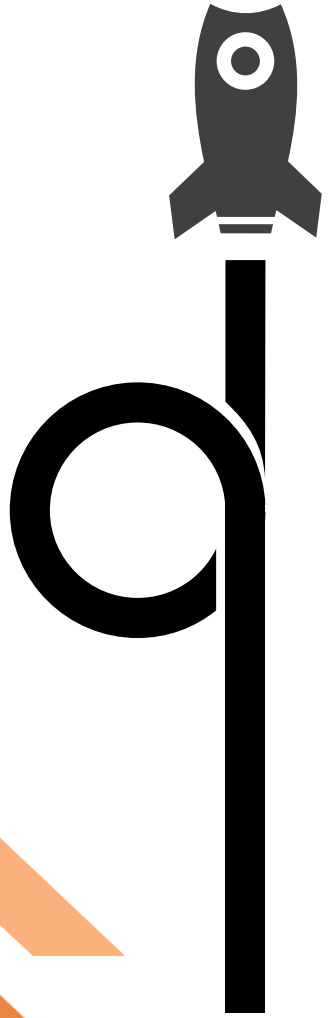
Maestría en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes

Prototipado del guardachoque delantero del vehículo Chevrolet Aveo, mediante la optimización del proceso de moldeo por transferencia de resina asistida por vacío VARTM, empleando materiales compuestos híbridos

Autor: Diego Javier Jiménez Pereira
Director: Ing. Diana Peralta, M.Sc
Codirector: Ing. Jaime Molina, M.Sc

INTRODUCCIÓN



01

Impulsar la transformación de la matriz productiva

Según el BCE (2017), se requiere una inversión de 8.4 millones de dólares para la importación de guardachoques

02

Proceso Tradicional – Inyección de Plástico

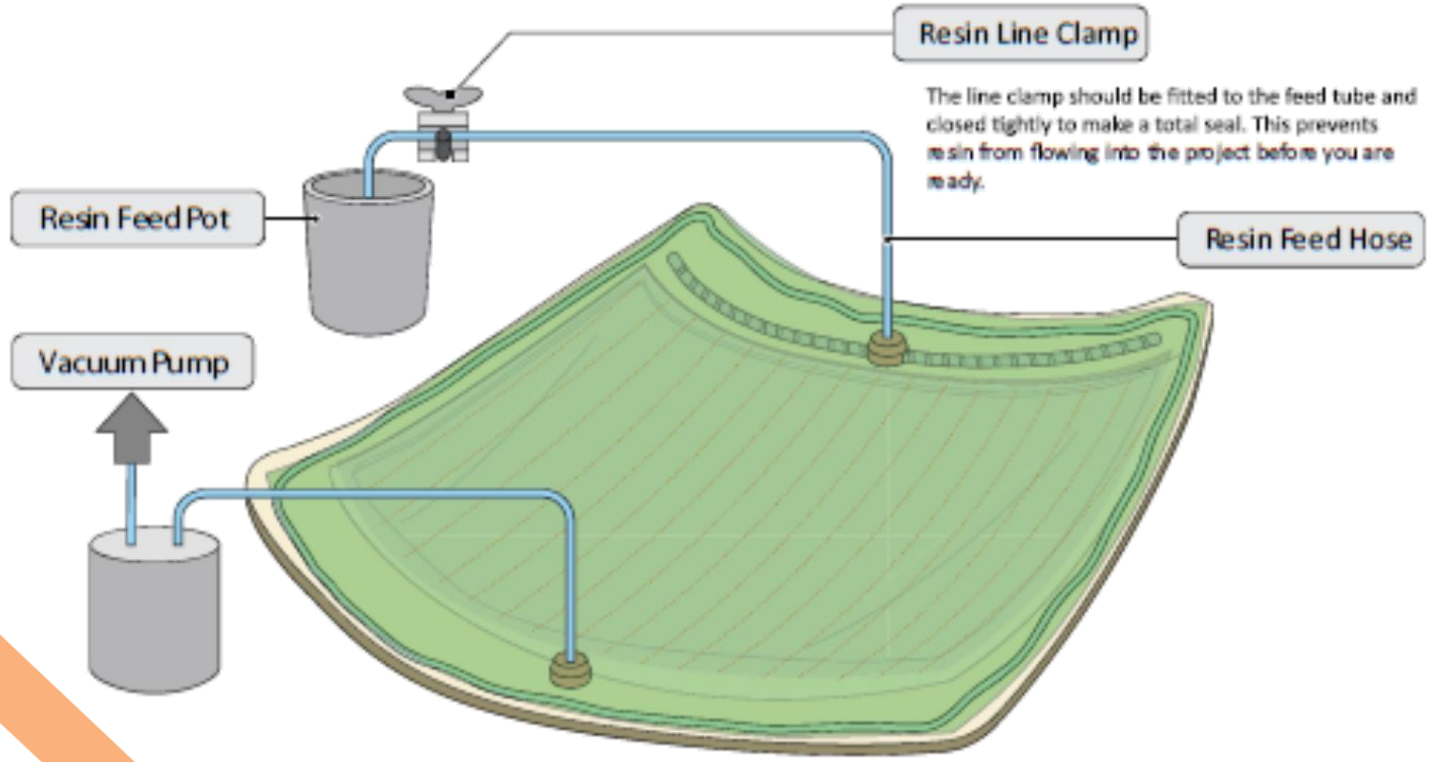
Bubna et al., (2016), dice: alto capital de inversión, maquinarias co mplejas y tiempos largos de producción de moldes

03

Materiales compuestos reforzados con fibras

Proceso de Moldeo por transferencia de Resina asistida por vacío VARTM

INTRODUCCIÓN



VENTAJAS

- Ruikui et al., (2013) dice: herramientas de bajo costo.
- Santoso, (2010) dice: aumenta la resistencia del material compuesto.
- Mitschang y Hildebrandt, (2012) dice: producción rápida

OBJETIVOS

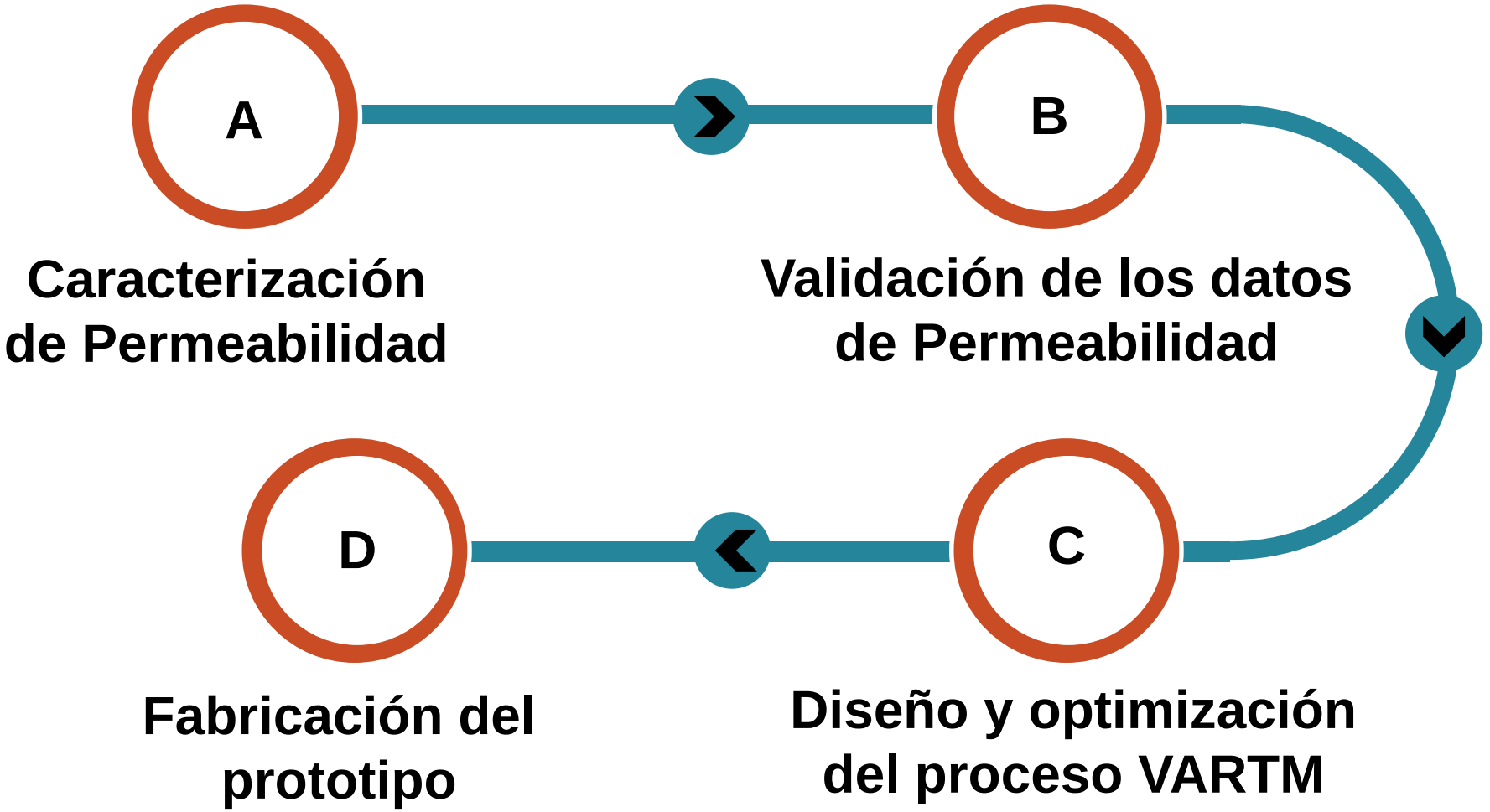
GENERAL

- Prototipar el guardachoque delantero del vehículo Chevrolet Aveo, mediante la optimización del proceso de moldeo por transferencia de resina asistida por vacío (VARTM), utilizando un material compuesto híbrido de resina epóxica IN2 como matriz, reforzada con fibra de vidrio y cabuya.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar la permeabilidad del refuerzo híbrido mediante la experimentación del proceso VARTM.
- Validar los datos de permeabilidad obtenidos experimentalmente mediante la simulación del proceso.
- Simular el proceso VARTM aplicado en la fabricación del prototipo mediante el software Autodesk Moldflow Insight
- Realizar el montaje de los materiales a utilizar para la construcción del prototipo

METODOLOGÍA

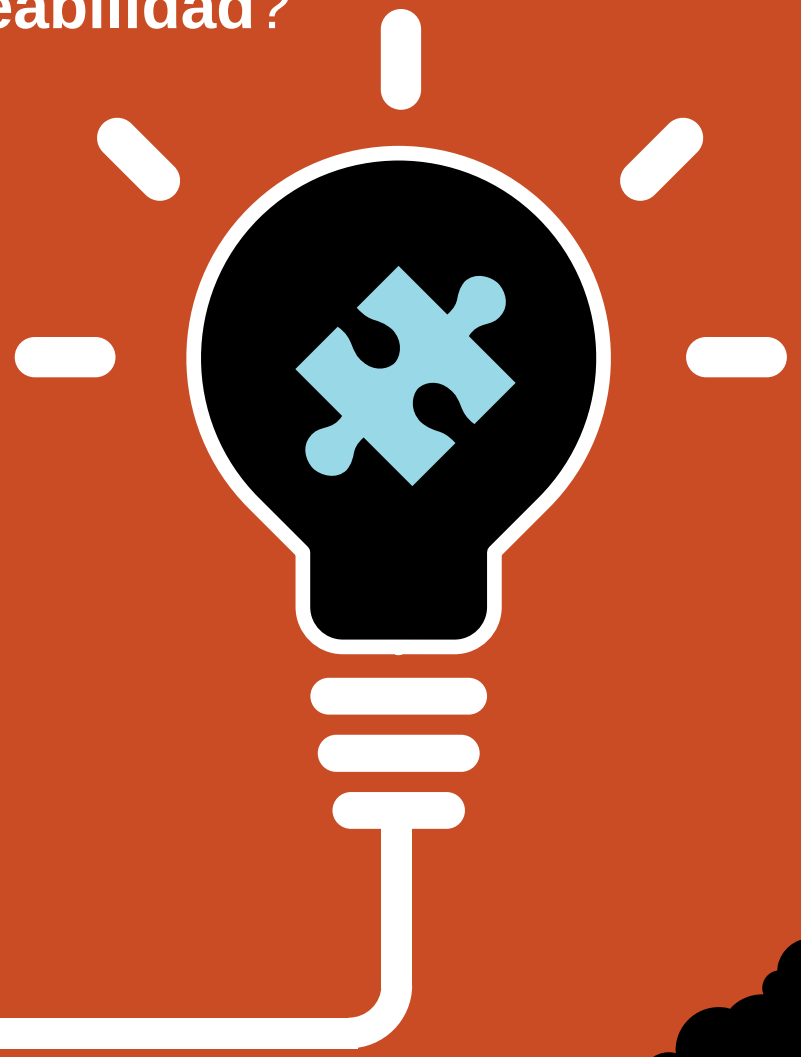


Por qué caracterizar la Permeabilidad?

01 **Predicción del tiempo de llenado.**
Verleye, Lomov, y Roose (2011)

02 **Zonas Secas**
Verleye, Lomov, y Roose (2011)

03 **Dato requerido para la simulación**
Moldflow Insight



Caracterización de Permeabilidad

Mejía (2013); Verrey et al. (2006); Pierce (2014)

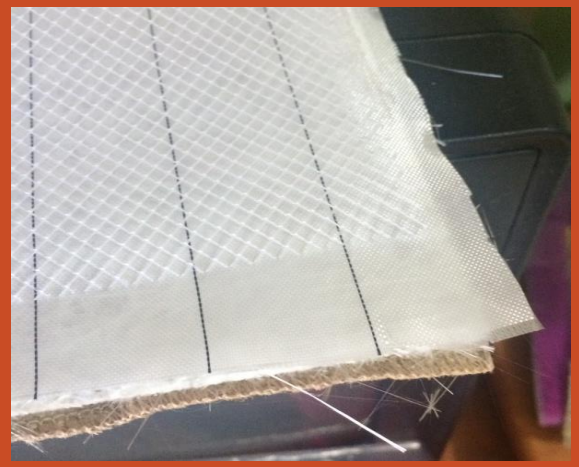
Proceso VARTM

-Se aplica el proceso VARTM a las muestras de fibras utilizadas para la fabricación del prototipo.
-Fracción del vólumen de fibra del 60%

1

Fibras utilizadas en la medición radial de la permeabilidad.

Material	Tipo	Numero de capas	Orientación
Fibra de vidrio	*Choped Strand Mat*	1	Normal
Fibra de Cabuya	Tejida	1	0^0
Vidrio + Cabuya + Vidrio	Híbrido	3	Normal, 0^0, Normal
Malla de infusión+ Peel Ply+ Vidrio+ Cabuya+Vidrio	Hibrido	5	Normal, 0^0, Normal



Caracterización de Permeabilidad

Propiedades de la resina epóxica IN2 y endurecedor

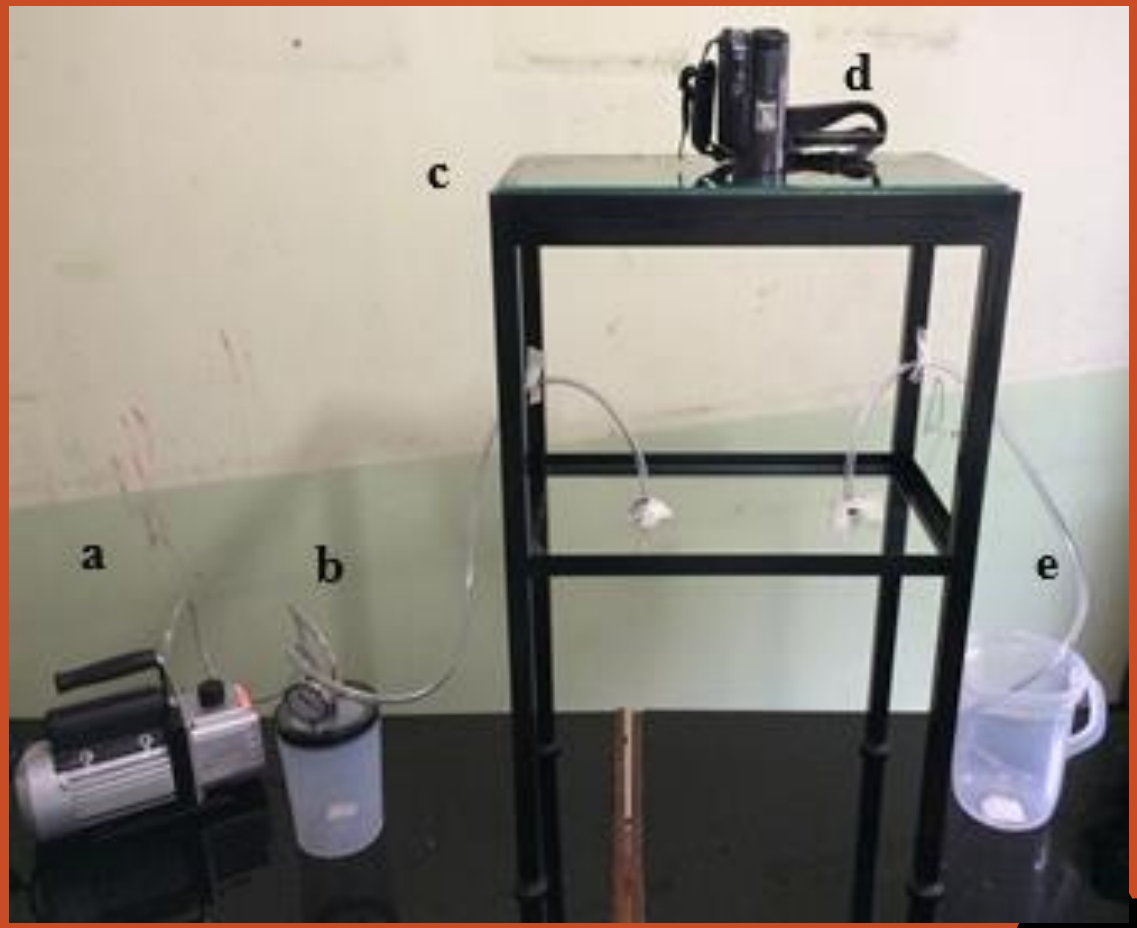
Propiedad	Unidad	Resina	Endurecedor	Combinados
Apariencia	-	Liquido claro	Liquido claro	Liquido claro
Viscosidad (25^0)	mPa.s	500-800	10-20	200-450
Densidad	g/cm^3	1.08-1.18	1.07-1.13	1.12-1.18

Nota: Los datos de las propiedades se tomaron desde: www.easycomposites.co.uk

Propiedades de curado del endurecedor

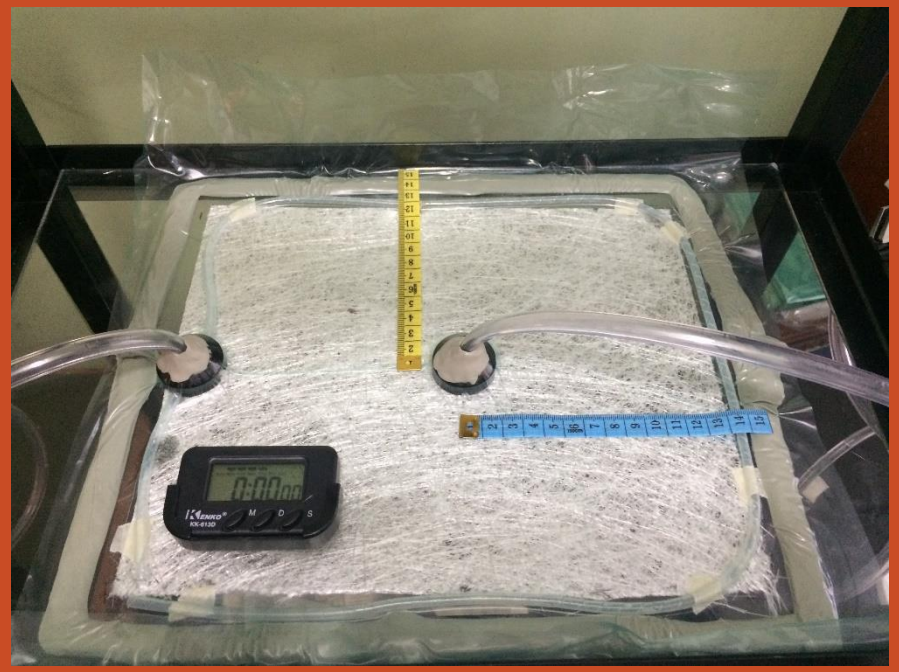
Nombre Comercial	Tiempo de conserva a 25 ^{0}C	Tiempo de Gelificación a 25 ^{0}C	Tiempo de desmoldeo	Tiempo de curado a 25 ^{0}C
AT 30 *SLOW*	80-100 min	8-11 horas	18-24 horas	24 horas

Nota: Los datos se tomaron desde: www.easycomposites.co.uk



Caracterización de Permeabilidad

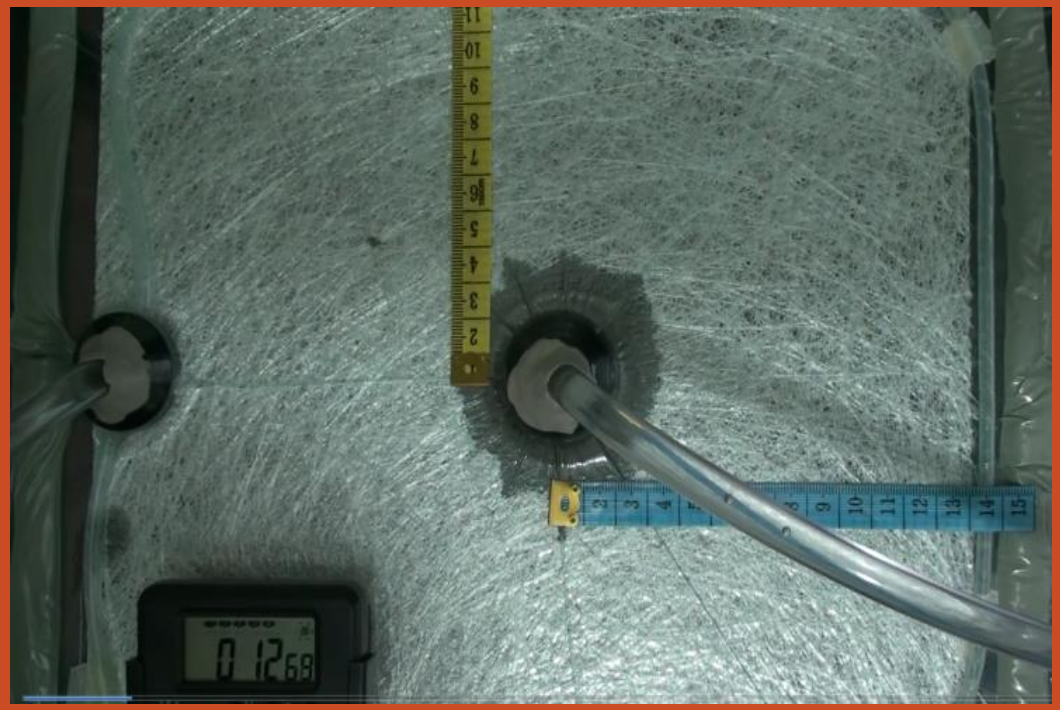
Endruweit et al. (2006): 20 réplicas del proceso → incertidumbre experimental del 3 %



Condiciones utilizadas para la caracterización de permeabilidad

Presión de Inyección (Pa)	Temperatura (°C)	Viscosidad de resina (Pa.s)
88 000	20-25	0.65

Caracterización de Permeabilidad



Recolección de datos

-Grabación del proceso.
-20 s, 40 s, 80 s, 160 s, 320 s, 640 s, 840 s.

2

Caracterización de Permeabilidad

$$\frac{dx}{dt} = \frac{K}{\mu\varepsilon}\frac{\Delta P(t)}{x(t)}$$

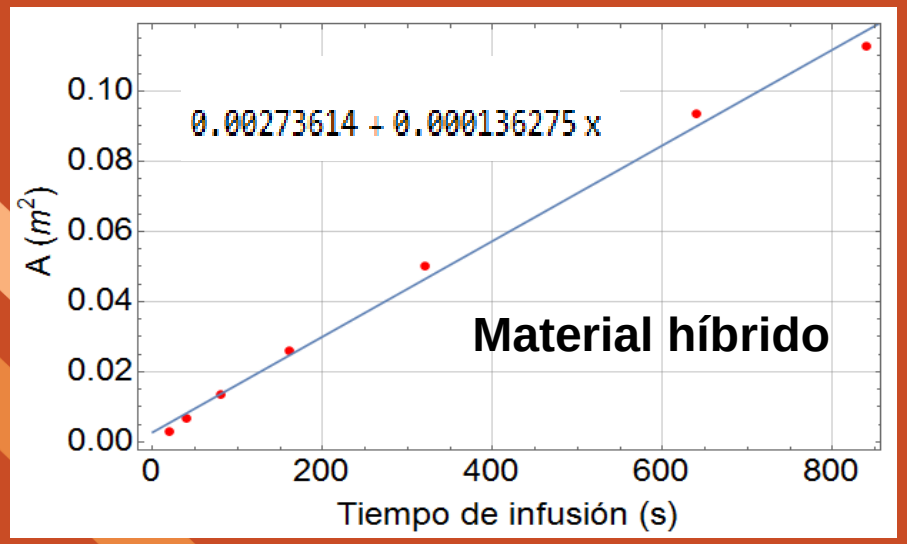
Naik et al., (2014)

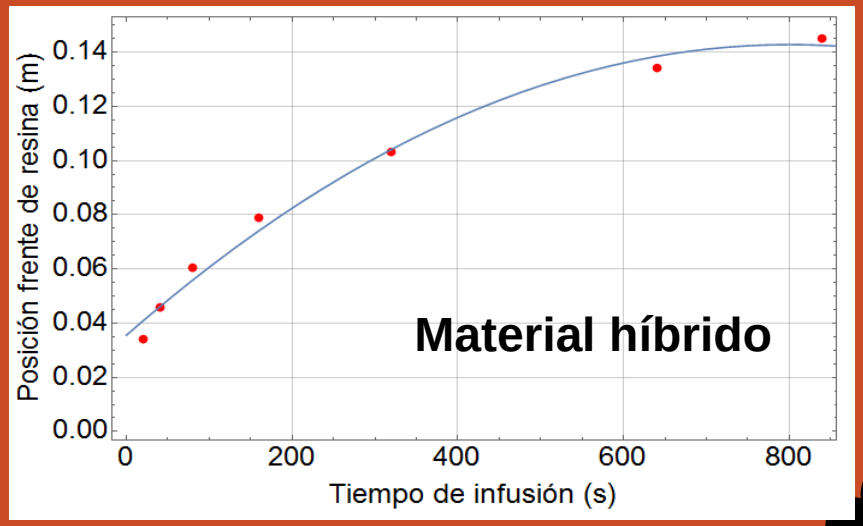
$$K = \frac{u\,\varepsilon}{4t\Delta P}\left\{r_f{}^2\left[2.ln\left(\frac{r_f}{r_0}\right) - 1\right] + (r_0{}^2)\right\}$$

Método Analítico – Ajuste de Curvas-
Calculo de la permeabilidad
-Ajuste lineal de los datos.
- Wolfram Mathematica

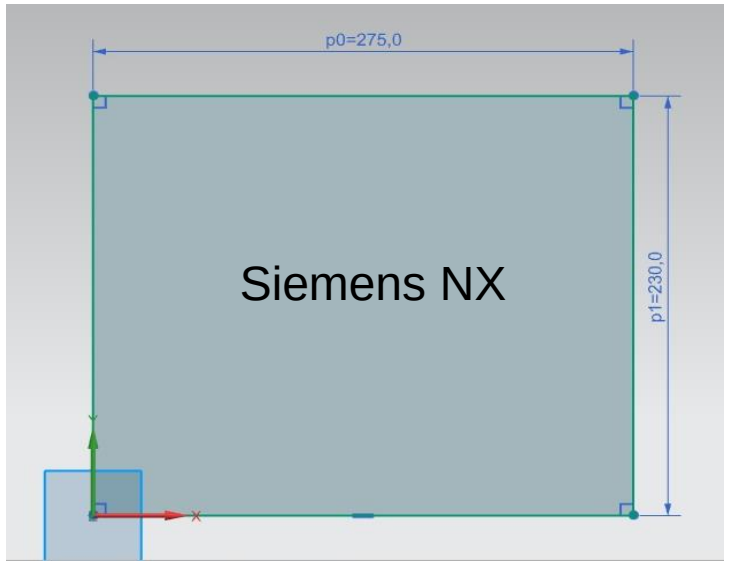
3

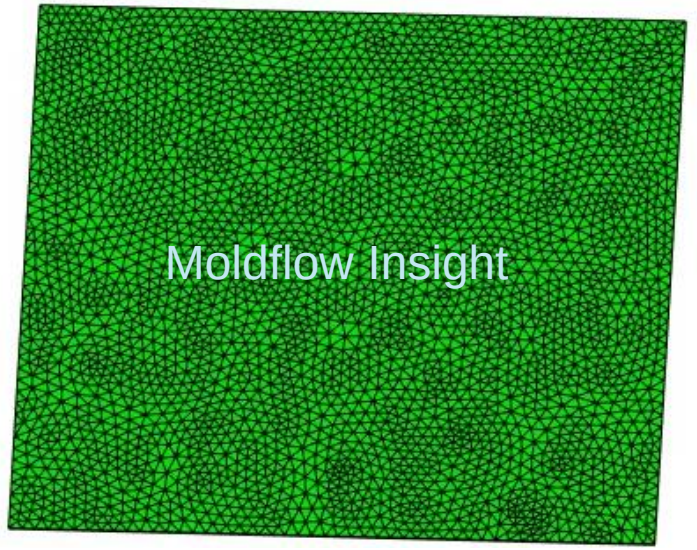
$$A = r_f{}^2\left[2.ln\left(\frac{r_f}{r_0}\right) - 1\right] + (r_0{}^2)$$





VALIDACIÓN DATOS PERMEABILIDAD



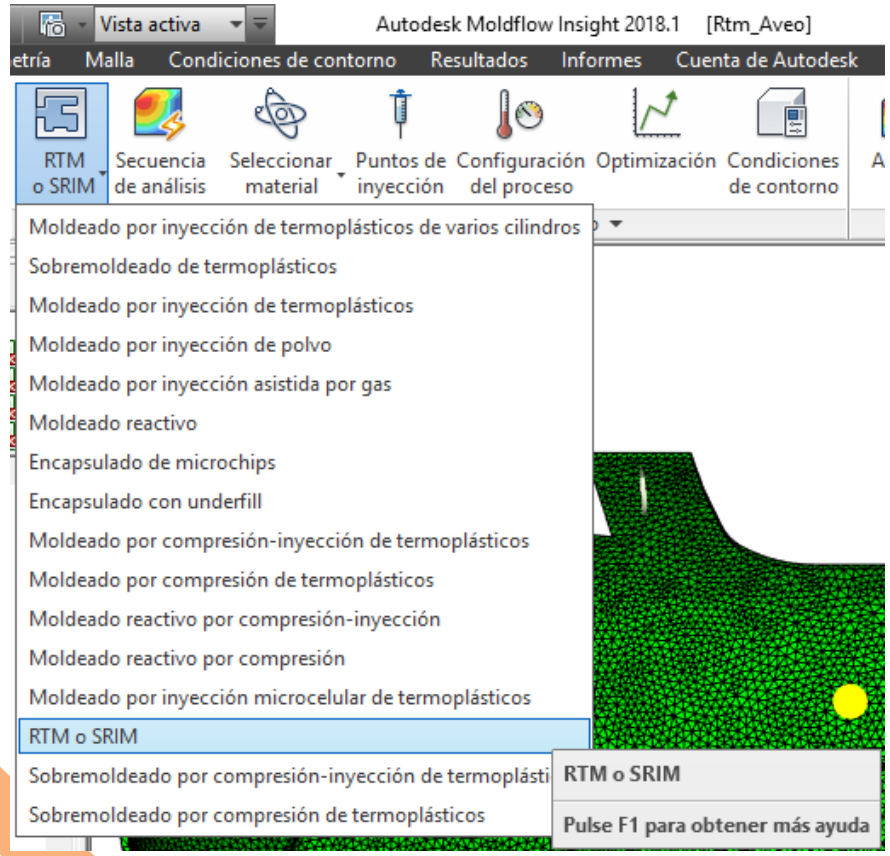


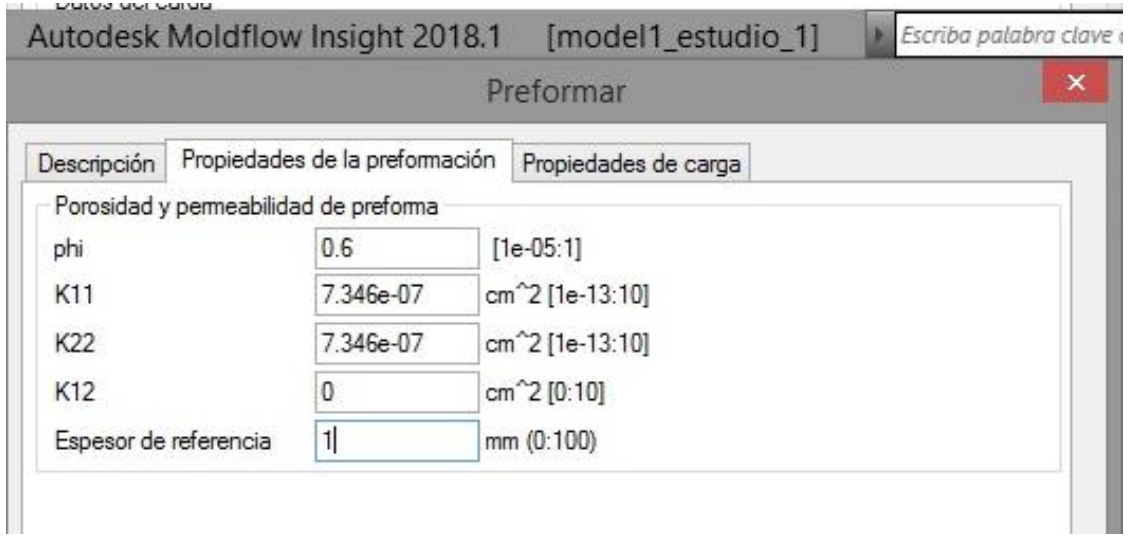
Datos de la malla reparada para la muestra rectangular

Malla	Número de tetraedros	Número de nodos	Relación de aspecto		
			Máxima	Media	Mínima
Tetraédrica 3D	344 187	63 223	49.89	33.88	1.56

Nota: Los datos de malla se obtuvieron a partir de la herramienta que dispone el software *Moldflow* "Información de malla"

VALIDACIÓN DATOS PERMEABILIDAD





Porosidad y Permeabilidad utilizada para las simulaciones.

Muestra	phi	K11 (m^2)	K22 (m^2)	K33 (m^2)
1	0.4	7.3628×10^{-11}	7.3628×10^{-11}	7.3628×10^{-11}
2	0.4	8.5765×10^{-11}	8.5765×10^{-11}	8.5765×10^{-11}
3	0.4	1.0065×10^{-10}	1.0065×10^{-10}	1.0065×10^{-10}
4	0.4	3.7327×10^{-10}	2.6026×10^{-10}	1.0065×10^{-10}

Nota: Los datos de permeabilidad pertenecen a los calculados mediante el método indicado en la parte de caracterización de la permeabilidad.

VALIDACIÓN DATOS PERMEABILIDAD

Tipo de material y fracción volumétrica utilizada para las simulaciones.

Muestra	Material	Fracción volumétrica (%)
1	*Chopped Glass*	60
2	Mat	60
3	Chopped Glass, Mat	40, 20
4	Chopped Glass, Mat	40, 20

Densidad (g/cm^3)	1.13
Viscosidad (Pa.s)	0.65

RESULTADOS – CARACTERIZACIÓN PERMEABILIDAD

Permeabilidad calculada para la Fibra de Vidrio, Cabuya y Material Híbrido.

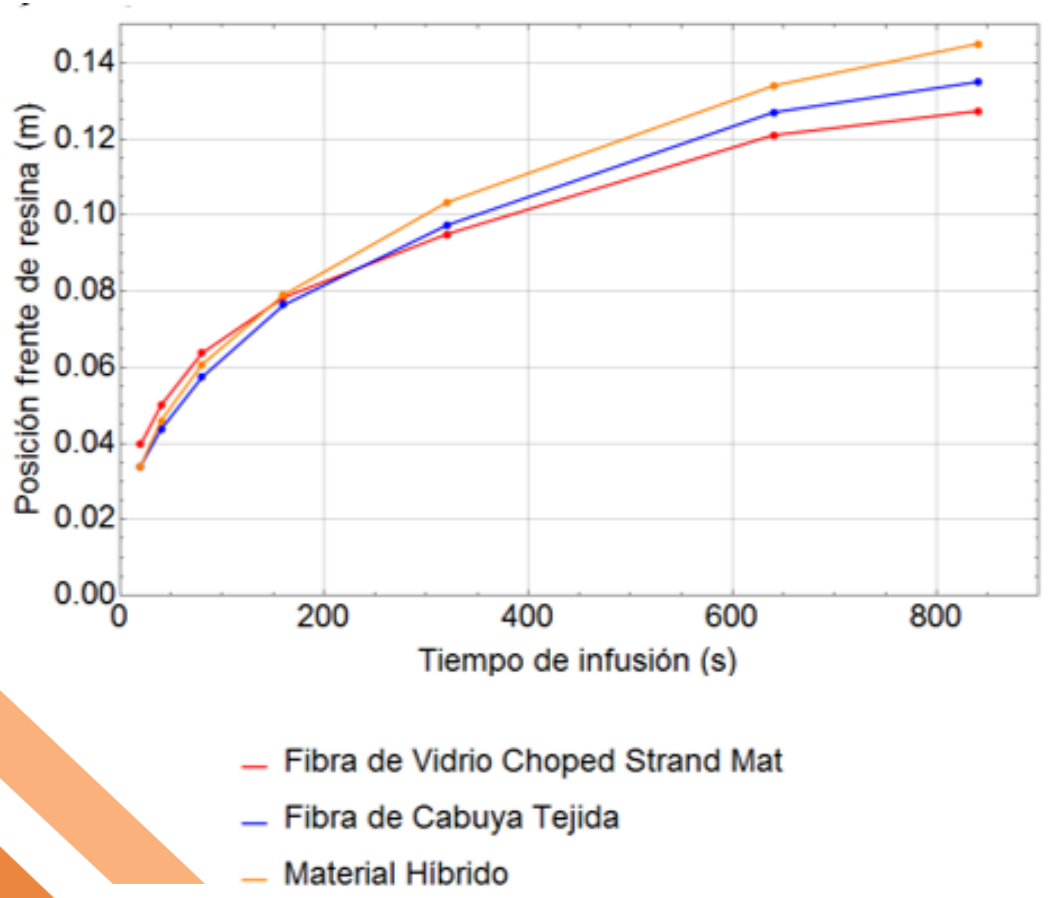
Material	Pendiente Recta	**u** (Pa.s)	**ε**	**ΔP** (Pa)	K (m^2)
Fibra de Vidirio *Choped Strand Mat*	0.0000996815	0.65	0.4	88000	7.3628×10^{-11}
Fibra de Cabuya tejida	0.000116112	0.65	0.4	88000	8.5765×10^{-11}
Material Híbrido	0.000136275	0.65	0.4	88000	1.0065×10^{-10}

Permeabilidad del Material Híbrido con malla de distribución y peel ply.

Dirección	Pendiente Recta	**u** (Pa.s)	**ε**	**ΔP** (Pa)	K ($\times 10^{-10}$)
x	0.000352348	0.65	0.4	88000	2.6026
Y	0.000505348	0.65	0.4	88000	3.7327

Nota: Los valores de permeabilidad determinados son medidos desde los ejes coordenados + 45^0

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

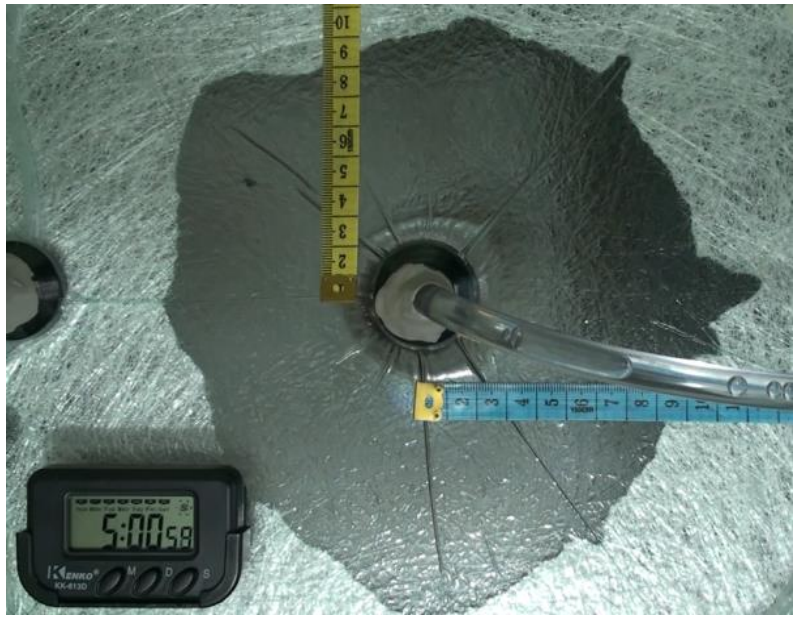


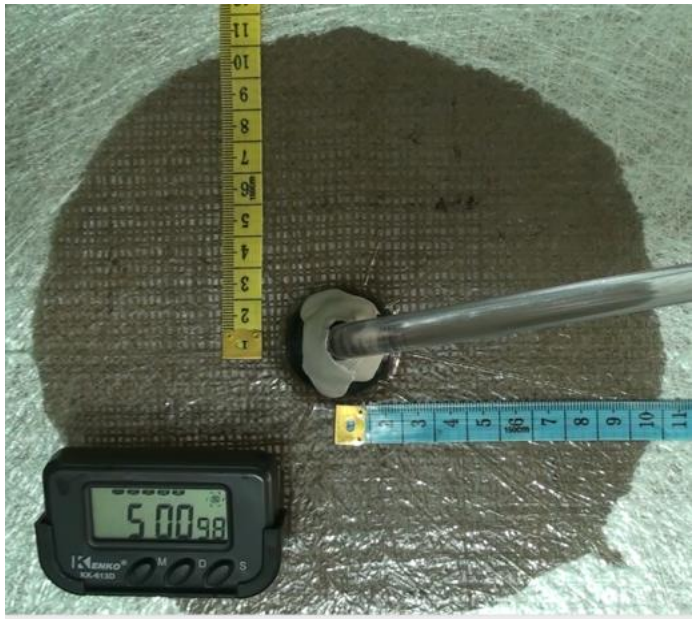
Reducción del 20.48 % con respecto a la fibra de vidrio y del 10.4 % con respecto a la fibra de cabuya

Li et al., (2015), tela de yute reduce entre 13 % y 30% el tiempo de llenado .

Li et al., (2015), fibras vegetales poseen elevadas porosidades

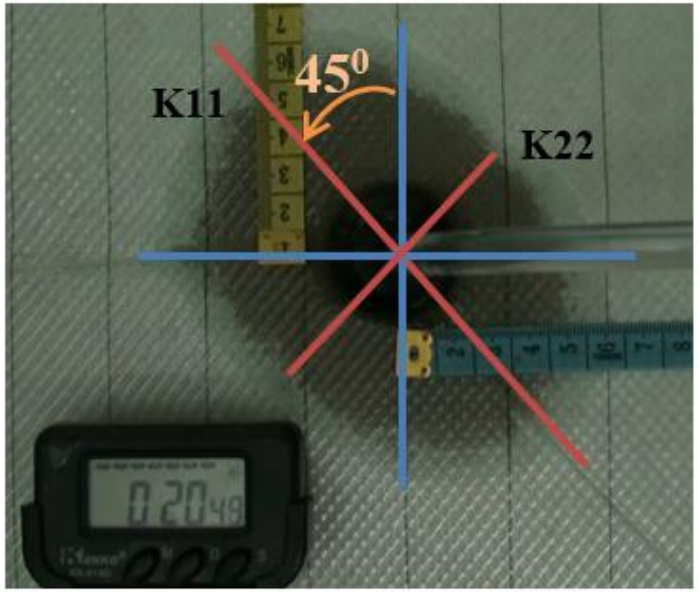
ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

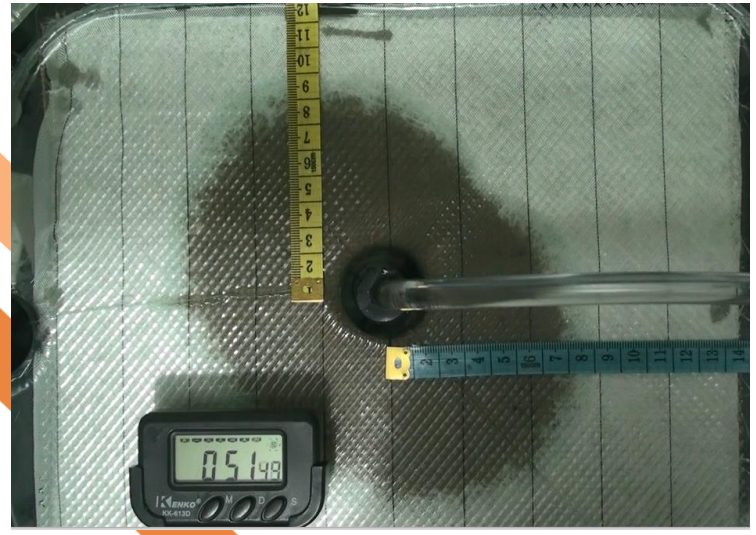


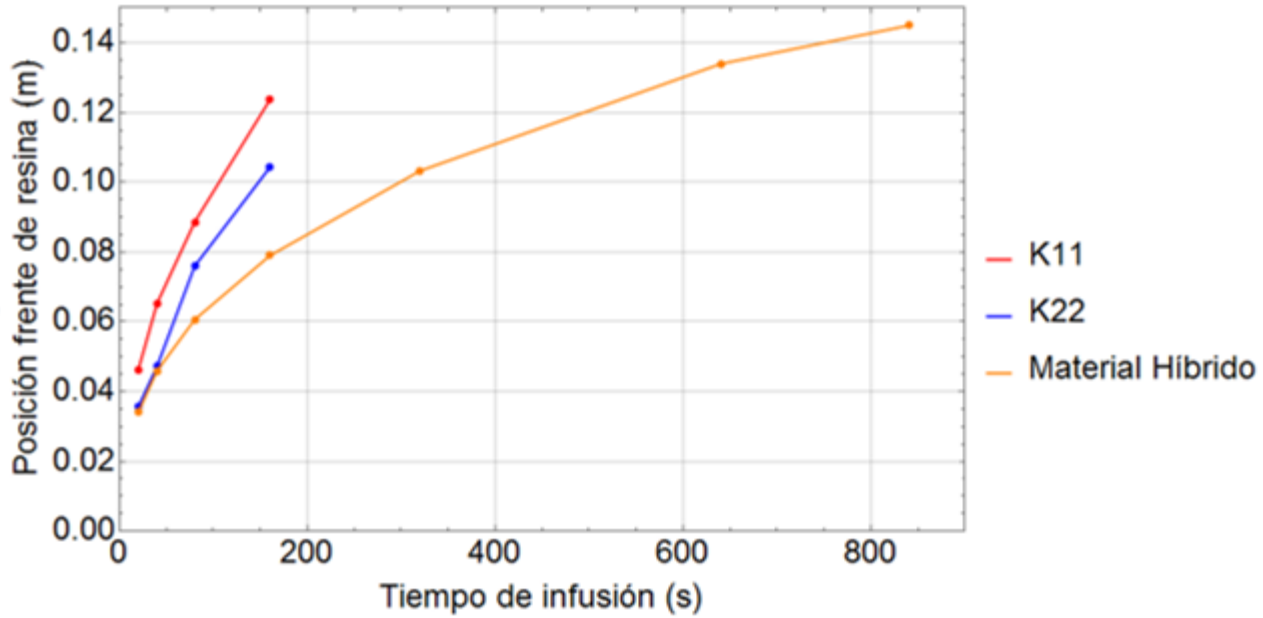


Comas-Cardona et al. (2011),→ distribución inconsistentes de las masas de fibras

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



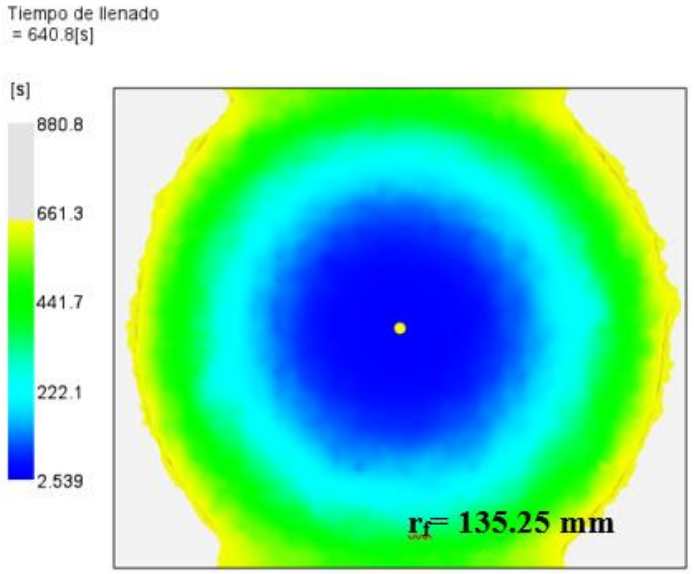




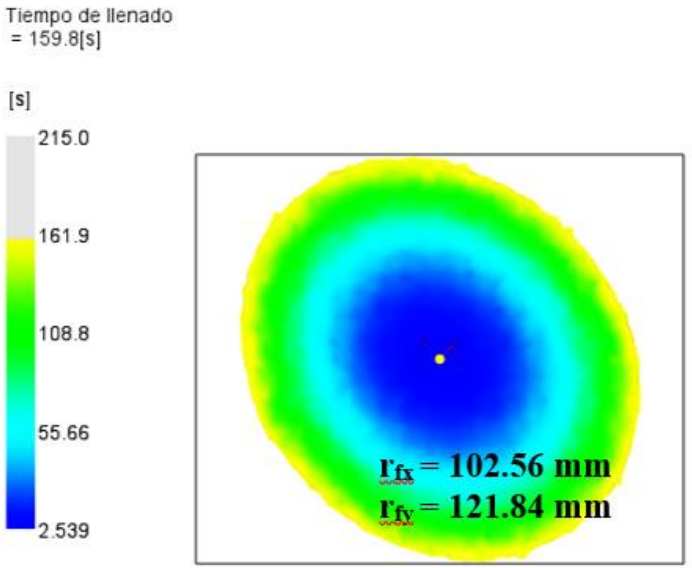
-Tiempo total (Material Híbrido)= 1320 s; Tiempo total (peel ply + malla) = 470 s.
-Malla de distribución y el peel ply, permiten una disminución del tiempo de infusión del 64, 4 %
-Sun et al., (1998) se reduce un 86 %

EXPERIMENTACIÓN VS SIMULACIÓN

d)

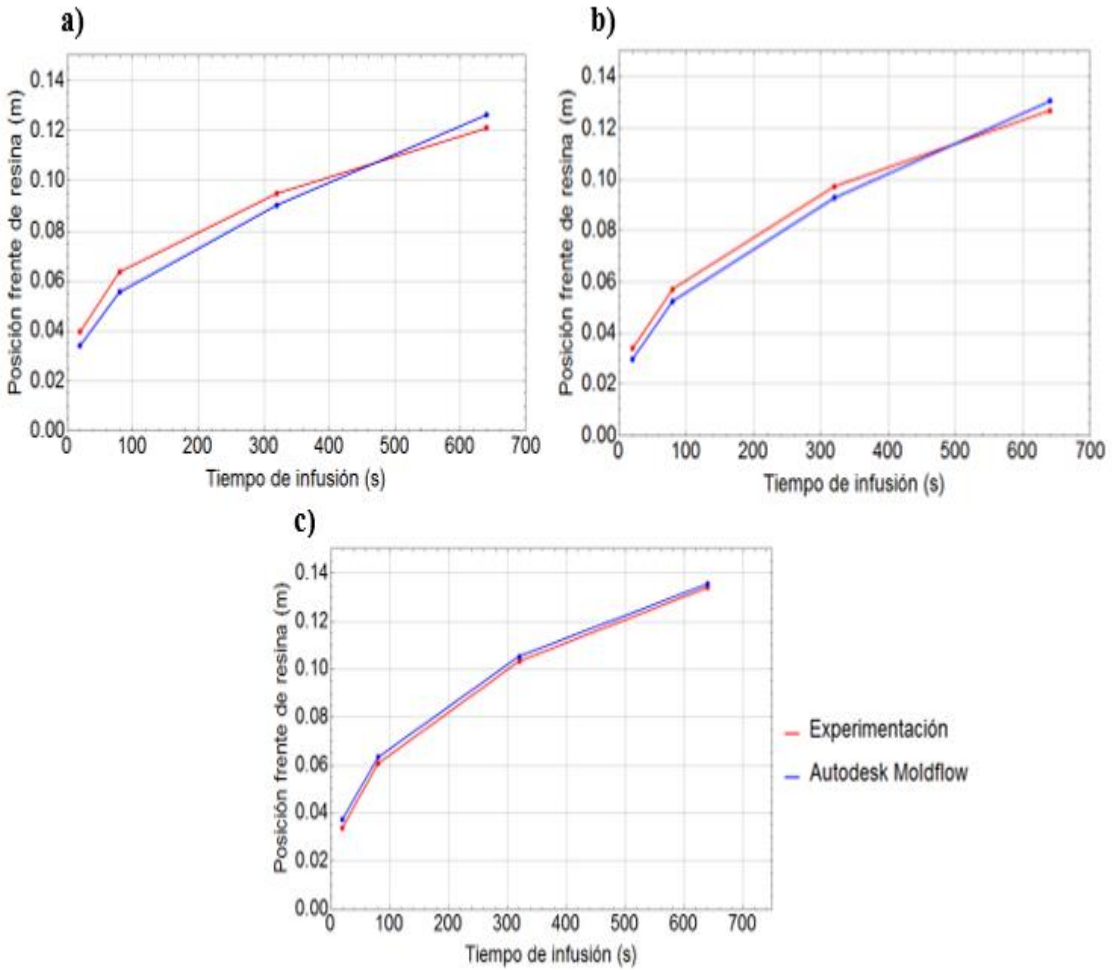


d)



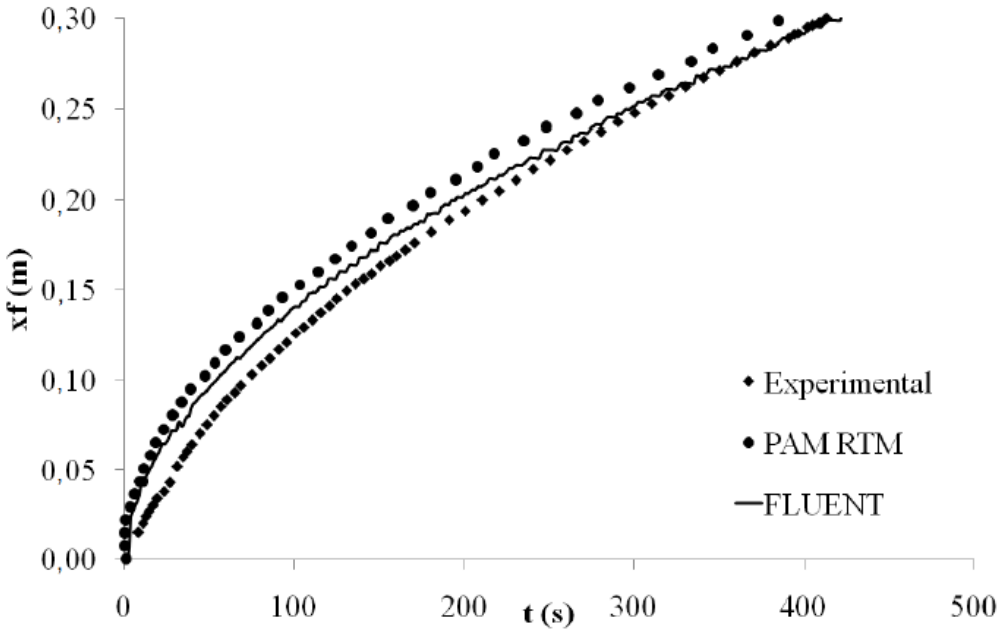
Error entre la simulación y experimentación del proceso VARTM en el material híbrido con Peel Ply y malla de distribución.

Tiempo	Distancia secundaria			Distancia principal		
	r_{exp} (mm)	r_{sim} (mm)	Error (%)	r_{exp} (mm)	r_{sim} (mm)	Error (%)
20	35.67	32.83	7.96	46.33	43.71	5.65
40	48.33	45.57	5.71	65.33	63.32	3.08
80	76	74.27	2.27	88.67	86.59	2.35
160	104.33	102.56	1.70	123.67	121.84	1.48



Error entre la simulación y experimentación del proceso VARTM en la fibra de Vidrio Chopped Strand Mat, Cabuya Tejida y el Material Híbrido

Tiempo (s)	Vidrio Choped Strand Mat			Cabuya tejida			Material Híbrido		
	r_{exp} (mm)	r_{sim} (mm)	Error (%)	r_{exp} (mm)	r_{sim} (mm)	Error (%)	r_{exp} (mm)	r_{sim} (mm)	Error (%)
20	39.67	34.15	13.91	34	29.88	12.12	34	37.45	10.15
80	63.67	55.57	12.72	57.33	52.62	8.22	60.67	63.80	5.16
320	95	90.35	4.89	97.33	92.88	4.57	103.33	105.41	2.01
640	121	126.31	4.39	127	130.6	2.83	134	135.25	0.93



Oliveira et al. (2012)

OPTIMIZACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

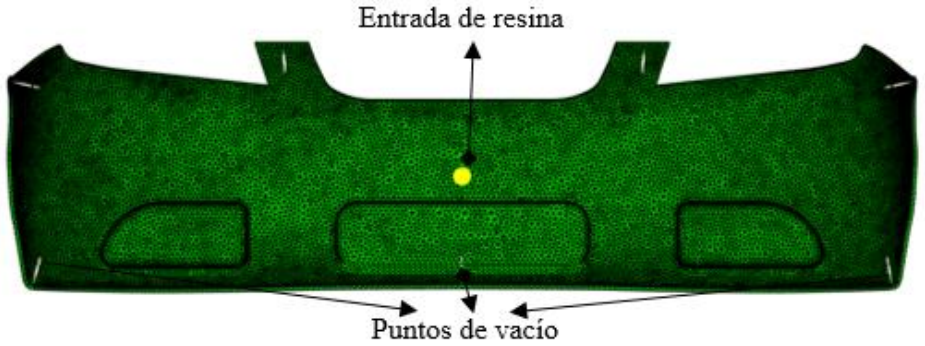
Datos de la malla del Guardachoque del Chevrolet Aveo.

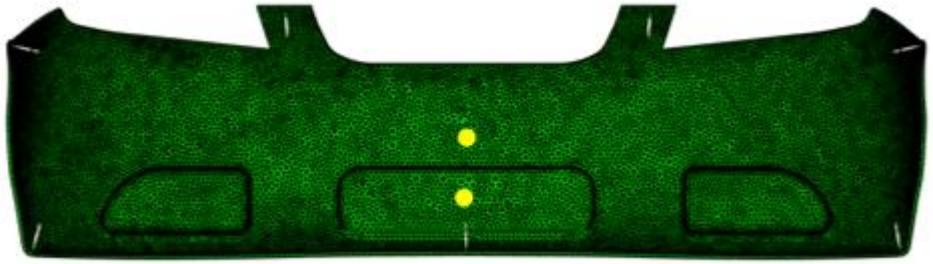
Malla	Número de tetraedros	Número de nodos	Relación de aspecto		
			Máxima	Media	Mínima
Tetraédrica 3D	972 333	178 003	29.97	11.73	1.62

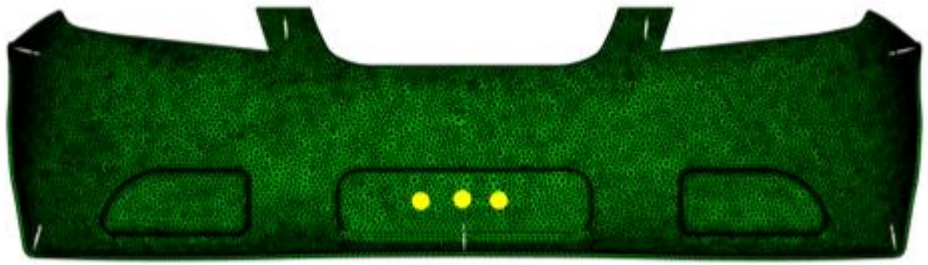
Nota: Los datos de malla se obtuvieron a partir de la herramienta que dispone el software *Moldflow* "Información de malla"

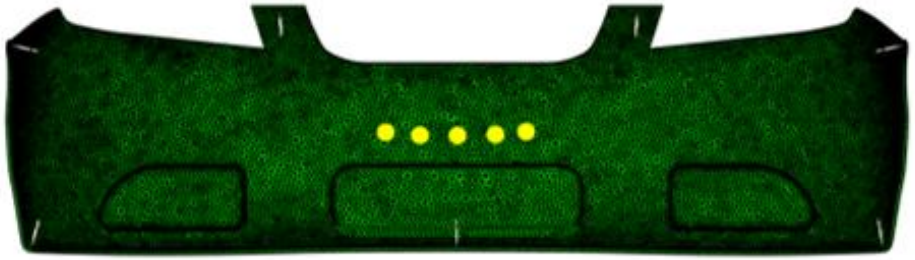
OPTIMIZACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

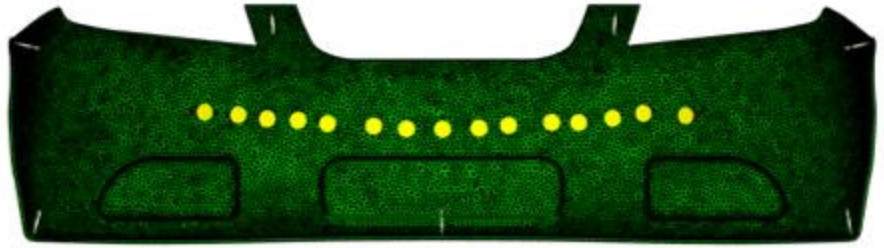
Ruikui et al., (2013)



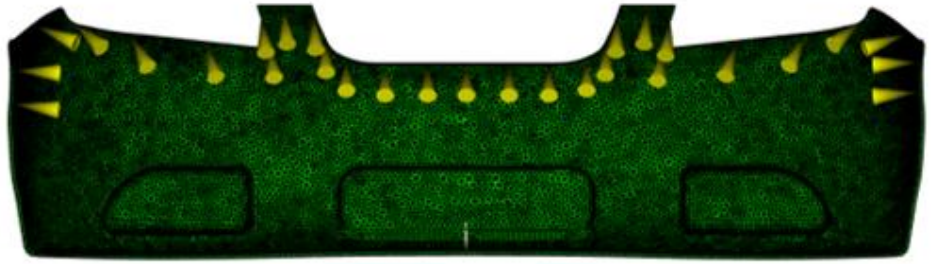




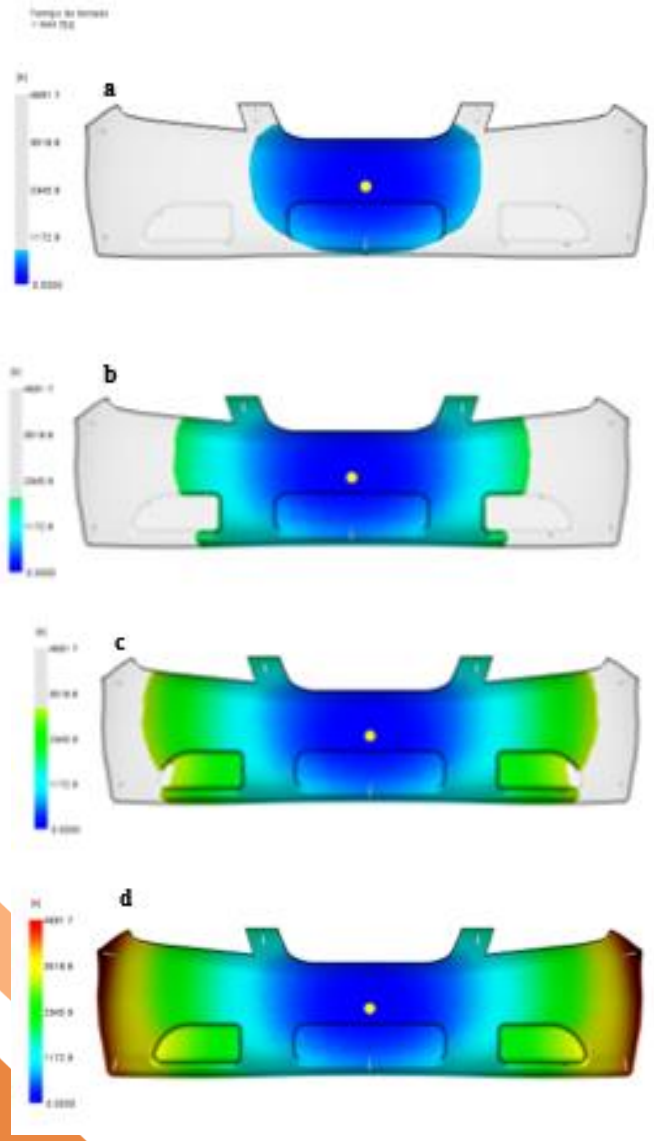


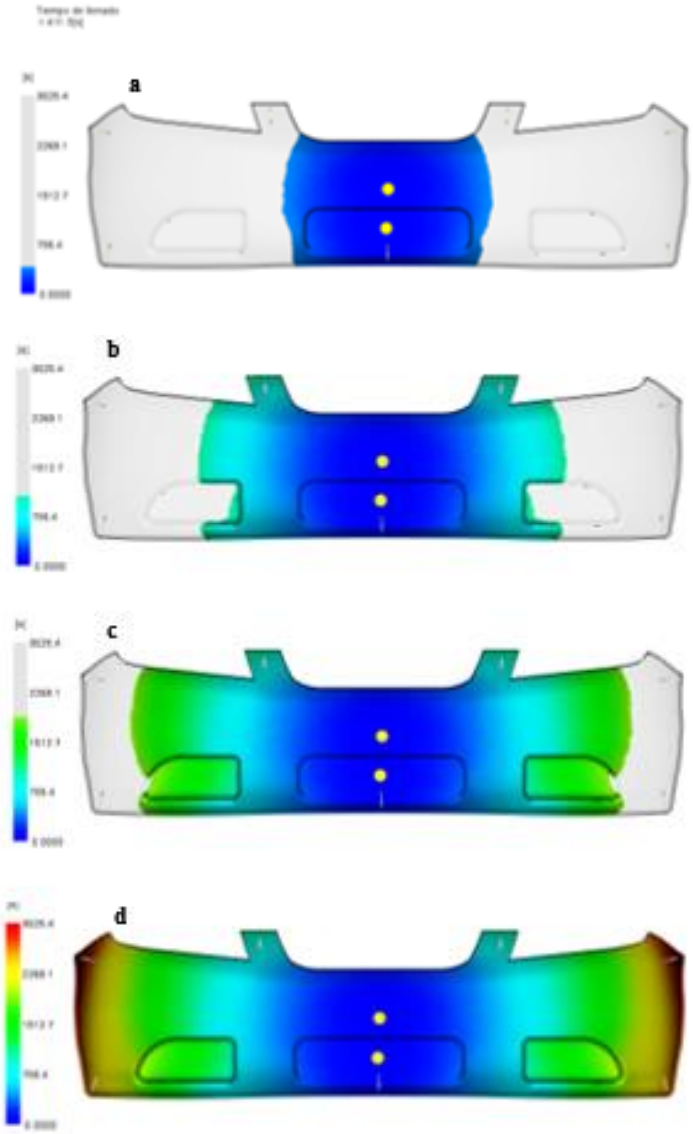


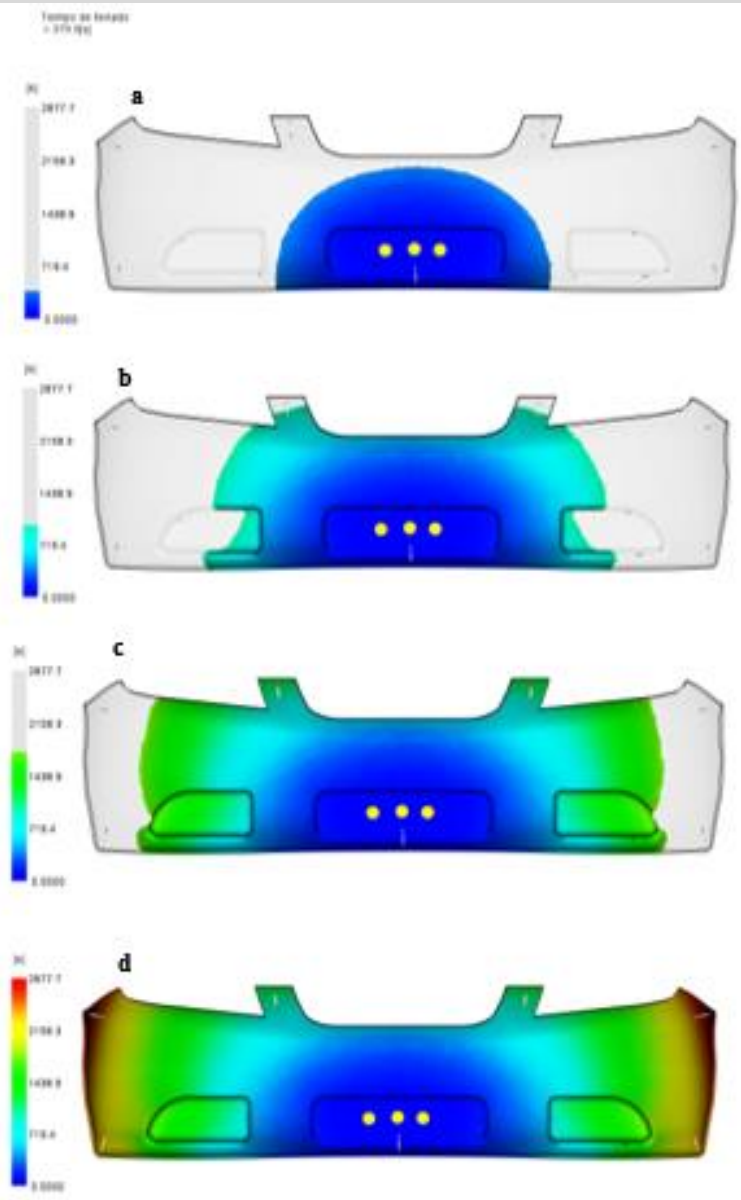
Ruiz y Trochu (2011)



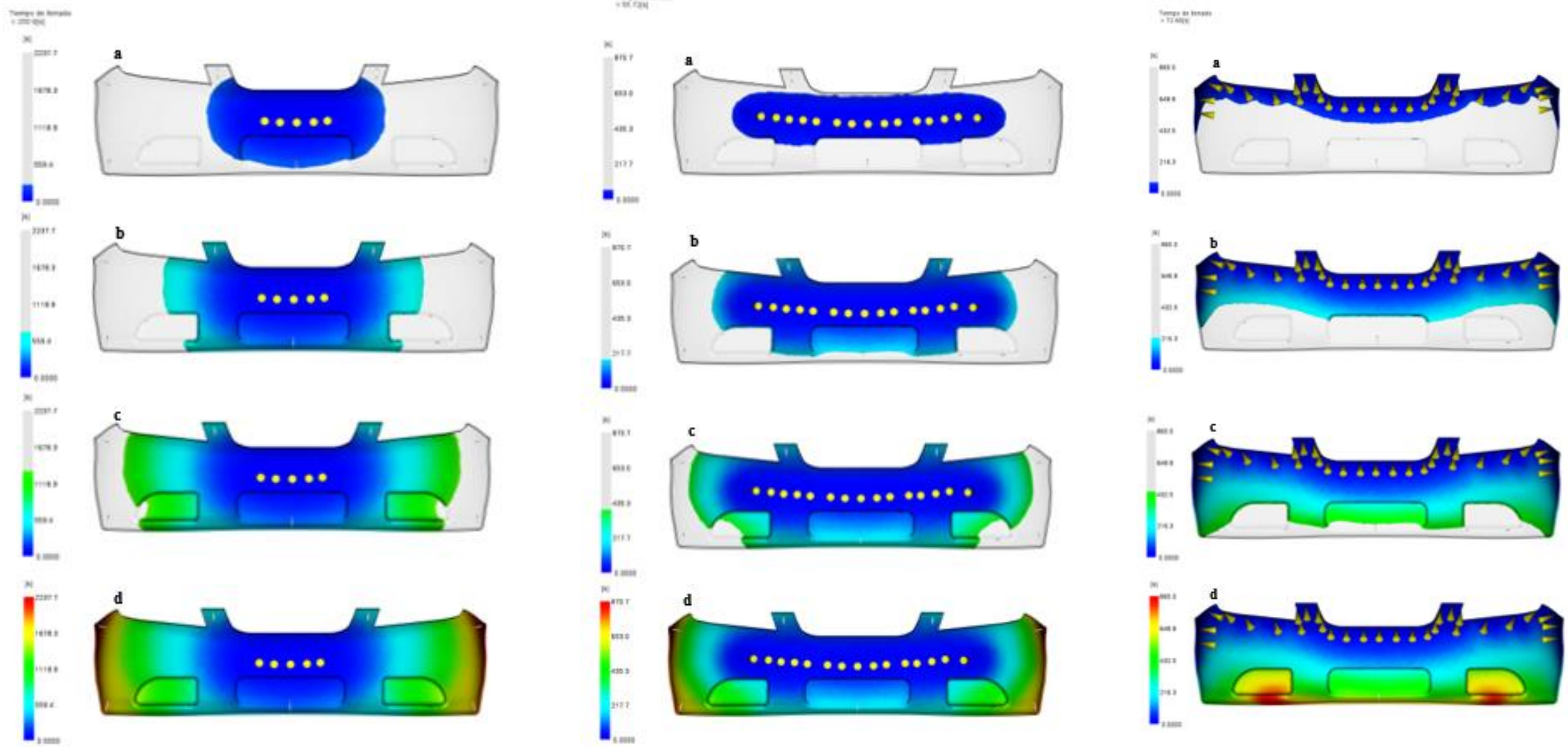
RESULTADOS



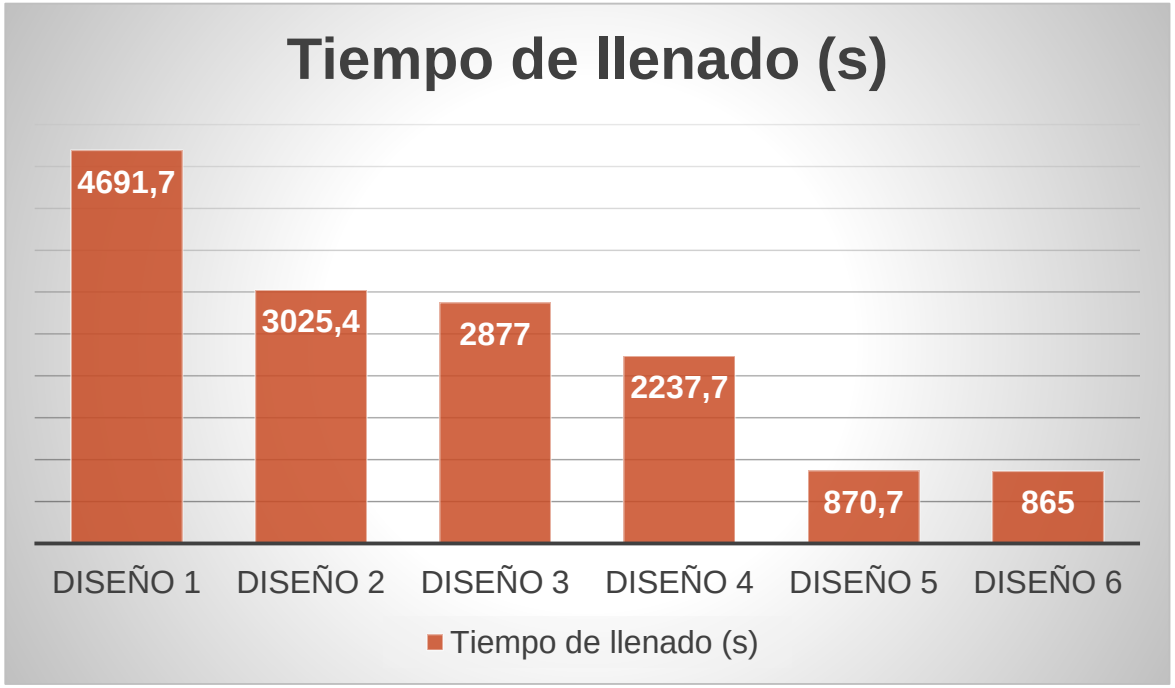




RESULTADOS



RESULTADOS



-Reducción del 81.4 % en el tiempo de infusión
-Ruikui et al. (2013), reduce 79.8 %
-Diseño 6 se reduce un 81.56 %

FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

Materiales a utilizar en la fabricación del molde

Materiales	Cantidad
Fibra de vidrio	375 g/m^2
Resina Poliester	50 200 ml
Cera deslmoldante	-
Gelcoat	-
Estireno	6 200 ml
Octoato de Cobalto	110 ml
MEK	110 ml

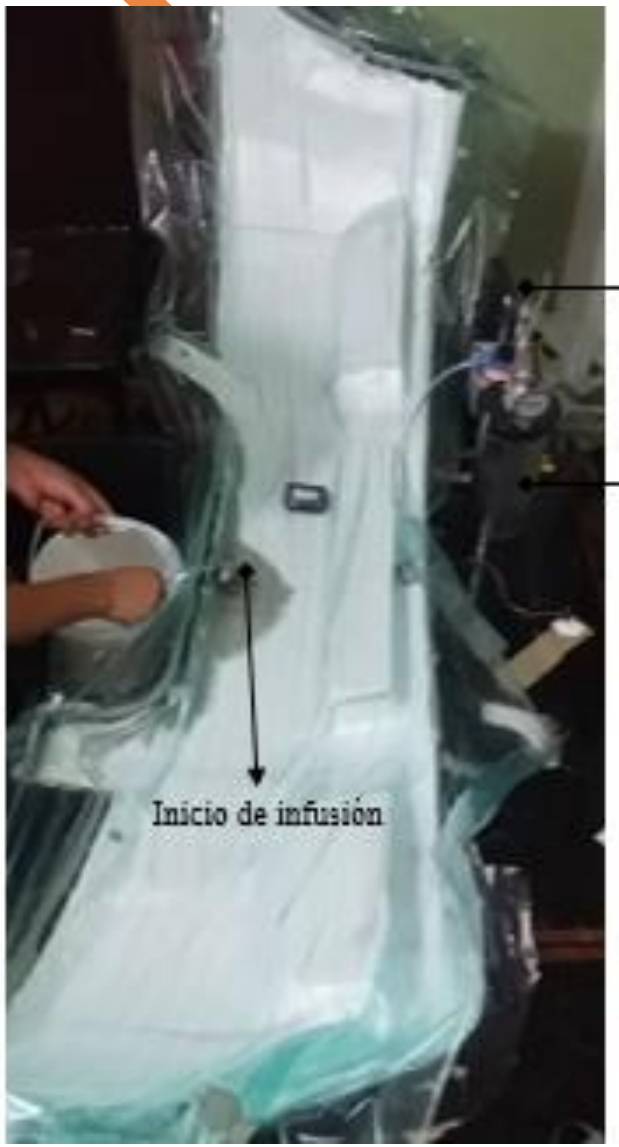
- **Preparación del molde**
  - Agente químico
    - Cinta Sellante
- **Disposición de fibras**
  - Fibra de Vidrio + Fibra de cabuya+ Fibra de vidrio
- **Diseño de optimización**
  - Malla de distribución + peel ply
    - Manguera espiral (Entrada de resina)
      - Punto de vacío
- **Sellado del molde**
  - Bolsa de vacío Aerofilm® VB200
- **Verificación de fugas**
  - Presión de vacío constante de 0.088 MPa durante 15 min
    - Compactación del material híbrido a una Pc= 0.189325 MPa
- **Proceso de infusión**
  - Materiales
    - Peso fibras = 1.075 Kg
    - Resina epoxy IN2 = 1.062 Kg
    - Endurecedor AT 30 Slow = 0.455 Kg
      - Condiciones
        - Pinv = 0.088 MPa
        - T = 23 ^{0}C
        - u = 0.325 Pa.s
- **Curado**
  - t = 24 horas
    - Pc= 0.189325 MPa
- **Desmoldeo**

Peel Ply + Malla de distribución

Manguera espiral

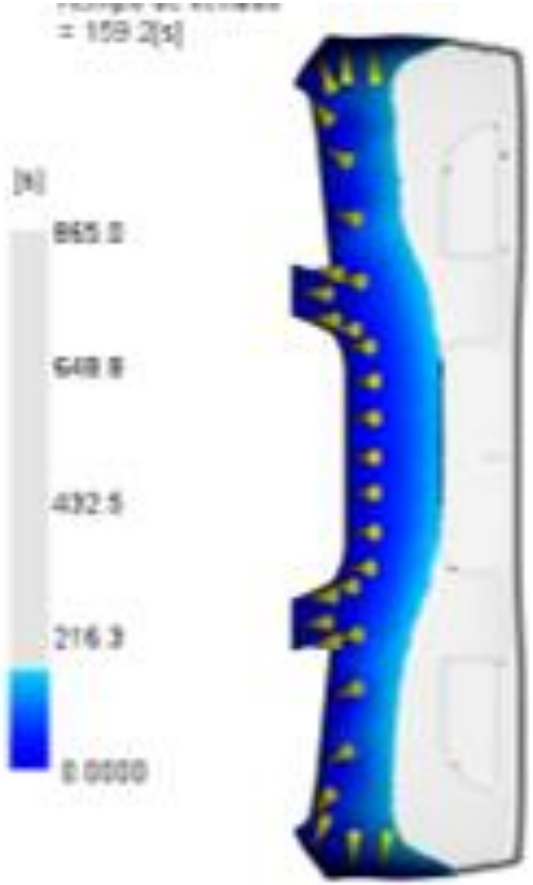
Punto de vacio

$$Resina\ a\ utilizar = \left(\frac{Peso\ de\ Fibra\ por\ m^2}{1.5} + 700\right) + 100$$

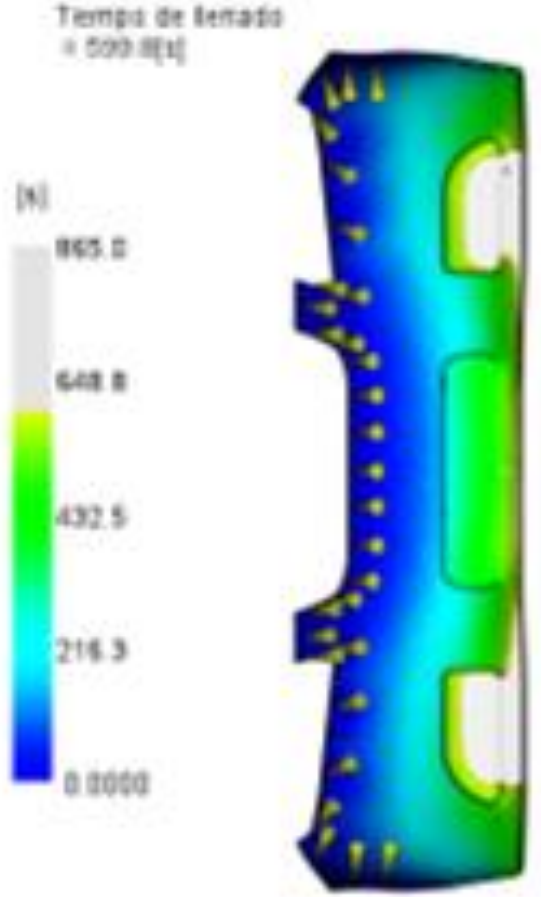


VALIDACIÓN

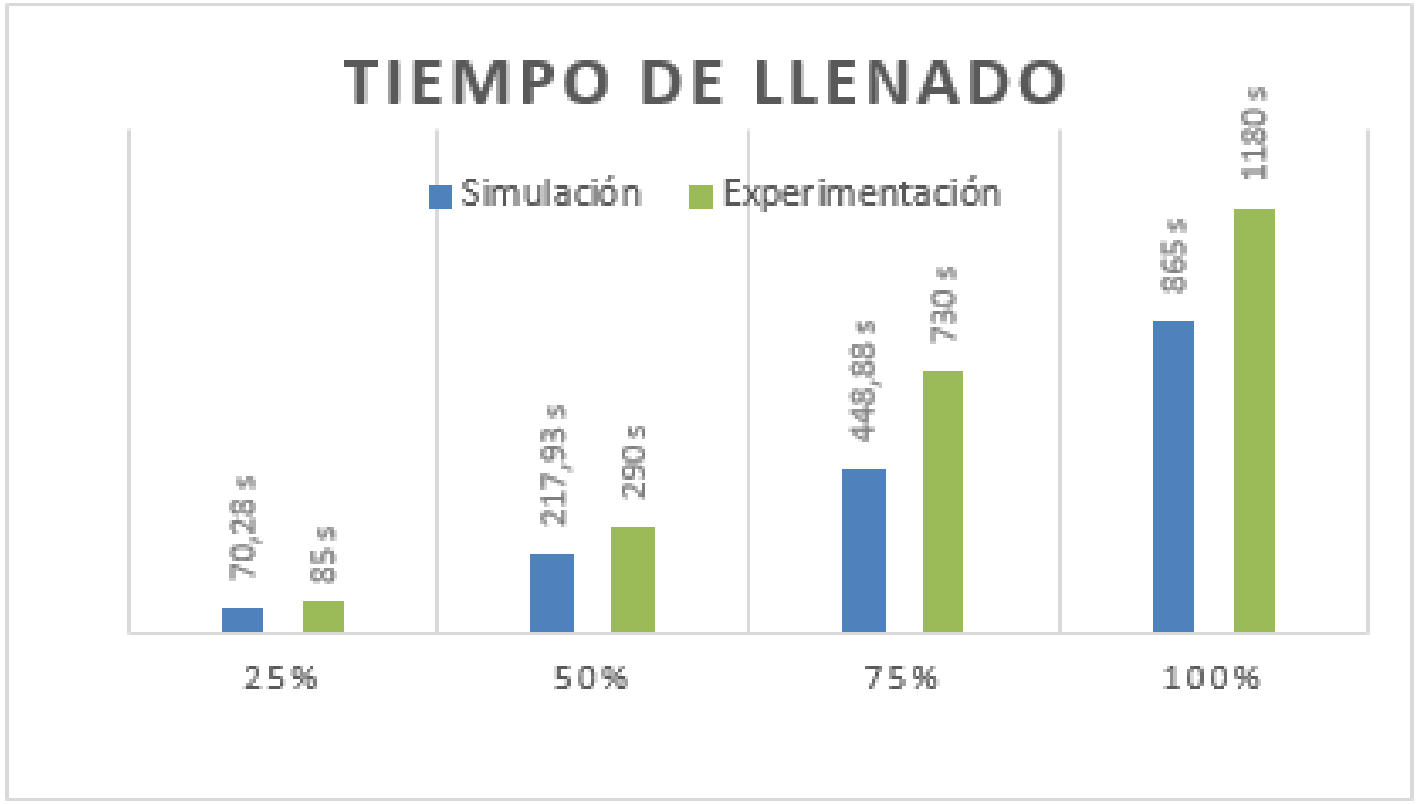
t= 180 s


[N]
865.0
648.8
432.5
216.3
0.0000

t= 730 s


Tiempo de llenado
[N]
865.0
648.8
432.5
216.3
0.0000

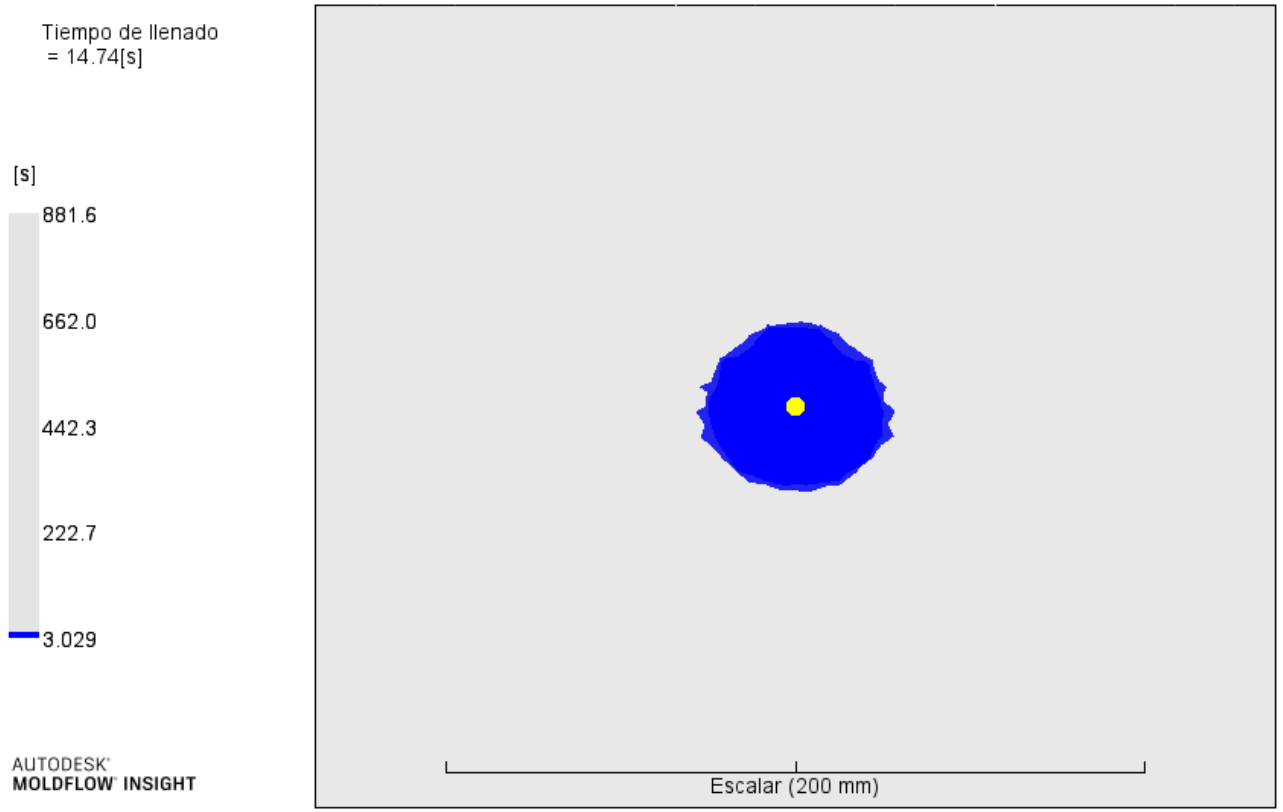
VALIDACIÓN



Error del 36. 41 %
Polowick (2013), escotilla del Avión= 3385 s y en la experimentación fue de 5940 s.

PROTOTIPO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES


Tiempo de llenado
= 14.74[s]
[s]
881.6
662.0
442.3
222.7
3.029
AUTODESK
MOLDFLOW INSIGHT
Escalar (200 mm)
Y
Z
X
0
0
0