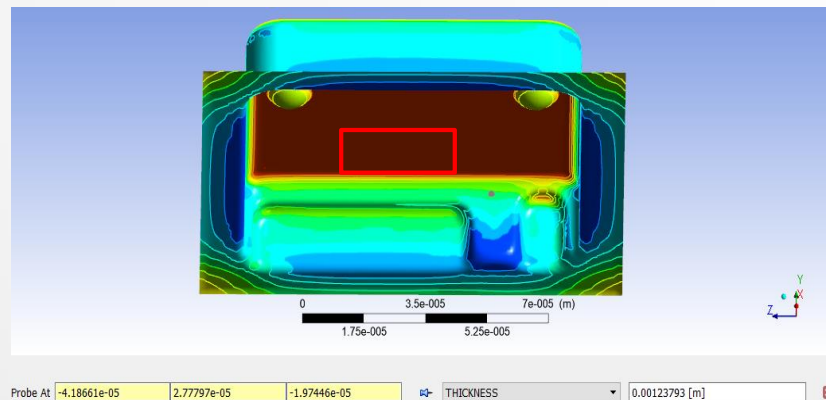
Descarga y corte



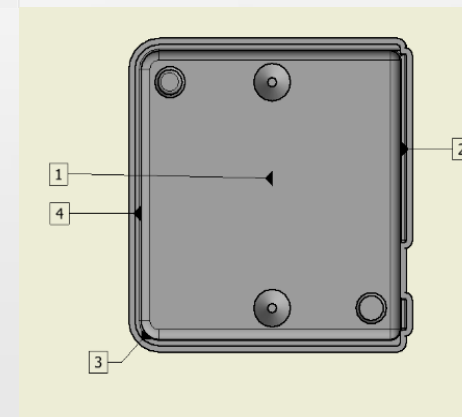
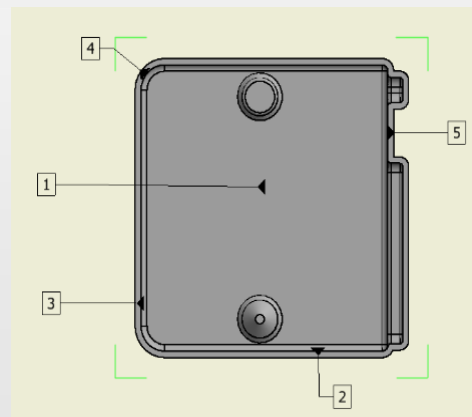
MÉTODO

Análisis comparativo:

$$\% \text{ de adelgazamiento} = \frac{\text{espesor final del material}}{\text{espesor original del material}} = \frac{\text{area disponible de la hoja}}{\text{area total de la pieza}}$$

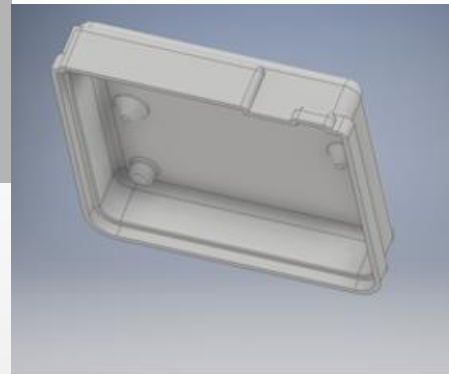
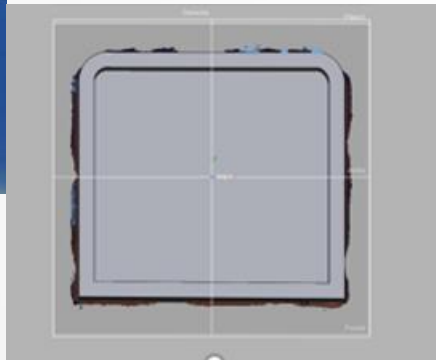


Probe At: -4.18661e-05 2.77797e-05 -1.97446e-05 THICKNESS 0.00123793 [m]



RESULTADOS

Obtención de la geometría mediante Ingeniería Inversa:



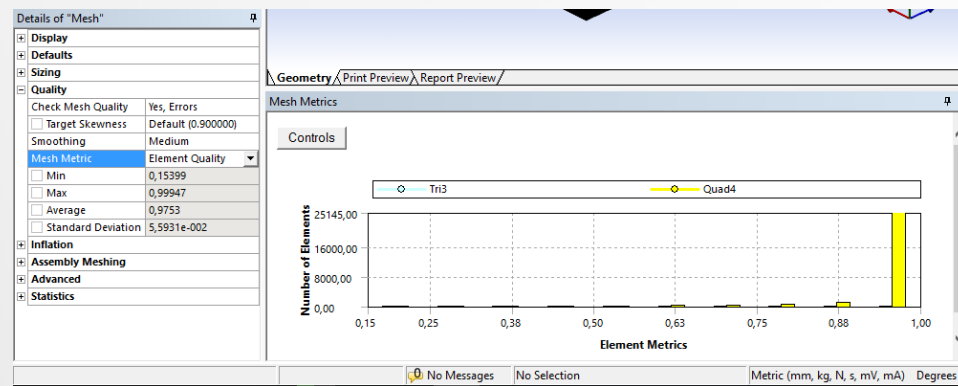
Molde de termoformado:



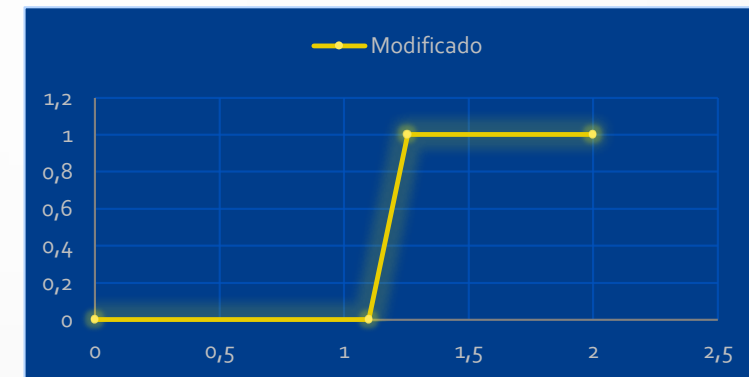
RESULTADOS

Simulación por elementos finitos:

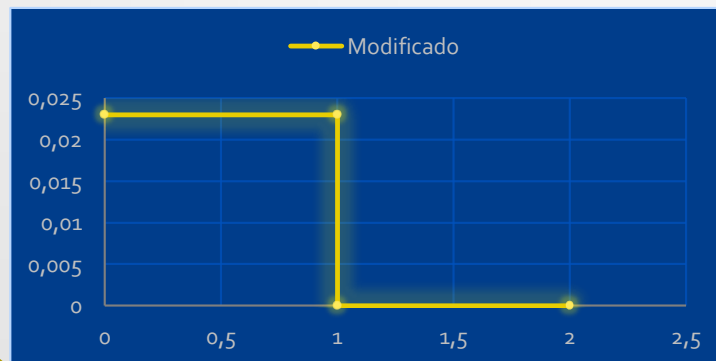
Mallado:



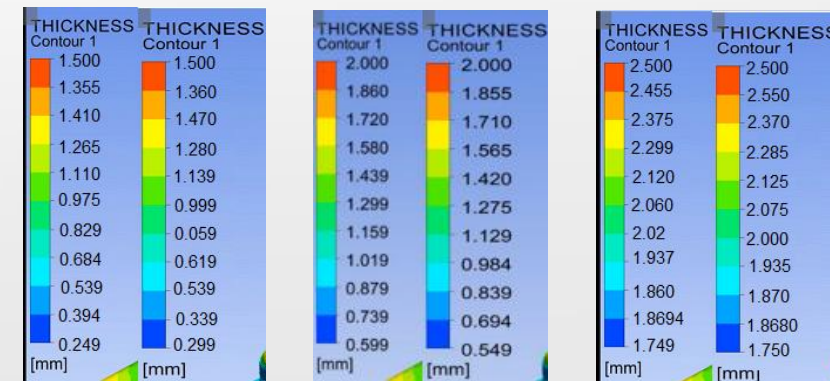
Tiempo de activación de la presión de succión:



Desplazamiento del molde:



Espesor:



Termoformado experimental:



RESULTADOS

Validación Geometría:



Dimensiones mm	Largo	Ancho	Profundidad
Tapa 1	95,5	85,5	12,5
Tapa2	95	85	12,5

RESULTADOS

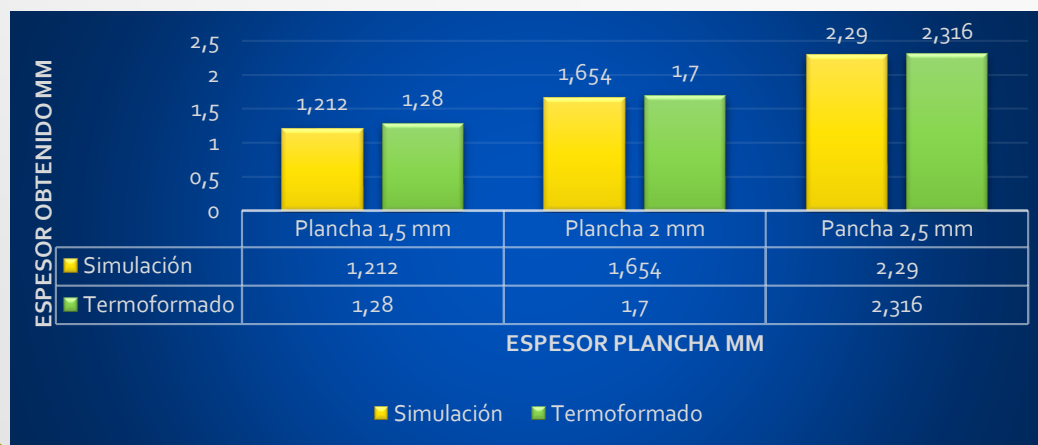
16

Validación espesor:

Resultados espesor tapa 1																
Espesor plancha mm	1,5					2					2,5					
Punto de medición	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Simulación	1,3	1,38	1	1,48	0,9	2	1,5	1,7	1,87	1,2	2,5	2,2	2,4	2,35	2	
Termoformado experimental	1,5	1,4	1	1,5	1	2	1,6	1,8	1,9	1,2	2,5	2,3	2,41	2,37	2	

Resultados espesor tapa 2													
Espesor plancha mm	1,5				2				2,5				
Punto de medición	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Simulación	1,3	1,38	1	1,5	2	1,3	1,7	1,5	2,5	2,2	2,4	2,35	
Termoformado experimental	1,5	1,4	1	1,5	2	1,54	1,72	1,53	1,53	2,3	2,41	2,37	

Promedio:



CONCLUSIONES

- Se obtuvo la geometría de la carcasa de la alarma ChevyStar, mediante ingeniería inversa.
- La herramienta informática sirvió de gran ayuda para determinar el espesor óptimo de la plancha de poliestireno de alto impacto que se utilizó en la construcción de la autoparte.
- Realizando la comparación entre la pieza existente con los resultados que se obtuvo en el termoformado y la simulación se determinó que el espesor de la plancha del poliestireno de alto impacto con el cual se debe trabajar es de 2 mm.
- Se pudo validar este proceso de moldeo que además en su tiempo de desarrollo (desde el diseño, molde y pruebas) se necesita alrededor de un mes contrariamente a la inyección en donde se necesita de 3 a 6 meses, estos resultados fueron presentados a la compañía Road Track para que en futuro inicien su proceso de producción de carcasas a nivel nacional.

RECOMENDACIONES

- Para optimizar el tiempo de modelado de las piezas de estudio mediante ingeniería inversa se recomienda disponer de un escáner con una resolución de al menos 0.1 mm para obtener una gran cantidad de nube de puntos que permitan generar el modelo rápidamente.
- En el proceso de termoformado para generar la pieza requerida se debe considerar el porcentaje de adelgazamiento del material debido a la expansión térmica que sufre al momento de ser calentado y estirado.
- Para la producción a gran escala de las carcasas se debe tomar en cuenta que a las piezas obtenidas se las puede hacer cualquier tipo de tratamiento o acabado posterior para su comercialización, entre los cuales se recomienda utilizar el metalizado, pintado, hot stamping y serigrafía con el fin mejorar su presentación final.

GRACIAS UISEK

