

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Industrial y de Procesos

Selección de Material Alternativo para la Fabricación por Inyección de Plástico de la Rejilla

de Ventilación del Kia Rio.

Alex Danilo Merizalde Salas

Nota del autor

Alex Danilo Merizalde Salas, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Directora Ing. Diana Belén Peralta Zurita, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

admerizalde.mdin@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Alex Danilo Merizalde Salas, con cédula de identidad 0603954223, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente, el presente trabajo pertenece al programa Desarrollo Tecnológico y a la Línea de Investigación e Innovación en el Diseño de Procesos y productos en el Ecuador.

ALEX DANILO MERIZALDE SALAS

CI: 0603954223

Índice de contenido

Declaración Juramentada	1
Resumen.....	18
Abstract.....	19
Introducción	20
Antecedentes	20
Planteamiento del problema.....	22
Justificación.....	23
Hipótesis	25
Estado del arte.....	25
Características básicas de las máquinas	32
Variables que intervienen en el proceso	33
Tiempos que intervienen en el proceso de inyección	34
Moldes de Inyección.....	35
Simulación con elementos finitos	38
Ventajas de los softwares de simulación	43
Método de Entropía.....	44
Método de Desviación Estándar	47
Método de Variación Estadística	48
Método Multicriterio.....	49
Método VIKOR	50
Método Copras.....	52
Metodología	54
Densidad	56
Índice de fluidez.....	56
Temperatura de reblandecimiento VICAT	57
Costo	57
Selección de materiales.....	57

Propiedades del PC-ABS	57
Propiedades del Polipropileno – Fibra de vidrio.....	58
Propiedades del Tereftalato de Polibutileno – 20% Fibra de vidrio	59
Propiedades del Polipropileno – 20% de fibra de Bambu	59
Elaboración de método de ponderación y cálculo de pesos.....	61
Cálculo de Método de Entropía	61
Cálculo de Método de la Desviación Estándar.....	63
Método de Variación estadísticas	66
Comparación de resultados de Métodos de Ponderación	67
Desarrollo de Métodos Multicriterio (MCDM)	68
Obtención de la geometría en 3D.....	71
Modelado de las piezas	72
Modelado en 3D de la mascarilla de protección.....	74
Modelado cámara de entrada del aire acondicionado	75
Modelado cavidad que recibe las aletas de regulación de la salida del aire acondicionado	76
Modelados de las aletas	78
Simulación	84
Resultados	174
Discusión de Resultados	196
Comparación de resultados Simulación.....	198
Conclusiones	204
Recomendaciones	205
Referencias bibliográficas	206

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón	31
Figura 2. Máquina de inyección de tornillo	31
Figura 3. Ubicación de las fuerzas que actúan durante el proceso de inyección	33
Figura 4. Partes de un molde para inyección de plástico	35
Figura 5. Moldeo dispuesto para flujo equilibrado	37
Figura 6. Moldeo dispuesto para flujo compensado	37
Figura 7. Moldeo dispuesto para flujo compensado	38
Figura 8. Elemento tetraédrico lineal	39
Figura 9. Elemento tetraédrico parabólico	40
Figura 10. Elemento tipo Shell triangular lineal	40
Figura 11. Elemento tipo Shell triangular parabólico	40
Figura 12. Malla estructurada	41
Figura 13. Malla no estructurada	42
Figura 14. Malla híbrida.	42
Figura 15. Diagrama de proceso de estudio	54
Figura 16. Vista frontal de la rejilla de ventilación	71
Figura 17. Vista de costado izquierda la rejilla de ventilación	72
Figura 18. Vista de costado derecha la rejilla de ventilación	72
Figura 19. Rejilla de ventilación despiezada	73
Figura 20. Mascarilla de protección	73
Figura 21. Iniciando el modelado de la mascarilla	74
Figura 22. Mascarilla de protección modelada en SolidWorks, parte frontal y delantera	74

Figura 23. Pieza de la entrada de aire	75
Figura 24. Pieza modelada en software de la entrada de aire	75
Figura 25. Imagen frontal de la entrada de aire	76
Figura 26. Imagen frontal de la entrada de aire	76
Figura 27. Cavidad que recibe las aletas de regulación	77
Figura 28. Elemento modelado en el software.....	77
Figura 29. Vista frontal del elemento modelado.....	78
Figura 30. Vista lateral del elemento modelado	78
Figura 31. Modelos de las aletas.....	79
Figura 32. Primera aleta modelada en 3D.....	79
Figura 33. Primera aleta vista frontal.....	80
Figura 34. Segunda aleta modelada en 3D.....	80
Figura 35. Segunda aleta vista frontal.....	80
Figura 36. Tercera aleta modelada en 3D	81
Figura 37. Tercera aleta vista frontal	81
Figura 38. Aleta que regula el paso del aire acondicionado a la entrada de la rejilla de ventilación	81
Figura 39. Aleta reguladora del paso de aire modelada en 3D	82
Figura 40. Aleta reguladora del paso de aire modelada en 3D	82
Figura 41. Rejilla de ventilación ensamblada	83
Figura 42. Vista frontal de la rejilla de ventilación ensamblada.....	83
Figura 43. Vista explosionada observada de la parte posterior de la rejilla de ventilación ensamblada.....	84
Figura 44. Vista explosionada observada desde el frente de la rejilla de ventilación ensamblada.....	84

Figura 45. Polímeros PC-ABS biblioteca SolidWorks	85
Figura 46. Polímeros PC-ABS Genérico	86
Figura 47. Polímeros PC-ABS Covestro	86
Figura 48. Mallado de la pieza con material PC-ABS Covestro	87
Figura 49. Punto de inyección	88
Figura 50. Ajustes de llenado.....	88
Figura 51. Tiempo de llenado.....	89
Figura 52. Presión al final del llenado	89
Figura 53. Temperatura al final del llenado.....	90
Figura 54. Temperatura de frente de flujo	90
Figura 55. Cizallamiento al final del llenado.....	91
Figura 56. Facilidad del llenado.....	92
Figura 57. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.	92
Figura 58. Ajustes de llenado.....	93
Figura 59. Tiempo de llenado.	93
Figura 60. Presión al final del llenado.	94
Figura 61. Temperatura al final del llenado.....	95
Figura 62. Temperatura de frente de flujo.	95
Figura 63. Cizallamiento al final del llenado.....	96
Figura 64. Facilidad del llenado.....	96
Figura 65. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	97
Figura 66. Ajustes de llenado.....	97
Figura 67. Tiempo de llenado.....	97
Figura 68. Presión al final del llenado	98

Figura 69. Temperatura al final del llenado	98
Figura 70. Temperatura de frente de flujo	99
Figura 71. Cizallamiento al final del llenado	100
Figura 72. Facilidad del llenado.....	100
Figura 73. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	101
Figura 74. Ajustes de llenado.....	101
Figura 75. Tiempo de llenado	102
Figura 76. Presión al final del llenado	102
Figura 77. Temperatura al final del llenado	103
Figura 78. Temperatura de frente de flujo	103
Figura 79. Cizallamiento al final del llenado	104
Figura 80. Facilidad del llenado.....	104
Figura 81. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	105
Figura 82. Ajustes de llenado.....	105
Figura 83. Tiempo de llenado	106
Figura 84. Presión al final del llenado.	106
Figura 85. Temperatura al final del llenado.....	107
Figura 86. Temperatura de frente de flujo.	107
Figura 87. Cizallamiento al final del llenado.....	108
Figura 88. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.	108
Figura 89. Ajustes de llenado.....	109
Figura 90. Tiempo de llenado.	109
Figura 91. Presión al final del llenado.	110
Figura 92. Temperatura al final del llenado.....	110

Figura 93. Temperatura de frente de flujo.	111
Figura 94. Cizallamiento al final del llenado.	111
Figura 95. Facilidad del llenado.	112
Figura 96. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	112
Figura 97. Ajustes de llenado.	113
Figura 98. Tiempo de llenado	113
Figura 99. Presión al final del llenado.	114
Figura 100. Temperatura al final del llenado.	114
Figura 102. Cizallamiento al final del llenado.	116
Figura 103. Facilidad del llenado.	116
Figura 104. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.	117
Figura 105. Ajustes de llenado.	117
Figura 106. Tiempo de llenado.	118
Figura 107. Presión al final del llenado.	118
Figura 108. Temperatura al final del llenado.	119
Figura 109. Temperatura de frente de flujo.	119
Figura 110. Cizallamiento al final del llenado.	120
Figura 111. Facilidad del llenado.	120
Figura 112. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.	121
Figura 113. Ajustes de llenado.	121
Figura 114. Tiempo de llenado.	122
Figura 115. Presión al final del llenado.	122
Figura 116. Temperatura al final del llenado.	123
Figura 117. Temperatura de frente de flujo.	124

Figura 118. Cizallamiento al final del llenado.....	124
Figura 119. Facilidad del llenado.....	125
Figura 120. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.	125
Figura 121. Ajustes de llenado.....	126
Figura 122. Tiempo de llenado.	126
Figura 123. Presión al final del llenado.	126
Figura 124. Temperatura al final del llenado.....	127
Figura 125. Temperatura de frente de flujo.	127
Figura 126. Cizallamiento al final del llenado.....	128
Figura 127. Facilidad del llenado.....	128
Figura 128. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	129
Figura 129. Ajustes de llenado.....	129
Figura 130. Tiempo de llenado.....	129
Figura 131. Presión al final del llenado	130
Figura 132. Temperatura al final del llenado.....	130
Figura 133. Temperatura de frente de flujo	131
Figura 134. Cizallamiento al final del llenado.....	131
Figura 135. Facilidad del llenado.....	132
Figura 136. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	132
Figura 137. Ajustes de llenado.....	133
Figura 138. Tiempo de llenado.....	133
Figura 139. Presión al final del llenado	134
Figura 140. Temperatura al final del llenado.....	134
Figura 141. Temperatura de frente de flujo	135

Figura 142. Cizallamiento al final del llenado.....	136
Figura 143. Facilidad del llenado.....	136
Figura 144. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	137
Figura 145. Ajustes de llenado.....	137
Figura 146. Tiempo de llenado	138
Figura 147. Presión al final del llenado	138
Figura 148. Temperatura al final del llenado	139
Figura 149. Temperatura de frente de flujo	139
Figura 150. Cizallamiento al final del llenado.....	140
Figura 151. Facilidad del llenado.....	140
Figura 152. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	141
Figura 153. Ajustes de llenado.....	141
Figura 154. Tiempo de llenado.....	142
Figura 155. Presión al final del llenado	142
Figura 156. Temperatura al final del llenado.....	143
Figura 157. Temperatura de frente de flujo	143
Figura 158. Cizallamiento al final del llenado.....	144
Figura 159. Facilidad del llenado.....	144
Figura 160. Datos ingresados al software.....	145
Figura 161. Datos ingresados al software	145
Figura 162. Datos ingresados al software.....	146
Figura 163. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	146
Figura 164. Ajustes de llenado.....	146
Figura 165. Tiempo de llenado.....	147

Figura 166. Presión al final del llenado	147
Figura 167. Temperatura al final del llenado.....	148
Figura 168. Temperatura al final del llenado.....	148
Figura 169. Cizallamiento al final del llenado.....	149
Figura 170. Facilidad del llenado.....	149
Figura 171. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	150
Figura 172. Ajustes de llenado.....	150
Figura 173. Tiempo de llenado	151
Figura 174. Presión al final del llenado	151
Figura 175. Temperatura al final del llenado.....	152
Figura 176. Temperatura de frente de flujo	152
Figura 177. Cizallamiento al final del llenado.....	153
Figura 178. Facilidad del llenado.....	153
Figura 179. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	154
Figura 180. Ajustes de llenado.....	154
Figura 181. Tiempo de llenado	155
Figura 182. Presión al final del llenado	155
Figura 183. Temperatura al final del llenado.....	156
Figura 184. Temperatura de frente de flujo	156
Figura 185. Cizallamiento al final del llenado.....	157
Figura 186. Facilidad del llenado.....	157
Figura 187. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	158
Figura 188. Ajustes de llenado.....	158
Figura 189. Tiempo de llenado	158

Figura 190. Presión al final del llenado	159
Figura 191. Temperatura al final del llenado.....	159
Figura 192. Temperatura de frente de flujo	160
Figura 193. Cizallamiento al final del llenado.....	160
Figura 194. Facilidad del llenado.....	161
Figura 195. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	161
Figura 196. Ajustes de llenado.....	162
Figura 197. Tiempo de llenado	162
Figura 198. Presión al final del llenado	163
Figura 199. Temperatura al final del llenado.....	163
Figura 200. Temperatura de frente de flujo	164
Figura 201. Cizallamiento al final del llenado.....	165
Figura 202. Facilidad del llenado.....	165
Figura 203. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	166
Figura 204. Ajustes de llenado.....	166
Figura 205. Tiempo de llenado	167
Figura 206. Presión al final del llenado	167
Figura 207. Temperatura al final del llenado.....	168
Figura 208. Temperatura de frente de flujo	168
Figura 209. Cizallamiento al final del llenado.....	169
Figura 210. Facilidad del llenado.....	169
Figura 211. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido	170
Figura 212. Ajustes de llenado.....	170
Figura 213. Tiempo de llenado	171

Figura 214. Presión al final del llenado	171
Figura 215. Temperatura al final del llenado.....	172
Figura 216. Temperatura de frente de flujo	172
Figura 217. Cizallamiento al final del llenado.....	173
Figura 218. Facilidad del llenado.....	173
Figura 219. Tiempo de llenado.....	175
Figura 220. Presión al final del llenado	175
Figura 221. Temperatura al final del llenado.....	175
Figura 222. Temperatura de frente de flujo.	176
Figura 223. Tensión de cizallamiento al final del llenado.....	176
Figura 224. Tiempo de llenado.	178
Figura 225. Presión al final del llenado.	178
Figura 226. Presión al final del llenado.	179
Figura 227. Temperatura de frente de flujo.	179
Figura 228. Tensión de cizallamiento al final del llenado.....	180
Figura 229. Tiempo de llenado.....	182
Figura 230. Presión al final del llenado.	182
Figura 231. Temperatura al final del llenado.....	183
Figura 232. Temperatura de frente de flujo.	183
Figura 233. Tensión de cizallamiento al final del llenado.....	183
Figura 234. Tiempo de llenado.....	185
Figura 235. Presión al final del llenado.	185
Figura 236. Temperatura al final del llenado.....	185
Figura 237. Temperatura de frente de flujo.	186

Figura 238. Tensión de cizallamiento al final del llenado.....	186
Figura 239. Tiempo de llenado.....	188
Figura 240. Presión al final del llenado.....	188
Figura 241. Temperatura al final del llenado.....	188
Figura 242. Temperatura de frente de flujo.....	189
Figura 243. Tensión de cizallamiento al final del llenado.....	189
Figura 244. Tiempo de llenado.....	191
Figura 245. Presión al final del llenado.....	191
Figura 246. Temperatura al final del llenado.....	192
Figura 247. Temperatura de frente de flujo.....	192
Figura 248. Tensión de cizallamiento al final del llenado.....	192
Figura 249. Tiempo de llenado.....	194
Figura 250. Presión al final del llenado.....	194
Figura 251. Temperatura al final del llenado.....	195
Figura 252. Temperatura de frente de flujo.....	195
Figura 253. Tensión de cizallamiento al final del llenado.....	195
Figura 254. Ranking Método Copras.....	198
Figura 255. Ranking Tiempo de llenado.....	199
Figura 256. Ranking Presión final del llenado.....	200
Figura 257. Ranking Temperatura al final del llenado.....	201
Figura 258. Ranking Temperatura del frente de flujo.....	202
Figura 259. Ranking Tensión de cizallamiento.....	204

Índice de tablas

Tabla 1.	58
<i>Propiedades del PC-ABS</i>	58
Tabla 2.	58
<i>Propiedades Polipropileno-Fibra de vidrio.</i>	58
Tabla 3.	59
<i>Propiedades PBT reforzado con 30% de fibra de vidrio</i>	59
Tabla 4.	59
<i>Propiedades PP reforzado con fibras de bambú al 20%</i>	59
Tabla 5.	60
<i>Propiedades de los materiales propuestos</i>	60
Tabla 6.	61
<i>Matriz de criterios</i>	61
Tabla 7.	63
<i>Determinación de pesos por criterio para entropía.</i>	63
Tabla 8	65
<i>Valores de la desviación estándar</i>	65
Tabla 9.	65
<i>Pesos de la desviación estándar</i>	65
Tabla 10.	66
<i>Matriz de decisión normalizada método variación estadística.</i>	66
Tabla 11.	67
<i>Comparación de resultados de ponderación de todos los métodos</i>	67

Tabla 12.	68
<i>Pesos a usar en MCDM (desviación estándar)</i>	<i>68</i>
Tabla 13.	68
<i>Matriz de decisión método COPRAS</i>	<i>68</i>
Tabla 14	69
<i>Criterios de Matriz Normalizada (R_{ij}) COPRAS.....</i>	<i>69</i>
Tabla 15.	69
<i>Matriz estandarizada de pesos COPRAS.....</i>	<i>69</i>
Tabla 16.	70
<i>Pesos normalizados positivos COPRAS</i>	<i>70</i>
Tabla 17.	70
<i>Pesos normalizados negativos COPRAS</i>	<i>70</i>
Tabla 18	70
<i>Prioridades relativas de cada alternativa</i>	<i>70</i>
Tabla 19	71
<i>Proximidad relativa a solución ideal y ranking</i>	<i>71</i>
Tabla 20.	87
<i>Comparación de materiales.....</i>	<i>87</i>
Tabla 21.	174
<i>Comparación simulación mascarilla de protección</i>	<i>174</i>
Tabla 22.	177
<i>Comparación simulación aleta de regulación del paso del aire acondicionado</i>	<i>177</i>
Tabla 23.	181
<i>Comparación simulación aleta geometría 1</i>	<i>181</i>

Tabla 24.	184
<i>Comparación simulación aleta geometría 2</i>	184
Tabla 25.	187
<i>Comparación simulación aleta geometría 3</i>	187
Tabla 26.	190
<i>Comparación simulación cavidad entrada aire acondicionado</i>	190
Tabla 27.	193
<i>Comparación simulación cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación</i>	193
Tabla 28	199
<i>Tiempo de llenado</i>	199
Tabla 29	200
<i>Presión al final de llenado</i>	200
Tabla 30	201
<i>Temperatura al final de llenado</i>	201
Tabla 31	202
<i>Temperatura frente de flujo</i>	202
Tabla 32	203
<i>Tensión de cizallamiento al final del llenado</i>	203

Resumen

Esta investigación, se basa en seleccionar un material alternativo que pueda ser utilizado para la fabricación por inyección de plástico de la rejilla de ventilación del Kia Rio, este accesorio tiene un costo elevado de adquisición porque en su gran mayoría son elementos importados y cuando el vehículo tiene pocos años de antigüedad es difícil conseguir este elemento, por lo que se buscará un material compuesto que pueda reemplazar al original, que se encuentre en medio local y aplicable en el proceso de manufactura de inyección de plástico. Se utilizará el método multicriterio COPRAS para elegir el material ideal para reemplazar el original que es ABS-PC de una variedad de materiales que cumplan con características y criterios que permitan su adecuada selección, siendo el PP-20% de fibra de BAMBU el material ideal para sustituir el Original. Finalmente, obtenido el candidato ideal el siguiente paso es realizar simulaciones del proceso de inyección de plástico con un software de análisis CFD para plásticos, estas simulaciones se realizarán para el material Original, el candidato ideal y el peor candidato que nos dará información en relación a este método de manufactura, los resultados obtenidos por el criterio de selección multicriterio evidenciaron que el PP- 20% de fibra de Bambú es el candidato ideal para reemplazar al original, este resultado fue corroborado por la simulación CFD que demostraron que este material tiene las mejores características para ser aplicado en el proceso de inyección de plástico, los beneficios de esta investigación permitirán promover la producción de estos elementos a nivel local con el adicional que, la fibra de Bambú se puede obtener en varias provincias del Ecuador lo que generará empleos y no se dependerá completamente de las importaciones.

Palabras claves: polímeros, material compuesto, método multicriterio, simulación.

Abstract

This research is based on selecting an alternative material that can be used for the plastic injection manufacturing of the Kia Rio's ventilation grille, this accessory has a high acquisition cost because the vast majority are imported elements and when the vehicles are a few years old, it is difficult to find this element, so a composite material will be sought that can replace the original, which is in a local environment and applicable in the plastic injection manufacturing process. The COPRAS multi-criteria method will be used to choose the ideal material to replace the original, which is ABS-PC, from a variety of materials that meet the characteristics and criteria that allow their proper selection, with PP-20% BAMBOO fiber being the ideal material. to replace the Original. Finally, obtaining the ideal candidate, the next step is to perform simulations of the plastic injection process with CFD analysis software for plastics, these simulations will be performed for the Original material, the ideal candidate and the worst candidate that will give us information in relation to This manufacturing method, the results obtained by the multi-criteria selection criterion showed that PP-20% bamboo fiber is the ideal candidate to replace the original, this result was corroborated by the CFD simulation that showed that this material has the best characteristics to be applied in the plastic injection process, the benefits of this research will allow promoting the production of these elements at the local level with the addition that, the bamboo fiber can be obtained in several provinces of Ecuador, which will generate jobs and not will be completely dependent on imports.

Keywords: polymers, composite material, multi-criteria method, simulation.

Introducción

Antecedentes

La industria automotriz cada año saca nuevos vehículos al mercado, ofreciendo una gran cantidad de posibilidades y alternativas para todos los gustos, todo esto permite que las personas puedan adquirir un vehículo en función a su capacidad adquisitiva, sin embargo, al ser relativamente nuevos en el mercado mucho de ellos aún no cuentan con repuestos en el país.

En el país las empresas importadoras y ensambladoras gastaron alrededor de 1.557 millones de dólares entre todo tipo de autopartes(AEADE, 2020), generalmente para el ensamblaje de los vehículos dejando muy poco para repuestos y en menor medida para el reemplazo de piezas como rejillas de ventilación, lo que provoca que estos elementos suban de precio e incluso no existan en el mercado ecuatoriano.

La pandemia que vive el mundo a causa del covid-19 ha generado un problema económico mundial lo que en gran medida ha afectado las importaciones a nivel mundial, en América Latina uno de los sectores que ha sentido el golpe es el manufacturero en especial los accesorios automotrices (CEPAL), lo que afectaría el abastecimiento de estos accesorios en el país provocando un aumento en sus precios debido a paulatino desabastecimiento.

La mayoría de piezas que conforma la estética y funcionamiento interior de los vehículos son realizadas en plásticos y su proceso de manufactura es la inyección de plástico la que requiere un alto capital de inversión para la producción y en Ecuador no existe este tipo de tecnología (Bubna et al., 2018), por lo que se busca una alternativa.

En la industria automotriz el uso de polímeros está ampliamente extendido debido a las características que presentan, pero la “ligereza en el peso de los plásticos es un beneficio claro para la industria del automóvil no sólo porque se consigue reducir el peso total de éstos de modo que se reduce también el consumo de combustible a los límites permitidos por la legislación, sino que también permite realizar sistemas y componentes más sofisticados, tales como sistemas de control de temperatura en el coche y ventilación”(Lucas & Rivero, 2018)

Las rejillas de ventilación se fabrican generalmente de dos polímeros, “el ABS (Acrlonitrilo-Butadieno-Estireno) y el ALPHA (ABS-Policarbonato), el ABS tiene buenas propiedades en cuanto a rigidez, tenacidad, estabilidad dimensional, resistencia a los productos químicos y buena calidad de las superficies y el ALPHA que presenta buenas propiedades mecánicas y térmicas, es rígido, resistente y con buena estabilidad dimensional”(Lucas & Rivero, 2018)

“Los materiales compuestos se fabrican combinando dos o más materiales que son: la matriz (plástico), material de refuerzo (fibras o partículas) y aditivos. Cuando empezaron la producción de vehículos usaron materiales que se podía encontrar en la naturaleza sin necesidad de hacer alguna aleación extra.”(Majewski & Bledzki, 2013).

La unión de los materiales compuestos depende de los elementos compuestos pudiendo ser, por fundición, prensado caliente, prensado frío y extrusión y la relación de la fibra varían entre 5 a 80% para la resina y 20 a 90% de acuerdo al proceso utilizado.(Majewski & Bledzki, 2013)

Las fuerzas de enlace entre la matriz y el refuerzo en estos materiales es un factor clave en el desarrollo de estos materiales, por lo que se busca mejorar la resistencia intrínseca de la fibra para evitar fallas prematuras y se ha profundizado en el estudio de métodos de modificación

superficial de las fibras naturales para incrementar la adhesión de estas fibras poliméricas. (Tapia et al., 2006).

Los materiales compuestos se forman de acuerdo a la matriz base y existen tres tipos que son: matriz metálica, matriz cerámica y matriz polimérica y en función a esta matriz dependerá las propiedades mecánica, térmica, eléctrica, etc. (Dávila et al., 2011).

Para caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos la normativa es extensa debido a la cantidad de institutos normalizadores pero la ASTM ha desarrollado normas para ensayo de materiales compuestos. (Dávila et al., 2011).

Los materiales compuestos que se puede utilizar para la inyección de plástico tienen matrices basadas en termoplásticos como el polipropileno, polietileno, nylon, PET, etc., y para incorporar las fibras de refuerzo mediante pultrusión otro método es incorporar el refuerzo es acondicionar una preforma del refuerzo dentro del molde y posteriormente inyectar el polímero. (Dávila et al., 2011)

Planteamiento del problema

Las empresas automotrices en el País dedican sus actividades manufactureras al ensamblaje de vehículos y no a la fabricación de autopartes, lo que limita muchos de los accesorios existentes en el país en especial de los nuevos vehículos y una de las autopartes que no existen actualmente son las rejillas de ventilación en vehículos nuevos con el Kia Rio 2018.

El proceso que se utiliza para la fabricación de la rejilla de ventilación de estos materiales es la inyección de plásticos (Dávila et al., 2011) y las empresas no han invertido en estos equipos que tienen tecnología actualizada para fabricar estos accesorios en el país.

Al tener tecnología limitada, el campo de materiales que podemos utilizar para la fabricación de la rejilla de ventilación del Kia Picanto está condicionada, la falta de características y variantes para la inyección de plástico no permiten utilizar la tecnología que dispone el país para la fabricación, por lo que se busca materiales compuestos que cumplan las características del material original en el medio local y se puedan utilizar para la construcción de esta autoparte en el país.

Justificación

Es por esta razón la importancia de buscar materiales compuestos que puedan ser utilizados con máquinas inyectoras que existan en el medio y sus propiedades no sean diferentes del material original.

En la industria automotriz los polímeros están ganando terreno en la fabricación de autopartes debido a los estudios tecnológicos, el polímero más utilizado es el polipropileno que ocupa un 3% del material total usado en la construcción de vehículos y algunas mezclas de policarbonatos para algunas autopartes internas(Hernández, 2016).

Con el pasar de los años el estudio de los materiales compuesto ha permitido que su producción se haya ido incrementado en un ritmo anual del 5 – 6 % y sus campos de aplicación van siendo innumerables destacando la construcción de automóviles(Mata, 2004)

Este avance en el estudio de materiales compuestos ha permitido a la industria automotriz empezar los empezara a utilizar para la fabricación de muchas de sus partes debido a que estos nuevos materiales han demostrado mejores características que los materiales que los forman (Dávila et al., 2011).

En vista de ello, el objetivo principal de este estudio es seleccionar un material compuesto para la fabricación de las rejillas de ventilación mediante la comprobación CFD para la fabricación en inyección de plástico.

Con la finalidad de alcanzar el objetivo principal, los objetivos específicos planteados son:

1. Investigar las propiedades mecánicas, físicas y térmicas del polímero con el cual se fabrica las rejillas de ventilación del Kia Rio 2018.
2. Investigar materiales compuestos como posibles candidatos a través de revisión bibliográfica para reemplazar el polímero con los que se fabrican actualmente las rejillas de ventilación del Kia Rio.
3. Seleccionar los materiales compuestos con característica para la inyección de plásticos mediante el método de multicriterio, para sustituir el polímero original con materiales que se pueda obtener en el medio local.
4. Modelar en 3D la rejilla de ventilación del Kia Rio 2018, mediante el uso del software CAE para la verificar el cumplimiento de los parámetros en función al material original.
5. Determinar el flujo de llenado de inyección del material seleccionado, mediante el uso del software Solidworks Plastics.
6. Comparar los resultados obtenidos de la simulación del material original y del mejor y peor candidato a reemplazarlo, mediante el uso de tablas y cuadros estadísticos para corroborar el resultado obtenido por el método MCDM.

Hipótesis

A partir de la obtención previa de las características del material original de la rejilla de ventilación del kia rio y por el método de selección multicriterio, se espera encontrar un material compuesto con posibilidad de fabricación en el medio local que, cumpla las características del original para su posible fabricación por inyección de plástico en el país.

Estado del arte

“A lo largo de la historia, la ciencia y la tecnología han avanzado fundiéndose en una dinámica que ha terminado atando el progreso de una de ellas a la evolución de otras”(Dávila et al., 2011)

En el estudio de los materiales hay un campo que con el pasar de los años y las investigaciones ha logrado grandes propiedades y cualidades, estos materiales son los polímeros que con el pasar del tiempo su número va en aumento y el uso se ha extendido en varios campos de la industria como “la industria automotriz, en carcasa, mecanismos para electrodomésticos y dispositivos eléctricos, entre muchos otros”(Lucas & Rivero, 2018).

La versatilidad de cualidades químicas, térmicas, ópticas y mecánicas excepcionales de los polímeros está ligado a su composición química y su estructura interna, lo que ha permitido crear polímeros de especialidad(Lucas & Rivero, 2018)(González-Prolongo, 1997).

Las propiedades están ligadas al efecto de las fuerzas intermoleculares de las que se conocen tres tipos diferentes de enlaces químico o enlaces primarios, el efecto del grado de polimerización que está atado al peso molecular y la influencia en sus propiedades mecánicas y

relación estructura-cristalinidad que nos permiten conocer los tipos de regiones y las familias poliméricas.(Coreño & Teresa, 2010)(Beltrán & Marcilla, n.d.)

Por qué algunos polímeros son más frágiles o resistente que otros depende de algunas propiedades físicas como la temperatura de transmisión vítrea (T_g) que cambia un polímero amorfo en un estado rígido a otro blando o maleable y la temperatura de fusión (T_m) que nos indica cuando un polímero pasa de sólido a líquido y es propio de los polímeros cristalinos.(Muñoz Pinto, 2014)

Las cualidades demostradas por los polímeros han llamado la atención de un campo particular de la industria, el campo automotriz debido a que las propiedades mecánicas en relación al peso han permitido la “disminución del peso de los automóviles entre un 15 y 50%, resistencia al efecto de productos químicos y corrosión, posibilidad de ser pintados y de combinar con materiales para mejorar la estética del vehículo, alta moldeabilidad y buenas propiedad de aislamiento térmico, eléctrico y acústico.(Lucas & Rivero, 2018), la disminución de peso a logrado como resultado una disminución del consumo de combustible en alrededor de 7%.(Patil et al., 2017)(Begum et al., 2019).

En el campo automotriz muchos son los polímeros usados para el desarrollo de sus componentes o autopartes y la selección de los mismo va en función a la aplicación o finalidad a cumplir, tenemos el caso de las autopartes internas como las rejillas de ventilación que pueden ser fabricadas de los polímeros de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS), Polipropileno (PP), Tereftalato de polietileno (PET), Polioximetileno (POM), Cloruro de polivinilo (PVC).(Lucas & Rivero, 2018)(Patil et al., 2017)

El ABS es un material al que se le puede “realizar una variedad de modificaciones para mejorar la resistencia al impacto, la tenacidad, la resistencia al calor, clima y varios productos químicos, lo que lo hace ideal para tableros de instrumentos, carcazas, etc.”(Patil et al., 2017)

En el continuo estudio de los materiales, han encontrado una variedad de posibilidades para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas, ect., una de ellas es la combinación de dos materiales para formar un nuevo material con propiedades superiores a los originales, a estos materiales se los conoce como materiales compuestos.(Rajak et al., 2019)

“Un material compuesto es un sistema en el que se combinan dos o más materiales, que se diferencian en función, forma o composición, con el fin de obtener un material con propiedades únicas. En los materiales compuestos destacan una o más propiedades características aportadas por las fases constituyentes, de tal forma que el conjunto resulte con la mejor combinación posible”(Dávila et al., 2011)(Albert Seldon & Abilash, 2020).

“Los PMC o simplemente compuestos poliméricos son los compuestos donde la matriz está hecha de polímero y está unida con refuerzos o rellenos adecuados, como vidrio, carbono, Kevlar, boro o fibras o rellenos naturales. Los PMC también se denominan a veces plásticos reforzados con fibra. Los compuestos poliméricos se han utilizado ampliamente en las industrias aeroespacial, automotriz, etc., debido a su peso ligero, alta resistencia, alta rigidez, estética, resistencia a la corrosión y la capacidad de hacer frente a situaciones extremas.”(Ap, 2017)

En los PMC los polímeros son utilizaos como base o matriz de los compuestos y se los conoce como resina y algunas de sus funciones son: ayudar al transfería de cargas, controlar las propiedades químicas de los compuestos, proteger y evitar que las fibras sufran daños mecánicos.(Ap, 2017).

La fibra o fibras son un componente de los PMC, son el refuerzo del polímero compuesto que, dependiendo de la composición y tipo de fibra, aporta resistencia mecánica, rigidez y dureza, lo que va a determinar las principales propiedades mecánicas.(Miravete, n.d.)(Chegdani et al., 2020)

Las fibras más utilizadas como refuerzo de las matrices poliméricas son: la fibra de vidrio, carbono y la aramida también conocida como kevlar, pero estas no son las únicas que se utilizan, actualmente las fibras naturales han empezado a ocupar un gran campo como fibras de refuerzo debido al aporte en sus propiedades mecánicas y por su biodegradabilidad.(Miravete, n.d.)(Devnani & Sinha, 2019)(Bledzki & Sperber, 2007).

La formación de los polímeros compuestos depende de su preparación, y está ligado al tipo de fibra y matriz seleccionada para su fabricación, generalmente para la formación del compuesto, el primer método que se aconseja es el de pulverización.(Saindane et al., 2020)(Mansor et al., 2013)

Para lanzar y utilizar los compuestos en el mercado actual, tienen que competir con otros materiales convencionales, por lo que la caracterización del compuesto es clave y su supervivencia en el mercado básicamente depende de sus propiedades mecánicas como la tracción y su resistencia al impacto.(Saindane et al., 2020)(Rwawiire et al., 2015)

“Los materiales compuestos proporcionan un potencial de peso ligero particularmente alto y tienen la ventaja de estar hechos a medida para la aplicación, el sector automotriz tradicionalmente todavía utiliza principalmente materiales básicos como acero, aluminio y compuestos cortos reforzados con fibra de vidrio, esto debido al alto rendimiento de los materiales, pero son costos y su procesamiento es alto y es debido al producción en masa de las

industria automotrices que logran estabilizar estos costos”.(Henning et al., 2019)(Verma & Senal, 2019)

“Debido a la creciente demanda política de reducción de CO₂, pero también debido a la recesión económica mundial y el aumento del petróleo en 2008, los fabricantes de equipos originales automotrices (OEM) han comenzado a considerar los compuestos de polímeros en un nuevo y más holístico camino”(Henning et al., 2019)(Kim & Chalivendra, 2020)

La selección del proceso para la fabricación de materiales compuestos es de gran importancia porque permite satisfacer los requerimientos de un producto para una aplicación determinada. Además, dado que el costo de fabricación de un material compuesto representa entre un 50 y 60% del costo total del producto, es necesario escoger el método de procesamiento más adecuado para obtener el mejor resultado al menor costo.(Dávila et al., 2011)(Wu et al., 2017)

“El proceso de inyección es un proceso que se caracteriza por poseer etapas cíclicas en las cuales el polímero es fundido y transportado a un molde cerrado donde se solidifica tomando la forma del molde y es empleado para el procesamiento de polímeros termoplástico y materiales compuestos de matriz termoplástica”(Dávila et al., 2011)(Mansor et al., 2014)

El moldeo por inyección de los termoplástico es el único proceso de polímeros que facilita la producción en masa de productos con varias geometrías y una buena estabilidad dimensional, se pueden fabricar a velocidades inigualables y de acuerdo a la tecnología de las máquinas la producción de las izas tienen mayor precisión. (Hong et al., 2020)(Serban et al., 2019)(Maghsoudi et al., 2017)

Los avances computacionales han permitido realizar simulaciones de los procesos de inyección con la finalidad de comprender el proceso antes de realizarlo y poder corregir las fallas

para mejorar su fluidez y obtener piezas con mejores acabados.(Sin et al., 2012)(Ahmed Ali et al., 2015)

Un punto importante a considerar es la fluidez de un polímero, la tasa de flujo ha sido ampliamente utilizada en la industria para caracterizar las propiedades de flujo, por otro lado, las propiedades poliméricas, como la extrusibilidad y resistencia de películas o rasgaduras a menudo se consideran básicamente dependiente del caudal.(Rocha et al., 1994)(Pereira et al., 2016)

“La utilización de análisis de decisión de objetivos múltiples para seleccionar alternativas adecuadas para caracterizar materiales compuestos se ha vuelto crucial. Este método acomoda varios tipos de aplicaciones y selecciona adecuadamente varias alternativas [1]. Una selección incorrecta de materiales puede afectar negativamente numerosos aspectos de los productos. Los modelos para la evaluación de criterios múltiples resuelven problemas y determinan las decisiones más apropiadas.”(Alaaeddin et al., 2019)

Una de las primeras máquinas utilizadas para elaboración de piezas plásticas son las de pistón “en estas máquinas el material, en forma de gránulos o granza, entra en el cilindro de calefacción a través de la tolva de gránulos o granza, entra en el cilindro de calefacción a través de la tolva de alimentación situada en la parte posterior del cilindro. El material se calienta y funde en el cilindro de calefacción al mismo tiempo que circula hacia la parte anterior de éste, empujado en veces sucesivas por las emboladas de una pistón que se mueve ajustadamente en el cilindro de calefacción”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

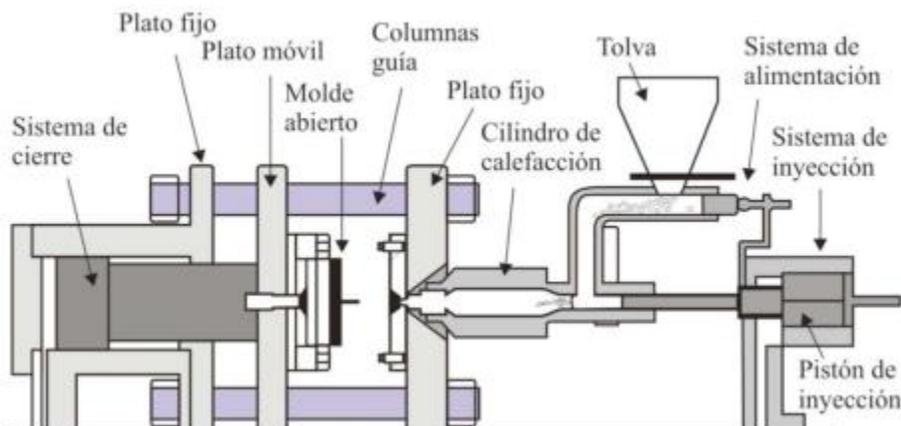


Figura 1. Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón
Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

Otra variedad de máquinas inyectoras de plásticos son las de husillo, en estas máquinas “el calentamiento del material se produce por tanto de forma similar a como ocurre en las máquinas de extrusión: la rotación del tornillo transforma parte de la energía mecánica en calor por fricción, y además las paredes calientes del cilindro contribuyen a aumentar la temperatura por conducción”

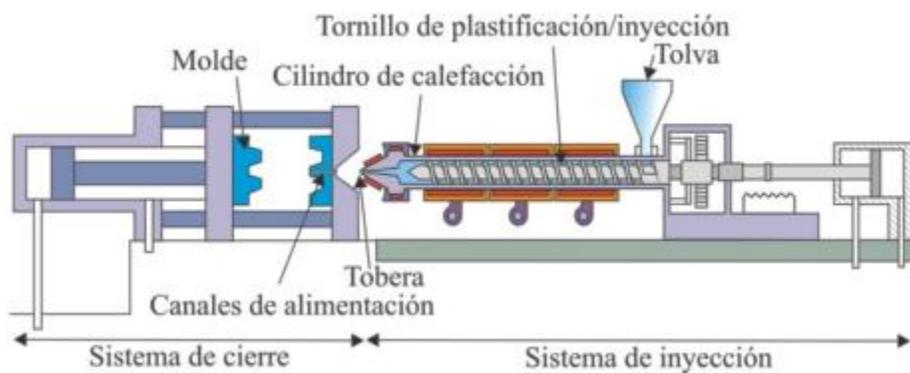


Figura 2. Máquina de inyección de tornillo
Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

Características básicas de las máquinas

Durante un proceso de manufactura por inyección de plástico se debe considerar las características básicas de las máquinas inyectoras que son:

La capacidad de inyección que es “la cantidad máxima de material que una máquina es capaz de inyectar de una sola vez en un molde a una presión determinada”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

La capacidad de plastificación es una definición que no es fácil de expresar numéricamente pero ambiguamente se puede definir como “la cantidad máxima de material que la máquina es capaz de plastificar por unidad de tiempo”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011), además plastificar se entiende como la temperatura a la que se debe calentar un polímero para que pueda ser inyetable.

Otra característica que se debe tomar en cuenta es la presión de inyección que se entiende como: “la medida en la cara delantera “a” del pistón de inyección o husillo (FIGURA XX). Como el husillo esta actuado por un pistón hidráulico al que es solidario, la fuerza en ambas caras “A” y “a” será la misma, y si p es la presión de la línea hidráulica y P la presión de inyección se cumplirá(Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

$$P = p \left(\frac{A}{a} \right)$$

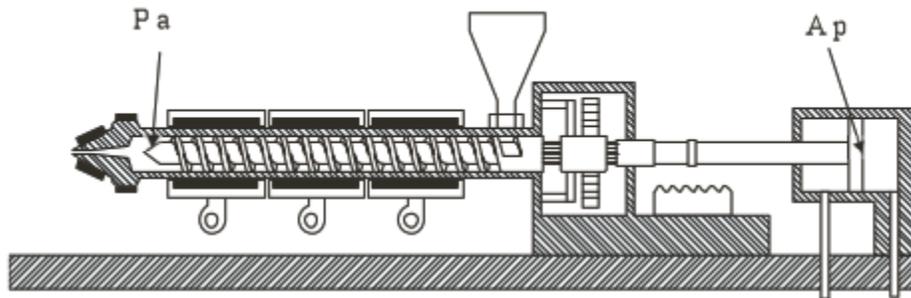


Figura 3. Ubicación de las fuerzas que actúan durante el proceso de inyección
Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

“La velocidad de inyección es el caudal de material que sale de la máquina durante el periodo de inyección; se expresa generalmente en cm^3/s y es una medida de la rapidez con que puede llenarse un molde dado”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

“La fuerza de cierre es aquella que mantiene unidas las dos mitades del molde mientras en la cavidad de moldeo se desarrolla la máxima presión como consecuencia de su llenado”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011), esta fuerza es importante ya que durante el proceso de inyección se producen fuerzas internas por el ingreso del polímero en estado líquido que deben ser contrarrestadas para evitar fugas de material.

Variables que intervienen en el proceso

Temperatura de inyección es a la que se calienta el polímero para poder ser aplicable por inyección de plástico, este proceso se realiza desde que el material ingresa a la tolva hasta llegar al punto donde es inyectado

Temperatura del molde “es la temperatura a la que se encuentra la superficie de la cavidad de moldeo y debe ser lo suficiente baja para enfriar el material fundido y conseguir que solidifique,

esta temperatura es importante porque determinara las propiedades físicas, mecánicas, ópticas, etc., del modelo final”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

Presión inicial de llenado, es la que se “aplica al material fundido y que se desarrolla como consecuencia del movimiento hacia adelante del tornillo y en situaciones ideales la presión inicial debe ser lo mayor posible, de modo que el llenado se produzca lo más rápidamente posible”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

Presión de compactación, “es la presión que se encarga de que el fluido llegue a todos los rincones del molde obligándolo a su llenado y obtener una pieza más uniforme y la presión de retroceso es la que se aplica durante la etapa final de la compactación cuando el tornillo empieza a retroceder para empezar el nuevo proceso de mezcla del material ”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

Tiempos que intervienen en el proceso de inyección

Durante el proceso de manufactura de inyección la variación de los tiempos que se involucran durante este proceso de manufactura depende del tipo de polímero, su viscosidad, característica del molde y el porcentaje de la capacidad de inyección

Tiempo de inyección inicial “es el tiempo necesario para el tornillo realice el recorrido hacia adelante, obligando a que el material se introduzca dentro del molde”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

Tiempo de compactación “es el tiempo que después de realizar la inyección inicial del material, el tornillo permanece en posición avanzada, para mantener la presión dl material dentro del molde”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

Tiempo de enfriamiento, es una característica importante que se debe considerar para obtener una pieza de calidad y “es el tiempo que la pieza requiere para enfriarse hasta que se ha solidificado y además ha adquirido la rigidez suficiente para poder ser extraída del molde sin que se deforme como media se considera una pieza d 1.5mm de espesor requiere de 9 a 12 segundos para solidificar y ser posible de ser extraída del molde sin deformaciones”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

Moldes de Inyección

En los moldes de inyección se debe tener en cuenta diferentes partes que son comunes en los moldes o piezas de inyección y son las siguientes:

- Bebedero.
- Mazarota.
- Canales de alimentación
- Ramificaciones.
- Cavidades de moldeo.
- Recortes

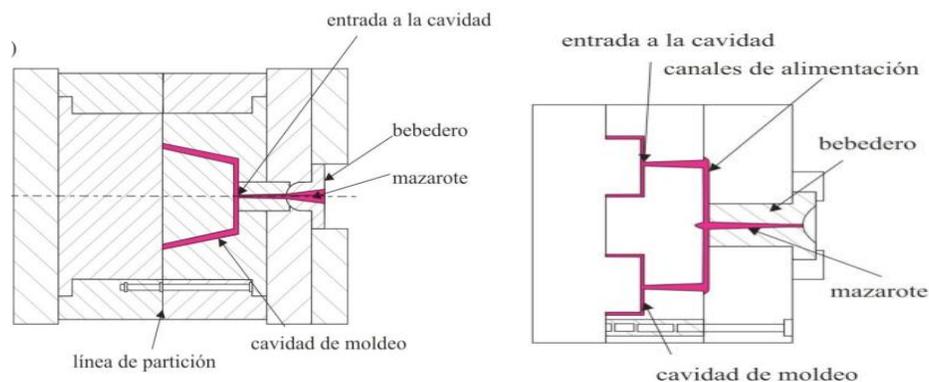


Figura 4. Partes de un molde para inyección de plástico
Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

“El bebedero es la parte del molde sobre la que se apoya la tobera, y el polímero fundido que ocupa el bebedero cuando termina el moldeo, recibe el nombre de mazarota, el bebedero se ramifica en varios canales que llegan hasta las cavidades del moldeo. Estos canales se denominan canales de alimentación y el polímero que los llena después de terminar cada ciclo de moldeo se conoce como ramificaciones. Mazarota y ramificaciones suelen ir unidos a las piezas moldeadas y reciben en conjunto la denominación de recortes pues han de ser separados de las piezas moldeadas en una operación posterior de recorte”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

“Un molde está constituido por dos mitades que se conocen como positiva y negativa, estas se encuentran unidas por presión y las superficies que están en contacto se llaman plano de partición del molde, este plano es perpendicular a la dirección en que actúa la fuerza de cierre”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

Muchos de los moldes que se utilizan para inyección por plástico tienen varias cavidades con la misma geometría por esta razón es un proceso de manufactura ideal para volúmenes altos de producción y debido a esta facilidad existe una clasificación adicional que depende del flujo.

“Flujo equilibrado este tipo de flujo es cuando el material recorre siempre el mismo camino para llenar las cavidades, pero presenta los inconvenientes de que se pierde una cantidad de material considerable en los recortes y de que el molde debe ser bastante grande”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011).

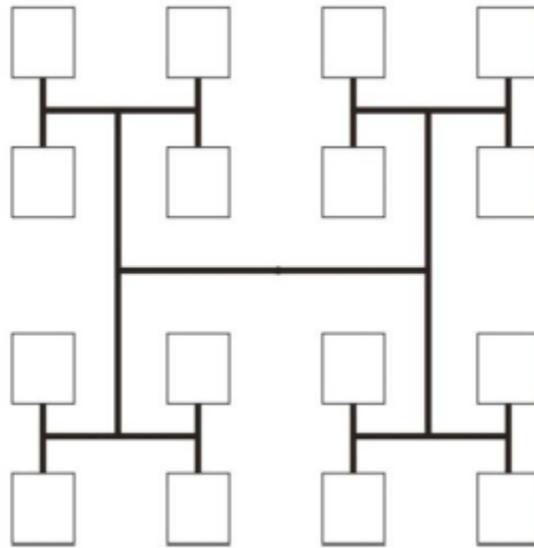


Figura 5. Moldeo dispuesto para flujo equilibrado
Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

“Flujo compensado, para obtener este tipo de flujo se debe tomar en cuenta el diámetro y la longitud de la entrada a las cavidades para compensar las diferentes caídas de presión debidas al flujo del material”.

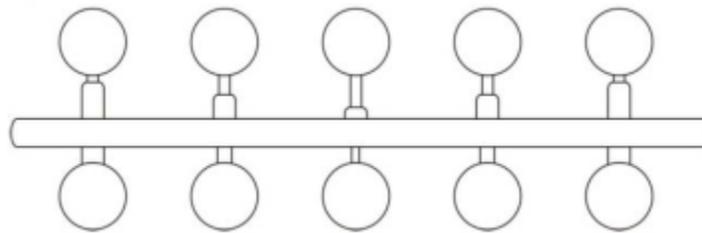


Figura 6. Moldeo dispuesto para flujo compensado
Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

“Una manera de estudiar el ciclo de moldeo por inyección es medir la presión del material que ocupa la cavidad y ver como varia con el tiempo”(Beltrán Rico & Marcilla, 2011), en la FIGURA XX se muestra una diagrama típico presión/tiempo donde se pueden observar las etapas de llenado compactación y enfriamiento.

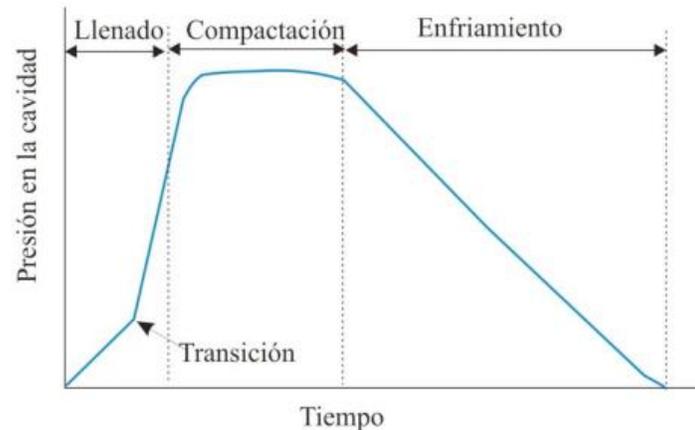


Figura 7. Moldeo dispuesto para flujo compensado
Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla, 2011)

Simulación con elementos finitos

“El análisis de elementos finitos es usado para ejecutar, empleando computadoras, análisis del comportamiento estático, dinámico o térmico de sistemas físicos, estructuras y componentes, y es utilizado cuando el cálculo manual no ofrece suficiente precisión o el sistema a ser analizado es demasiado complejo”(Ramos, n.d.).

Los softwares que utilizan elementos finitos para la resolución de sistemas estáticos o dinámicos “generalmente tienen incorporado cientos de bibliotecas con diferentes tipo de elementos finitos, sin embargo el 90% de los problemas de la ingeniería pueden ser resuelto con 4 o 5 tipos básicos de elementos”(Ramos, n.d.).

“En lo que respecta a la complejidad geométrica, un dominio continuo se discretiza como una malla con un conjunto de elementos finitos y nodos. El proceso de discretización se denomina proceso de mallado. Aunque todos los cálculos de una malla los realizan las computadoras automáticamente, los usuarios deben especificar la configuración para la malla”(Bi, 2018).

“Los elementos de una malla deben ser lo suficientemente pequeños para generar resultados con un nivel aceptable de precisión; por otro lado, los tamaños de los elementos deben ser lo suficientemente grandes para hacer manejable la cantidad de cálculo en los procesos de mado y resolución. Para mejorar la fidelidad de la simulación, generalmente se requieren elementos pequeños o tipos de elementos con órdenes altos cuando las variables de estado son muy sensibles a las ubicaciones espaciales y sus valores cambian rápidamente. Para reducir el cálculo, se recomiendan elementos grandes donde las variables de estado son insensibles a los cambios espaciales”(Bi, 2018).

En función al análisis existen varios tipos de elementos:

“Elementos tipo sólido: Son usados para modelar estructuras y componentes en los que el espesor es sustancial cuando se compara con las otras dimensiones, los elementos tienen 8 nodos con tres grados de libertad en cada uno”(Ramos, n.d.).

De estos se derivan los elementos tetraédricos lineales y los tetraédricos parabólicos, los “tetraédricos lineales considerados de primer orden y se componen de 4 nodos en esquinas conectados por 6 ejes rectos.”(Ramos, n.d.)



Figura 8. Elemento tetraédrico lineal
Fuente: (Ramos, n.d.)

“Elementos solidos tetraédricos parabólicos considerados de segundo orden o de orden superior, estos elementos se componen por 4 nodos en las esquinas,6 nodos a mitas de cara y 6 ejes parabólicos”(Ramos, n.d.)

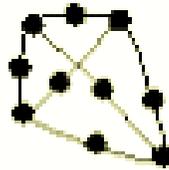


Figura 9. Elemento tetraédrico parabólico
Fuente: (Ramos, n.d.)

“Elementos tipo Shell triangular lineal, está definido por tres nodos en las esquinas conectadas por tres ejes rectos”(Ramos, n.d.).

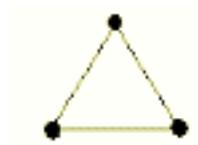


Figura 10. Elemento tipo Shell triangular lineal
Fuente: (Ramos, n.d.)

“Elemento Shell triangular parabólico, formado por tres nodos en las esquinas, tres nodos a mitas de cara y tres ejes parabólicos y para cálculos se consideran 6 grados de libertad (3 traslaciones y 3 rotaciones) y en problemas térmicos 1 (la temperatura)” (Gómez González, 2017).

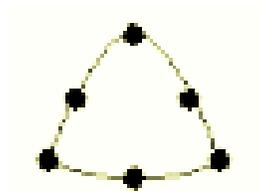


Figura 11. Elemento tipo Shell triangular parabólico
Fuente: (Ramos, n.d.)

En función “a como se discretiza un dominio continuo, una malla se puede clasificar en uno de tres tipos, es decir malla estructurada, malla no estructurada y malla hibrida”(Bi, 2018).

Mallada Estructurada

“Una malla estructurada se caracteriza por una conectividad regular que puede expresarse como una matriz de dos o tres dimensiones, esto restringe las opciones de elementos a cuadriláteros en 2D o hexaedros en 3D”(Gómez González, 2017), además que en este tipo de mallas “el número de elementos alrededor de un nodo interno es constante y la conectividad de la malla puede calcularse en lugar de almacenarse explícitamente, es más simple y consume menos memoria del ordenador, pero carece de flexibilidad para lidiar con geometrías complejas”(Bi, 2018).

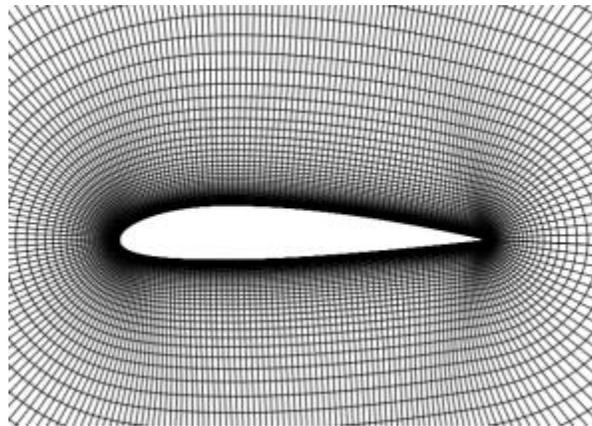


Figura 12. Malla estructurada
Fuente: (Gómez González, 2017)

Mallado no estructurado

“Una malla no estructurada se caracteriza por una conectividad irregular que no se expresa fácilmente como una matriz de dos o tres dimensiones en la memoria del ordenador, la cantidad de elementos alrededor de un nodo interno es diferente de un nodo a otro lo que la hace muy flexible para hacer frente a la complejidad geométrica. En comparación con las mallas

estructuradas, los requisitos de almacenamiento para una malla no estructurada pueden ser sustancialmente mayores puesto que la conectividad vecina debe ser almacenada explícitamente, por lo que es caro en términos de tiempo y memoria computacional” (Gómez González, 2017),(Bi, 2018).

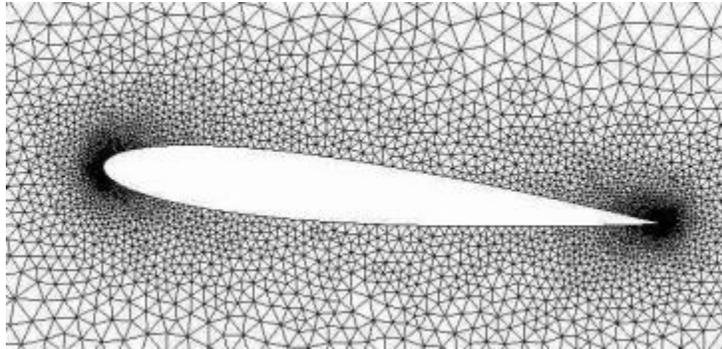


Figura 13. Malla no estructurada
Fuente: (Gómez González, 2017)

Malla híbrida

“Una malla híbrida es una malla que contiene porciones estructuradas y porciones no estructuradas”(Gómez González, 2017), esto es “una discretización de compensación para equilibrar los requisitos de flexibilidad y cálculo. Las regiones del dominio continuo que son regulares pueden adoptar mallas estructuradas y las otras regiones con límites complejos pueden usar mallas no estructuradas”(Bi, 2018).

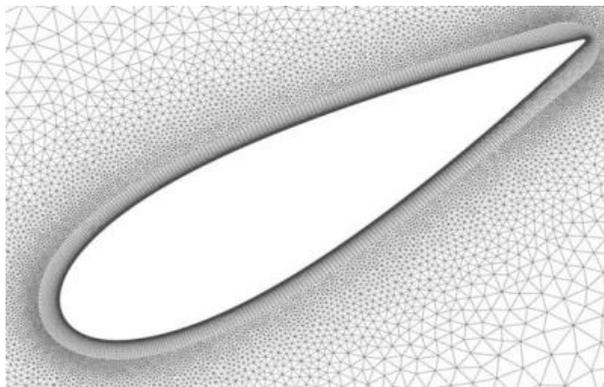


Figura 14. Malla híbrida.
Fuente: (Gómez González, 2017)

Ventajas de los softwares de simulación

“Recientemente, la ingeniería asistida por computadora (CAE) se ha utilizado con éxito en la simulación del proceso de moldeo por inyección, ya que proporciona a los diseñadores / ingenieros retroalimentación visual y numérica del comportamiento de la pieza y elimina el enfoque tradicional de prueba y error para la optimización. La interpretación adecuada de los resultados de la simulación puede ayudar a seleccionar un material adecuado” (Chen et al., 2009).

La ventaja de usar software de simulación es el “prototipo rápido de todo aquel modelo físico de una pieza que se realiza previamente a su industrialización, a objeto de validar todas o algunas de sus características y funciones teóricas. La realización de los mismos se vincula al desarrollo de nuevos productos, ya que es durante este proceso que surge la necesidad de comprobar la bondad, en todos sus aspectos, de lo diseñado”(Candal, 2005).

Otra ventaja que permite las simulaciones es la apreciación de la estética, porque permite comprobar si la pieza responde a las expectativas de diseño, tanto en forma como en volumen, validación dimensional, porque permite comprobar el encaje de una pieza con otra, validación funcional, porque permite verificar si los montajes son fiables con las tolerancias adecuadas y verificación experimental, porque permite determinar si las piezas soportan las cargas mecánicas, químicas y térmicas a las cuales está sometida, además de comprobar si resisten fatiga o el envejecimiento en condiciones reales”(Candal, 2005).

“La ventaja de aprovechar CAE es impulsar el diseño en la industria automotriz a niveles más maduros mediante interacciones muy por delante de la disponibilidad del hardware o prototipo. Este desarrollo virtual sienta las bases para acortar el tiempo de desarrollo, optimizar el diseño y

reducir el costo y el peso. Los riesgos potenciales y los modos de falla se predicen y previenen mucho antes en la etapa de desarrollo. La elaboración del modelo con sus respectivos elementos se basa en convertir un componente complejo real en un modo de concepto, determinando los parámetros de dimensionamiento geométrico, rigidez y módulo de elasticidad”(Lee & Han, 2009).

Método de Entropía

Según nuestra área de estudio cuando escuchamos la palabra entropía la relacionamos con la termodinámica pero como nos indica (Estrada García & Meza Puesto, 2002), este concepto también se relaciona como la Mecánica Estadísticas y la Teoría de la información y con el paso de los años se logró concluir que están ampliamente relacionados.

El concepto básico de la entropía en la teoría de la Información propuesto por (Estrada García & Meza Puesto, 2002) nos indica que la entropía tiene mucho que ver con la incertidumbre existe en cualquier experimento o señal aleatoria.

Debido a la aleatoriedad que presentan muchos experimentos es difícil predecir las señales o valores que vamos obtener y es aquí que entra la entropía para encargarse de medir esta aleatoriedad de una manera más precisa.

Shanon ofrece una definición de entropía que satisface las siguientes afirmaciones(Estrada García & Meza Puesto, 2002).

- La medida de información deber ser proporcional (continua). Es decir, el cambio pequeño en una de las probabilidades de aparición, de uno de los elementos de la señal, debe cambiar poco la entropía.

- Si todos los elementos de la señal son equiprobables a la hora de aparecer, entonces, la entropía.

Para la ejecución del método de Entropía se debe ejecutar los siguientes pasos:

1. Construcción de matriz de decisión: nombrada matriz (X) que se genera con la agrupación de dos variables, siendo los materiales propuesto (P) en las columnas (P1, P2, P3...) y los criterios (C) en las filas (C1, C2, C3...), los valores de los criterios son los datos de las propiedades de cada material que se vaya a proponer.

$$X = \begin{bmatrix} P_{1M1} & P_{1M2} & \dots & P_{1n} \\ P_{2M1} & P_{2M2} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix}$$

Las asignaciones **PM** que se escogieron para la elaborar la matriz después se las representará como **Xij**

2. Cálculo de la matriz de decisión normalizada Pij, el objetivo de la normalización es obtener valores sin dimensiones de diferentes criterios para hacer comparaciones entre ellos y se obtiene usando la ecuación (1):

$$P_{IJ} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

Donde:

p_{ij}	→	Valores resultantes.
m	→	La cantidad de criterios.
x_{ij}	→	Valores de la matriz de decisión.

Una vez utilizados los datos descritos anteriormente se obtiene la matriz normalizada:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix}$$

3. Cálculo de la entropía con la ecuación (2):

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (3)$$

Donde;

$k \rightarrow$ Constante que corresponde un valor establecido en el rango $0 \leq e_j \leq 1$

$m \rightarrow$ Número de materiales.

$e_j \rightarrow$ Valor de entropía.

$p_{ij} \rightarrow$ Valores de la matriz normalizada.

$\ln \rightarrow$ Logaritmo Natural.

4. Cálculo de la diversidad de criterio D_j , este valor se obtendrá con la ecuación (4):

$$d_j = 1 - E_j \quad (4)$$

Donde:

$d_j \rightarrow$ Grado de divergencia.

$e_j \rightarrow$ Valor de entropía.

5. Cálculo del peso normalizado de cada criterio W_j , mediante la ecuación (6):

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (5)$$

Donde:

$w_j \rightarrow$ Pesos.

$\sum d_j \rightarrow$ Sumatoria de los grados de divergencia.

Método de Desviación Estándar

“La desviación estándar o desviación típica es una medida que ofrece información sobre la dispersión media de una variable. La desviación estándar es siempre mayor a cero”

(Economipedia, 2020).

Como se menciona en (Economipedia, 2020) para entender este concepto necesitamos analizar dos conceptos fundamentales:

- Esperanza matemática, valor esperado o media: es la medida de nuestra serie de datos.
- Desviación: es la separación que existe entre un valor cualquiera de la serie y la media.

Este método nos permite determinar las variaciones presentes como menciona (Andrade, 2019) dentro de un rango de valores y el promedio de desviación, dichas desviaciones nos indican el valor más próximo a la posición de referencia seleccionada, para consideraciones de pesos el momento de elegir ponderación de valores a evaluar y sus respectivos pesos en la matriz de decisión, con el siguiente procedimiento:

1. Construir la matriz de decisión: en este caso se calculará la matriz del método de entropía.
2. Cálculo de la desviación estándar: se calculará los valores dispersos en función de los valores promedio, con la ecuación (6):

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - x_j)^2}{m}} \quad (6)$$

Donde:

- | | | |
|------------|---|--|
| x_{ij} | → | Son los valores de la matriz de decisión. |
| m | → | Son número de materiales. |
| σ_j | → | Son los valores de la desviación estándar. |
| x_j | → | Es el valor de la sumatoria de los criterios dividido para m . |

3. Obtención de pesos para criterios, siendo sus propiedades obtenidas mediante la ecuación

(7):

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (7)$$

Donde:

w_j → Es el peso de cada criterio.
 $\sum_{j=1}^n \sigma_j$ → Es la sumatoria de los valores de la desviación estándar.

Método de Variación Estadística

Como menciona (Andrade, 2019) este método se caracteriza por intuir las variaciones de los objetos en análisis dentro de un rango de intervalo o variables de estudio, teniendo presente que la variación que experimenta la variable, está sujeta al valor de la media, esto nos permitirá formar una matriz de decisiones que ajusta de forma numérica e identificar el resultado más aproximado al valor ideal.

Para el desarrollo del método de variación estadística aplicamos la matriz del método de la entropía:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (8)$$

Donde:

p_{ij} → Son valores de la matriz normalizada
 m → Corresponde al número de evaluaciones de los criterios.
 x_{ij} → Son valores de la matriz de decisión.

Para normalizar la matriz, a los valores obtenidos se aplicarán las ecuaciones (9) y (10), usando los valores de máximos y mínimos:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ijmax}} \quad (9)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ijmin}}{x_{ij}} \quad (10)$$

Para el cálculo de la variación estadística que sería un valor promedio de una lista de iteraciones de cada criterio con la ecuación:

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2}{m} \quad (11)$$

Donde:

p_{ij} →	Son los valores de la matriz de decisión normalizada.
m →	Corresponde al número de materiales evaluados.
V_j →	Es el valor de la variación estadística.
p_j →	Es la sumatoria de P_{ij} .

Para la obtención de pesos de los criterios se da la valoración que este método establece para cada criterio, desarrollando la ecuación (12):

$$w_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (12)$$

Donde:

w_j →	Es el peso de cada criterio.
---------	------------------------------

Método Multicriterio.

“La metodología descompone un problema complejo en partes más simples permitiendo que el agente ‘decisor’ pueda estructurar un problema con múltiples criterios en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas”(Grajales-quintero et al., 2015)

Según lo que menciona (Chatterjee & Chakraborty, 2012) en su estudio, el uso de métodos multicriterio nos permitirá identificar que materiales del grupo seleccionado como candidatos a reemplazar el material original presentan las propiedades que les permitan cumplir con la función del original.

Método VIKOR

Como se menciona del método Vikor en (Andrade, 2019) y en (Martínez Gómez et al., 2018) hay que definir las soluciones por separado, para las positivas se evalúan con un valor máximo (100) y los valores negativos con una valoración más baja en el sistema (0), es el algoritmo propuesto por Vikor y se deben seguir los siguientes pasos:

1. Definir la matriz de decisión inicial: se usa el método de la Entropía.
2. Normalización de la matriz de decisión: Se usan los valores de la matriz de decisión aplicando la ecuación:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a^2_{ij}}} \quad (13)$$

Donde:

a_{ij} → Son los valores pertenecientes a la matriz de decisión.

r_{ij} → Son los valores pertenecientes a la matriz normalizada.

$\sum_{i=1}^m a^2_{ij}$ → Es la sumatoria de los valores de la matriz de decisión elevados al

cuadrado.

Al final se obtiene la siguiente matriz normalizada R_{ij} , con los valores ordenados

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

3. Elaborar matriz estandarizada de pesos: Se multiplica los valores de la matriz normalizada por los pesos, consiguiendo la matriz V_{ij}

$$V = (wr) \quad (14)$$

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

Donde:

$w_n \rightarrow$ El valor de los pesos para cada criterio.

$r \rightarrow$ Los valores de la matriz normalizada.

$V_{ij} \rightarrow$ Matriz estandarizada de pesos.

4. Calcular la diferencia entre los valores positivos y negativos: es necesario determinar valores máximos y mínimos de la matriz estandarizada de pesos con las ecuaciones (15) y (16):

$$A^* = \{ \max_i M_{ij} \mid j \in J \}, (\min_i M_{ij} \mid j \in J') \} = \{ M_1^{max}, M_2^{max}, \dots, M_n^{max} \} \quad (15)$$

$$A^- = \{ \max_i M_{ij} \mid j \in J \}, (\min_i M_{ij} \mid j \in J') \} = \{ M_1^{max}, M_2^{max}, \dots, M_n^{max} \} \quad (16)$$

Donde:

$A^* \rightarrow$ Resultado de la ecuación del criterio positivo.

$A^- \rightarrow$ Resultado de la ecuación del criterio negativo.

5. Calcular soluciones optima: se establecerá los valores que determinan el rango de valores en cada criterio, se usan las ecuaciones (17), (18) y (19).

$$U_i = \sum_{j=1}^n \frac{w_f(f_j^{max} - f_{ij})}{(f_j^{max} - f_j^{min})} \quad (17)$$

$$R_i = \max_j \left[\frac{w_f(f_j^{max} - f_{ij})}{(f_j^{max} - f_j^{min})} \right] \quad (18)$$

$$V_i = \frac{\alpha(U_i - U_{min})}{(U_{max} - U_{min})} + \frac{(1-\alpha)(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \quad (19)$$

Donde:

$U_i \rightarrow$ Matriz resultante de la sumatoria.

$w_f \rightarrow$ Valores de los pesos.

$f_f \rightarrow$ Valores de la matriz estandarizada de pesos.

$R_i \rightarrow$ Matriz de los valores de cada criterio.

$V_i \rightarrow$ Valores finales de cada criterio.

$\alpha \rightarrow$ Constante con valor de 0,5.

6. Ranking: Se posiciona los resultados de manera ascendente de 1 a 7, siendo 1 el valor más cercano a cero, y según menciona (Andrade, 2019) este valor cercano a cero es el más óptimo en el método VIKOR.

Para tener una mayor certeza en la selección del candidato utilizaremos también el método copras.

Método Copras

Como menciona (Andrade, 2019) y (Martínez Gómez et al., 2018) este método nos permite buscar los mejores valores que orienten a los resultados ideales, aplicando el algoritmo del método se obtiene con los siguientes pasos:

1. Desarrollo de la matriz de decisión: Se usará la misma matriz normalizada del método VIKOR.
2. Definir matriz de decisión normalizada: ejecutamos la ecuación (20):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (20)$$

Donde:

- r_{ij} → Matriz de decisión normalizada.
 a_{ij} → Valor de cada criterio.
 $\sum_{i=1}^m a_{ij}$ → Sumatoria de los valores de los criterios.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots \\ r_{21} & r_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots \end{bmatrix}$$

3. Matriz estandarizada de pesos: Se ejecutan la ecuación (21):

$$V_{ij} = (w_i)(r_{ij}) \quad (21)$$

Donde:

- V_{ij} → Matriz estandarizada de pesos.
 w_i → Pesos de cada criterio.

$r_{ij} \rightarrow$ Valores de la matriz normalizada.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots \end{bmatrix}$$

4. Obtención de pesos normalizados: se dará peso a cada criterio según propiedad comparada con la propiedad que se quiere alcanzar, con las ecuaciones (22) y (23):

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^m V_{+ij} \quad (22)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^m V_{-ij} \quad (23)$$

Donde:

- $S_{+i} \rightarrow$ Peso normalizado positivo.
 $S_{-i} \rightarrow$ Peso normalizado negativo.
 $\sum_{j=1}^m V_{+ij} \rightarrow$ Sumatoria de los pesos de cada criterio positivo.
 $\sum_{j=1}^m V_{-ij} \rightarrow$ Sumatoria de los pesos de cada criterio negativo.

5. Calcular el índice de rendimiento de cada alternativa: Se busca un grado de satisfacción de cada alternativa con la ecuación (24):

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{-i}}} \quad (24)$$

Donde:

- $Q_i \rightarrow$ Prioridad relativa.
 $S_{+i} \rightarrow$ Peso normalizado positivo.
 $S_{-i} \rightarrow$ Peso normalizado.

6. Cálculo de rendimiento por niveles: Se plantea comparar las cualidades de cada alternativa buscando la más eficiente por el porcentaje con la ecuación (25):

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (25)$$

Donde:

- $U_i \rightarrow$ Rendimiento.
 $Q_i \rightarrow$ Prioridad.
 $Q_{max} \rightarrow$ Prioridad máxima.

7. Ranking: se considera como mejor opción el de valor más alto.

Estos métodos se han considerado para ser tomados en cuenta para la correcta selección del material en función a las características que presenta el material original para cumplir la función para la que fue diseñado.

Metodología

El método a utilizar en el estudio es el método estadístico, el cual favorece a determinar las muestras a estudiar y calcular todos los datos; estableciendo las generalidades apropiadas;

El método de estudio se propone en tres: la primera es el uso de selección mediante toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) usando algunas técnicas que contribuyen a la elección acertada, la segunda etapa es evaluar el material ganador MCDM mediante simulación computarizada en escenarios iguales estableciendo resultados comparativos con el material actual, la tercera etapa consiste en evaluar los resultados de las simulaciones con el material elegido en el MCDM.

El flujo de estudio sigue el siguiente diagrama de procesos que nos permitirá escoger el mejor material para reemplazar al original.

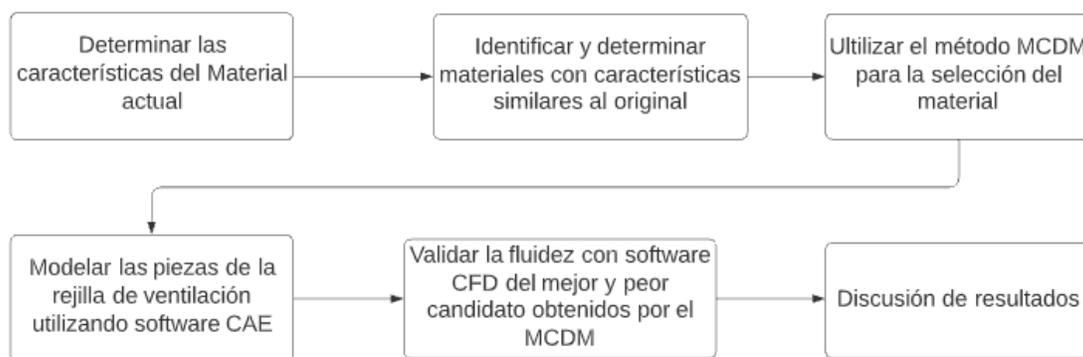


Figura 15. Diagrama de proceso de estudio.

Como principal objetivo de la investigación está en seleccionar un material compuesto alternativo para la rejilla de ventilación de un vehículo, empleando varios métodos de obtención de resultados que prueban de manera cuantitativa y cualitativa la selección ideal de materiales alternos con las siguientes consideraciones:

1. Establecer las características del material actual con el que se elabora la rejilla de ventilación interna del vehículo.
2. Determinar 3 materiales con características similares al del uso actual en la fabricación de la rejilla de ventilación interna del vehículo.
3. Determinar los parámetros para la selección del material que servirá de reemplazo para la inyección de plásticos.
4. Uso de MCDM para elegir el material ideal
5. Realizar simulaciones experimentales en software CAE y CFD.

A continuación, se determinará las propiedades del material original para realizar una correcta selección de los candidatos de materiales compuestos.

En función a las investigaciones realizadas se determinó que el material original de la rejilla de ventilación es de una mezcla de policarbonato y plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno conocido como PC-ABS.

El primer paso es determinar las características esenciales de la rejilla de ventilación interior de un vehículo y de acuerdo a sus exigencias las características que requieren son:

- Buena rigidez y firmeza.
- Termoplástico (resistente a la variación de temperatura)
- Buena rigidez y firmeza.

- Resistente al impacto.
- Envejecimiento leve.
- Índice de fluidez.
- Procesamiento por moldeo de inyección

Se debe tener en cuenta las características del material original y lo anteriormente mencionado para que los materiales candidatos que presentan cambios de forma por las elevadas temperaturas, presenten fisuras o roturas por su uso o golpes, envejecimiento prematuro muy por debajo del material original no sean considerados como posibles sustitutos.

Es importante tomar en cuenta que el material candidato pueda ser procesado por moldeo de inyección por lo que esta característica es importante considerarla en el proceso de selección.

Densidad

La densidad es una magnitud que se da por la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, es la propiedad física que más se utilizan en los polímeros, ya que esta propiedad nos da un buen indicio de las propiedades mecánicas que puede ofrecer un polímero, debido al empaquetamiento de las moléculas se obtienen características de dureza, flexión, tracción, torsión entre otras (Andrade, 2019).

Índice de fluidez

La viscosidad de un polímero tiene mucho que ver con el peso molecular del mismo y el peso molecular tiene una relación directa con sus propiedades, por tanto, la medición de la viscosidad se convierte en importante para determinar las propiedades de un plástico como lo menciona

(Lerna, 2017), también menciona que no es un indicador de procesabilidad, pero esto nos permite tener una idea de si el material podrá ser utilizado en el proceso de molde por inyección.

Temperatura de reblandecimiento VICAT

“La temperatura de reblandecimiento VICAT se define como la temperatura a la cual una aguja de punta penetrará 1mm en el interior de una probeta plana de material rígido a temperatura ambiente bajo ciertas condiciones de carga (10 ó 50N) y velocidad de calentamiento (50 ó 120°C/h)” (Laboratorio de tecnología Polimerica, 2020).

Esta característica nos permite conocer hasta qué punto un polímero es funcional sin perder sus propiedades por efecto de cambios fuertes de temperatura por lo que es necesario considerar un rango de temperaturas a las que estará sometida la rejilla de ventilación.

Costo

Esta característica se debe considerar al momento de seleccionar el material, ya que primero el material se debe poder adquirir en el medio nacional y que no sea de mayor valor que el material original de la rejilla.

Selección de materiales

A continuación, se indicarán las características de los materiales a evaluar, tomando en cuenta el material original PC-ABS.

Propiedades del PC-ABS

En la tabla 1 se describen las principales propiedades del material original, las que nos servirán para aplicar el método MCDM

Tabla 1.*Propiedades del PC-ABS*

Propiedades	Característica	Valor
Físicas	Densidad (g/cc)	1.15
	Índice de fluidez (g/#min)	19/10
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	45
	Elongación a la rotura.	60%
	Módulo elástico en tracción (GPa)	2.3
	Resistencia a la flexión (MPa)	80
	Resistencia al impacto (KJ/M)	0.587
Térmicas	Temperatura de transición vítrea (°C)	129
	Temperatura del material (°C)	270

Fuente: (www.printalot.com.ar,2017) (www.materialie.com,2020)**Propiedades del Polipropileno – Fibra de vidrio**

En la tabla 2 se describen las propiedades del primer candidato en función a las características seleccionadas para el material original, estos datos nos servirán para aplicar el método MCDM.

Tabla 2.*Propiedades Polipropileno-Fibra de vidrio.*

Propiedades	Característica	Valor
Físicas	Densidad (g/cc)	1.42
	Índice de fluidez (g/#min)	13/10
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	85
	Elongación a la rotura.	6%
	Módulo elástico en tracción (GPa)	4.4
	Resistencia a la flexión (MPa)	138
	Resistencia al impacto (KJ/M2)	71
Térmicas	Temperatura de transición vítrea (°C)	135
	Temperatura del material (°C)	220

Fuente: (www.ensigerplastics.com.br,2018)

Propiedades del Tereftalato de Polibutileno – 20% Fibra de vidrio

En la tabla 3 se describen propiedades del segundo candidato en función a las características seleccionadas para el material original, estos datos servirán para aplicar el método MCDM

Tabla 3.
Propiedades PBT reforzado con 30% de fibra de vidrio

Propiedades	Característica	Valor
Físicas	Densidad (g/cc)	1.46
	Índice de fluidez (g/#min)	16/10
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	46
	Elongación a la rotura.	6%
	Módulo elástico en tracción (GPa)	3.4
	Resistencia a la flexión (MPa)	78
	Resistencia al impacto (kJ/M2)	37
Térmicas	Temperatura de transición vítrea (°C)	210
	Temperatura del material (°C)	260

Fuente: (www.ensingerplastics.com.br,2020)

Propiedades del Polipropileno – 20% de fibra de Bambú

En la tabla 4 se describen las propiedades del tercer candidato en función a las características seleccionadas para el material original, estos datos servirán para aplicar el método MCDM.

Tabla 4.
Propiedades PP reforzado con fibras de bambú al 20%

Propiedades	Característica	Valor
Físicas	Densidad (g/cc)	1
	Índice de fluidez (g/#min)	18/10
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	30
	Elongación a la rotura.	4%
	Módulo elástico en tracción (GPa)	3
	Resistencia a la flexión (MPa)	138
	Resistencia al impacto (kJ/M2)	50
Térmicas	Temperatura de transición vítrea (°C)	140
	Temperatura de material (°C)	230

Fuente:(Delgado, 2018)

A continuación, se detalla la tabla de variables y niveles que se usara para agrupar las diferentes características que se tomaran de los materiales obtenidos de diversos fabricantes y fichas técnicas disponibles en web, para una referencia respecto a sus propiedades.

Tabla 5.
Propiedades de los materiales propuestos

VARIABLES		ABS-PC	PP/ FIBRA DE VIDRIO	PBT/ FIBRA DE VIDRIO	PP/ FIBRA DE BAMBU
PROPIEDADES	CARACTERISTICA				
Costo	(\$ / Kg)	3.00	2.21	4.92	1.25
Físicas	Densidad: ISO 1183 (Kg/m ³)	1.15	1.42	1.46	1
	MFI: ISO 1133 (gr/10min)	19	13	16	18
Mecánicas	Resistencia a la tracción: ISO 527 (MPa)	45	85	46	30
	Elongación a la rotura (%)	60	6	6	4
	Módulo de elasticidad: ISO 527 (Gpa)	23	4.4	3.4	3
	Resistencia a la flexión: ISO 527(MPa)	80	138	78	138
	Resistencia al impacto: ISO 527 (kJ/m ²)	0.587	71	37	50
Térmicas	Temperatura de transición vítrea (°C)	129	135	210	140
	Temperatura del material (°C)	270	220	260	230

Fuente:(Delgado, 2018)(*Polycarbonate-ABS*, n.d.) (www.ensigerplastics.com.br,2020) (www.ensigerplastics.com.br,2018) (www.printalot.com.ar,2017) (www.materialie.com,2020)

Se tiene los materiales propuestos, propiedades y la información del material actual (ABS-PC) se procede con la selección multicriterio (MCDM).

Elaboración de método de ponderación y cálculo de pesos

Cálculo de Método de Entropía

Con la información obtenida se procede al desarrollo de los métodos de ponderación, valoración, y organización para el desarrollo de la matriz unificada.

Tabla 6.

Matriz de criterios.

Material	\$/ Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Res. tracción (MPa)	Elongación a la rotura (%)	Mod. Elas. (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Res. al impacto (Kj/m ²)	Temp de materia l (°C)	Temp de trans. vítrea (°C)
ABS-PC	3.00	1.15	19	45	60	23	80	0.587	270	129
PP / FIBRA DE VIDRIO (M1)	2.21	1.42	13	85	6	4.4	138	71	220	135
PBT / FIBRA DE VIDRIO (M2)	4.92	1.46	16	46	6	3.4	78	37	260	210
PP / FIBRA DE BAMBU (M3)	1.25	1.010	18	30	4	3	138	50	130	140

La tabla 6 detalla los valores a ser utilizados para el método multicriterio, valoración y ponderación, cada material será llamado como **M** y numerado según el material que se le quieran mencionar, y los criterios serán valorados con la letra **w** según lo diferentes criterios que serán evaluados.

Se considera el orden planteado en el Estado del Arte

1. Matriz de decisión.

Datos obtenidos se presentan a continuación de los materiales consultados.

Datos de la tabla 6 para la matriz X

$$X = \begin{bmatrix} 2,21 & 1,42 & 13 & 85 & 6 & 4,4 & 138 & 71 & 220 & 135 \\ 4,92 & 1,46 & 16 & 46 & 6 & 3,4 & 78 & 37 & 260 & 210 \\ 1,25 & 1 & 18 & 30 & 4 & 3 & 138 & 50 & 230 & 140 \end{bmatrix}$$

2. Normalización de la matriz

Se aplica la ecuación (1), con los valores con seguidos se formará la matriz P_{ij}

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0,264 & 0,365 & 0,277 & 0,528 & 0,375 & 0,407 & 0,390 & 0,449 & 0,292 & 0,415 \\ 0,587 & 0,375 & 0,340 & 0,286 & 0,375 & 0,315 & 0,220 & 0,234 & 0,417 & 0,169 \\ 0,149 & 0,260 & 0,383 & 0,186 & 0,250 & 0,278 & 0,390 & 0,316 & 0,292 & 0,415 \end{bmatrix}$$

3. Cálculo de valor de Entropía.

Aplicando la ecuación (2) y a continuación (3) con la constante k .

Se obtiene los valores (e) de cada criterio

$$\begin{aligned} e1 = 0.863 & \quad ; & e2 = 0.988 & \quad ; & e3 = 0.992 & \quad ; & e4 = 0.918 & \quad e5 = 0.985 \\ e6 = 0.988 & \quad ; & e7 = 0.972 & \quad ; & e8 = 0.968 & \quad ; & e9 = 0.986 & \quad e10 = 0.938 \end{aligned}$$

4. Determinación del grado de divergencias

Se aplica la ecuación (4) para obtener el valor d siguiente:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= 1 - 0.863 = 0.137 & d_2 &= 1 - 0.988 = 0.012 & d_3 &= 1 - 0.992 = 0.008 \\
 d_4 &= 1 - 0.918 = 0.082 & d_5 &= 1 - 0.985 = 0.015 & d_6 &= 1 - 0.988 = 0.012 \\
 d_7 &= 1 - 0.972 = 0.058 & d_8 &= 1 - 0.968 = 0.032 & d_9 &= 1 - 0.986 = 0.014 \\
 & & d_{10} &= 1 - 0.938 = 0.062 & &
 \end{aligned}$$

5. Obtención de pesos

Se usa la ecuación (5) siendo w los pesos de los criterios de cada material d_j son los grados de divergencia, dividido para su respectiva sumatoria

$$\sum_{j=1}^m d_j = 0.137 + 0.012 + 0.008 + 0.082 + 0.015 + 0.012 + 0.058 + 0.032 + 0.014 + 0.062 = 0.432$$

$$\begin{aligned}
 w_1 &= 0.31 & w_2 &= 0.027 & w_3 &= 0.019 & w_4 &= 0.189 \\
 w_5 &= 0.034 & w_6 &= 0.027 & w_7 &= 0.132 & w_8 &= 0.074 \\
 w_9 &= 0.032 & w_{10} &= 0.143 & & & &
 \end{aligned}$$

Tabla 7.
Determinación de pesos por criterio para entropía.

$w1$	$w2$	$w3$	$w4$	$w5$	$w6$	$w7$	$w8$	$w9$	$w10$
0.31	0.027	0.019	0.184	0.034	0.027	0.132	0.074	0.032	0.143

Cálculo de Método de la Deviación Estándar

1. Matriz de decisión

Se elabora con la misma matriz del método de entropía

$$X = \begin{bmatrix} 2,21 & 1,42 & 13 & 85 & 6 & 4,4 & 138 & 71 & 220 & 135 \\ 4,92 & 1,46 & 16 & 46 & 6 & 3,4 & 78 & 37 & 260 & 210 \\ 1,25 & 1 & 18 & 30 & 4 & 3 & 138 & 50 & 230 & 140 \end{bmatrix}$$

2. Cálculo de Desviación Estándar

Se trabaja con la ecuación (6) para obtener la desviación estándar

$$\begin{array}{ccccc} x_1 = 2.79 & x_2 = 1.30 & x_3 = 15.67 & x_4 = 53.67 & x_5 = 5.33 \\ x_6 = 3.60 & x_7 = 118 & x_8 = 52.67 & x_9 = 160 & x_{10} = 118 \end{array}$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i1} - x_1)^2 = 7.24$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i2} - x_2)^2 = 0.12$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i3} - x_3)^2 = 12.67$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i4} - x_4)^2 = 1600.67$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i5} - x_5)^2 = 2.67$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i6} - x_6)^2 = 1.04$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i7} - x_7)^2 = 2400$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i8} - x_8)^2 = 588.67$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i9} - x_9)^2 = 2400$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i10} - x_{10})^2 = 5047$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{7.24}{3}} = 1.55$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{0.12}{3}} = 0.2$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{12.67}{3}} = 2.05$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{1600.67}{3}} = 23.09$$

$$\sigma_5 = \sqrt{\frac{2.67}{3}} = 0.943$$

$$\sigma_6 = \sqrt{\frac{1.04}{3}} = 0.584$$

$$\sigma_7 = \sqrt{\frac{2400}{3}} = 28.28$$

$$\sigma_8 = \sqrt{\frac{588.67}{3}} = 14$$

$$\sigma_9 = \sqrt{\frac{2400}{3}} = 28.28$$

$$\sigma_{10} = \sqrt{\frac{5047}{3}} = 41.01$$

Tabla 8*Valores de la desviación estándar*

σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8	σ_9	σ_{10}
1.55	0.2	2.05	23.09	0.943	0.584	28.28	14	28.28	41.01

$$\sum_{j=1}^n \sigma_j = 1.55 + 0.2 + 2.05 + 23.09 + 0.94 + 0.584 + 28.28 + 14 + 28.28 + 41.01 = 139.98$$

3. Obtención de pesos para cada uno de los criterios.

Se aplica la ecuación (7) para encontrar los valores de W , de la tabla xx

$$W_1 = \frac{1.55}{139.98} = 0.011 \quad W_2 = \frac{0.2}{139.98} = 0.0014 \quad W_3 = \frac{2.05}{139.98} = 0.014$$

$$W_4 = \frac{23.09}{139.98} = 0.164 \quad W_5 = \frac{0.94}{139.98} = 0.0067 \quad W_6 = \frac{0.584}{139.98} = 0.0041$$

$$W_7 = \frac{28.28}{139.98} = 0.202 \quad W_8 = \frac{14}{139.98} = 0.1 \quad W_9 = \frac{28.28}{139.98} = 0.202$$

$$W_{10} = \frac{41.01}{139.98} = 0.292$$

Tabla 9.*Pesos de la desviación estándar*

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}
0.011	0.0014	0.014	0.164	0.0067	0.0041	0.202	0.1	0.202	0.292

Método de Variación estadísticas

1. Matriz de decisión

Se aplicará la matriz que se desarrolló en el método de entropía, es decir la matriz X, para la agrupación correspondiente.

$$X = \begin{bmatrix} 2,21 & 1,42 & 13 & 85 & 6 & 4,4 & 138 & 71 & 220 & 135 \\ 4,92 & 1,46 & 16 & 46 & 6 & 3,4 & 78 & 37 & 260 & 210 \\ 1,25 & 1 & 18 & 30 & 4 & 3 & 138 & 50 & 230 & 140 \end{bmatrix}$$

2. Normalización de matriz de decisión

Utilizaremos las ecuaciones (9) y (10)

Tabla 10.

Matriz de decisión normalizada método variación estadística.

$$PIJ = \begin{bmatrix} 0,566 & 0,973 & 0,722 & 0,353 & 0,667 & 0,682 & 0,565 & 0,521 & 1,000 & 1,000 \\ 0,254 & 1,000 & 0,889 & 0,652 & 0,667 & 0,882 & 1,000 & 1,000 & 1,429 & 0,408 \\ 1,000 & 0,685 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 0,565 & 0,740 & 1,000 & 1,000 \end{bmatrix}$$

3. Cálculo de la variación estadística

Se calcula V_j con la ecuación (11)

$$p_1 = 0.607 \quad p_2 = 0.886 \quad p_3 = 0.870 \quad p_4 = 0.668 \quad p_5 = 0.778$$

$$p_6 = 0.855 \quad p_7 = 0.710 \quad p_8 = 0.754 \quad p_9 = 0.900 \quad p_{10} = 0.803$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.281 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.061 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.039$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.210 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.074 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.052$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.126 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.115 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.060$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.234$$

$$\begin{array}{ccccc}
 V_1 = 0.047 & V_2 = 0.010 & V_3 = 0.007 & V_4 = 0.035 & V_5 = 0.012 \\
 V_6 = 0.009 & V_7 = 0.021 & V_8 = 0.019 & V_9 = 0.010 & V_{10} = 0.039
 \end{array}$$

$$\sum_{i=1}^m V_j = 0.047 + 0.010 + 0.007 + 0.035 + 0.012 + 0.009 + 0.021 + 0.019 + 0.039 = 0,208$$

$$\begin{array}{ccccc}
 w_1 = 0.224 & w_2 = 0.049 & w_3 = 0.031 & w_4 = 0.168 & w_5 = 0.059 \\
 w_6 = 0.041 & w_7 = 0.101 & w_8 = 0.092 & w_9 = 0.048 & w_{10} = 0.187
 \end{array}$$

Comparación de resultados de Métodos de Ponderación

Obtenidos los pesos de cada criterio por los métodos de ponderación, realizaremos una tabla comparativa para seleccionar el método con el cual se continuará el estudio

Tabla 11.

Comparación de resultados de ponderación de todos los métodos

Método	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}
Entropía	0.31	0.027	0.019	0.184	0.034	0.027	0.132	0.074	0.032	0.143
Desviación Estándar	0.011	0.0014	0.014	0.164	0.0067	0.0041	0.202	0.1	0.202	0.292
Variación Estadística	0.224	0.049	0.031	0.168	0.059	0.041	0.101	0.092	0.048	0.187

En la tabla comparativa se observa que los valores obtenidos por los criterios de ponderación no presentan una gran diferencia entre ellos, por lo que se podría seleccionar cualquiera de los dos criterios para continuar el estudio.

El método que se ha escogido es el de la desviación estándar y los valores que serán considerados para elegir el material son la densidad (w_2), índice de fluencia (w_3) y temperatura

de transición vítrea (w_{10}), en el caso de haber más de un material idóneo con estas características, se incluirá otro valor de ponderación.

Tabla 12.

Pesos a usar en MCDM (desviación estándar)

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}
0.011	0.0014	0.014	0.164	0.0067	0.0041	0.202	0.1	0.202	0.292

Desarrollo de Métodos Multicriterio (MCDM)

1. Elaboración de la matriz de decisión.

En la tabla 13 se agrupan los valores de los criterios de los materiales propuestos y es la matriz que se va a utilizar en el método multicriterio.

Tabla 13.

Matriz de decisión método COPRAS

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Res. tracción (MPa)	Elongación a la rotura (%)	Mod. Elas. (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Res. al imp. (Kj/m ²)	Temp de material. (°C)	Temp de trans. vítrea (°C)
(M1)	2.21	1.42	13	85	6	4.4	138	71	220	135
(M2)	4.92	1.46	16	46	6	3.4	78	37	260	210
(M3)	1.25	1.010	18	30	4	3	138	50	230	140

$$X = \begin{bmatrix} 2,21 & 1,42 & 13 & 85 & 6 & 4,4 & 138 & 71 & 220 & 135 \\ 4,92 & 1,46 & 16 & 46 & 6 & 3,4 & 78 & 37 & 260 & 210 \\ 1,25 & 1 & 18 & 30 & 4 & 3 & 138 & 50 & 230 & 140 \end{bmatrix}$$

2. Normalización de matriz de decisión.

Se utilizará la ecuación (13) para determinar los valores r , y obtener los valores de la matriz R_{ij} , para obtener la matriz normalizada.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 0,264 & 0,366 & 0,277 & 0,528 & 0,375 & 0,407 & 0,390 & 0,449 & 0,292 & 0,415 \\ 0,587 & 0,376 & 0,340 & 0,286 & 0,375 & 0,315 & 0,220 & 0,234 & 0,417 & 0,169 \\ 0,149 & 0,258 & 0,383 & 0,186 & 0,250 & 0,278 & 0,390 & 0,316 & 0,292 & 0,415 \end{bmatrix}$$

Tabla 14
Criterios de Matriz Normalizada (R_{ij}) COPRAS

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Res. tracción a la rotura (MPa)	Elongación (%)	Mod. Elas. (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Res. al imp. (Kj/m ²)	Temp de material. (°C)	Temp de trans. vítrea (°C)
(M1)	0,264	0,366	0,277	0,528	0,375	0,407	0,390	0,449	0,292	0,415
(M2)	0,587	0,376	0,340	0,286	0,375	0,315	0,220	0,234	0,417	0,169
(M3)	0,149	0,258	0,383	0,186	0,250	0,278	0,390	0,316	0,292	0,415

3. Desarrollo de la Matriz Estandarizada de Pesos

Para la construcción de esta matriz se debe multiplicar los pesos por el valor ponderado normalizado que se calculó anteriormente como detalla la ecuación (21)

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} 0,003 & 0,001 & 0,004 & 0,087 & 0,003 & 0,002 & 0,079 & 0,045 & 0,059 & 0,121 \\ 0,006 & 0,001 & 0,005 & 0,047 & 0,003 & 0,001 & 0,045 & 0,023 & 0,084 & 0,049 \\ 0,002 & 0,000 & 0,005 & 0,031 & 0,002 & 0,001 & 0,079 & 0,032 & 0,059 & 0,121 \end{bmatrix}$$

Tabla 15.
Matriz estandarizada de pesos COPRAS

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Res. tracción a la rotura (MPa)	Elongación (%)	Mod. Elas. (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Res. al imp. (Kj/m ²)	Temp de material. (°C)	Temp de trans. vítrea (°C)
(M1)	0,003	0,001	0,004	0,087	0,003	0,002	0,079	0,045	0,059	0,121
(M2)	0,006	0,001	0,005	0,047	0,003	0,001	0,045	0,023	0,084	0,049
(M3)	0,002	0,00003	0,005	0,031	0,002	0,001	0,079	0,032	0,059	0,121

4. Cálculo de los valores de pesos normalizados para criterios beneficios o no beneficios

Se aplicará las ecuaciones (22) y (23).

Tabla 16.*Pesos normalizados positivos COPRAS*

S_{+1}	S_{+2}	S_{+3}
0.126	0.055	0.127

Tabla 17.*Pesos normalizados negativos COPRAS*

S_{-1}	S_{-2}	S_{-3}
0.273	0.203	0.203

5. Obtención de la prioridad relativa de las alternativas.

Se aplicará la ecuación (24) para determinar el valor de las prioridades en función a las propiedades de los materiales planteados.

$$Q_1 = 0.126 + \frac{0.679}{0.273(13.52)} = 0.309$$

$$Q_2 = 0.055 + \frac{0.679}{0.203(13.52)} = 0.247$$

$$Q_3 = 0.127 + \frac{0.679}{0.203(13.52)} = 0.374$$

Tabla 18*Prioridades relativas de cada alternativa*

Q_1	Q_2	Q_3
0.309	0.247	0.374

6. Determinar el nivel de rendimiento

Se aplicará la ecuación (25) para determinar los valores en porcentaje para el análisis de las propiedades de los materiales seleccionados y se considerará el valor mayor como material ganador según su porcentaje.

$$U_1 = \frac{0.309}{0.374} * 100 = 82.62\%$$

$$U_2 = \frac{0.247}{0.374} * 100 = 66.04\%$$

$$U_3 = \frac{0.374}{0.374} * 100 = 100\%$$

Tabla 19

Proximidad relativa a solución ideal y ranking

Código	Nivel de rendimiento	Ranking
M1	82.62%	2
M2	66.04%	3
M3	100%	1

Obtención de la geometría en 3D

Una vez que se obtuvo los candidatos para reemplazar el material original se procede a obtener la pieza en 3D utilizando un software CAE, para nuestro estudio utilizaremos el software SolidWorks.

Lo primero, es adquirir la pieza que servirá para realizar la modelación en la figura a continuación se presenta la rejilla de ventilación del Kia Rio diferentes posiciones:



Figura 16. Vista frontal de la rejilla de ventilación

Vista de costado de la rejilla de ventilación



Figura 17. Vista de costado izquierda la rejilla de ventilación



Figura 18. Vista de costado derecha la rejilla de ventilación

Después de realizar un análisis a la pieza se observa que la rejilla de ventilación no es una pieza unitaria sino el conjunto de varios elementos y para realizar el modelo se procede a desarmar la rejilla de ventilación para tomar medidas de las piezas y poder realizar el modelo CAD 3D.

Modelado de las piezas

Procedemos a desarmar la rejilla de ventilación para tomar las medidas y realizar su boceto y modelación 3D



Figura 19. Rejilla de ventilación despiezada

Iniciamos el modelado con la mascarilla de protección y para tomar las medidas nos apoyaremos de ciertos instrumentos de medición como calibrador para poder obtener mejor exactitud en la toma de datos



Figura 20. Mascarilla de protección

Modelado en 3D de la mascarilla de protección

Debido a la forma un poco curva de la pieza, se utilizó una habilidad del programa en la que se toma una fotografía a la pieza y de esta forma se ingresa en el entorno del SolidWorks, esto para poder obtener la forma curva de la pieza



Figura 21. Iniciando el modelado de la mascarilla

Una vez obtenido el boceto en 2D se realizan operaciones de extracción para obtener la pieza final

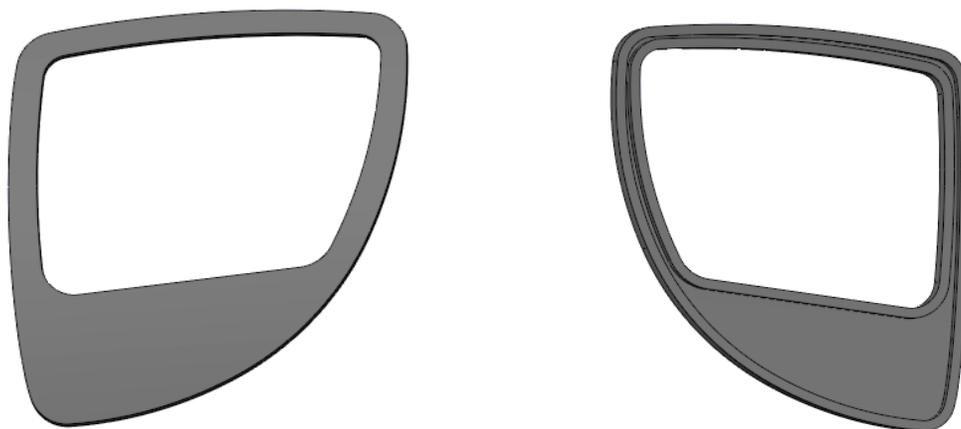


Figura 22. Mascarilla de protección modelada en SolidWorks, parte frontal y delantera

Modelado cámara de entrada del aire acondicionado

Para el modelado se utilizó el elemento original y apoyado de instrumentos de medición como calibradores se tomó las medidas.

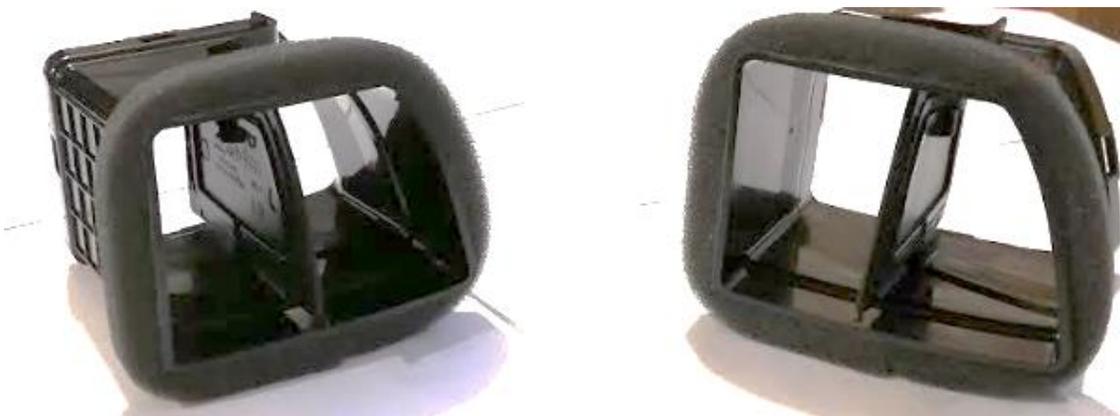


Figura 23. Pieza de la entrada de aire

Una vez que se obtuvo las dimensiones se procedió a realizar el modelado 3D

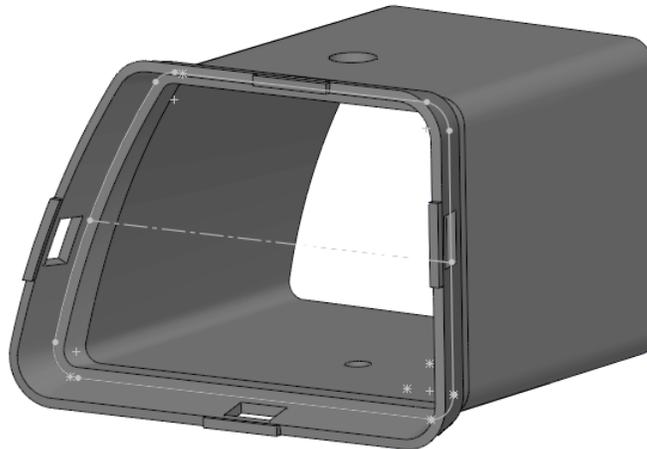


Figura 24. Pieza modelada en software de la entrada de aire

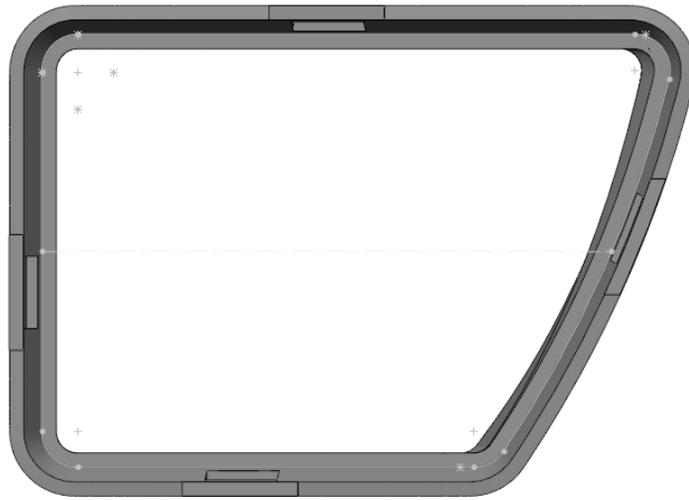


Figura 25. Imagen frontal de la entrada de aire



Figura 26. Imagen frontal de la entrada de aire

Modelado cavidad que recibe las aletas de regulación de la salida del aire acondicionado

Se utilizo la pieza original para tomar las medidas



Figura 27. Cavidad que recibe las aletas de regulación

Obtenidas las medidas se procedió a realizar el modelado en el software para obtener la pieza en 3D

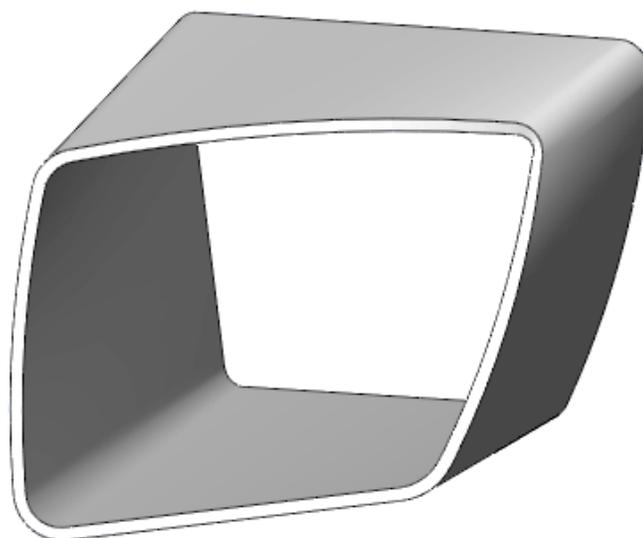


Figura 28. Elemento modelado en el software

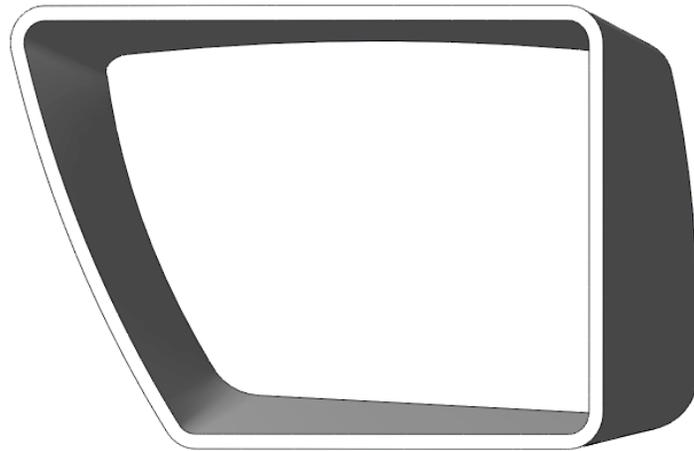


Figura 29. Vista frontal del elemento modelado



Figura 30. Vista lateral del elemento modelado

Como se observa en el elemento modelado la forma de la pieza no es regular lo que dificulto la modelación del elemento

Modelados de las aletas

En la rejilla de ventilación una vez que fue desarmada se observa que son tres los modelos que forman las aletas que redirigen la salida del aire acondicionado hacia el interior del vehículo.



Figura 31. Modelos de las aletas

Obtenidos los tres modelos de las aletas se procede a realizar el modelado 3D por medio de software

Empezamos el modelado de la primera geometría de una de las aletas

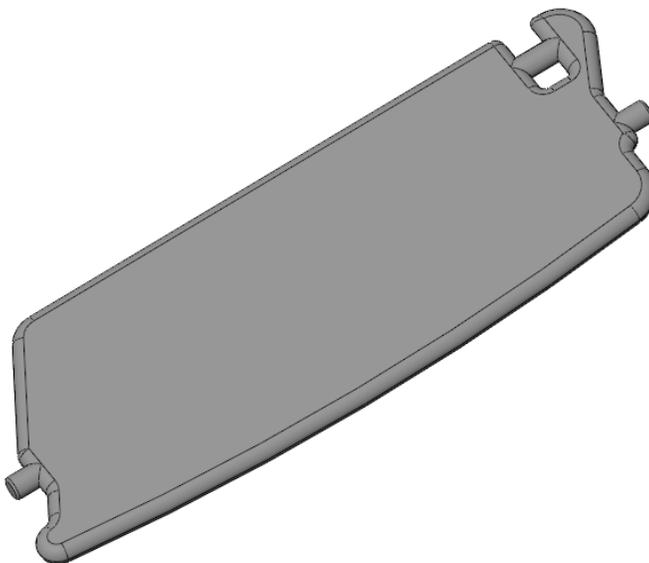


Figura 32. Primera aleta modelada en 3D



Figura 33. Primera aleta vista frontal

Modelado de la segunda aleta

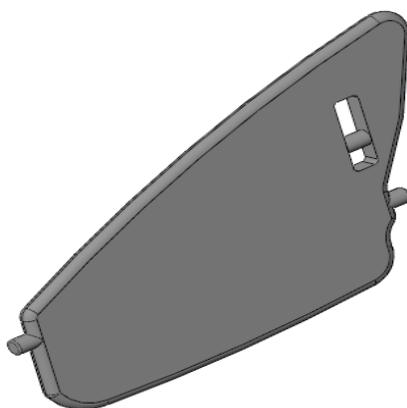


Figura 34. Segunda aleta modelada en 3D

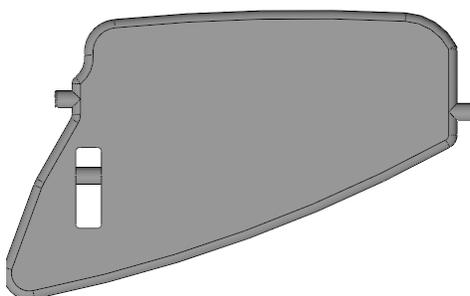


Figura 35. Segunda aleta vista frontal

Modelado de la forma tres de la aleta

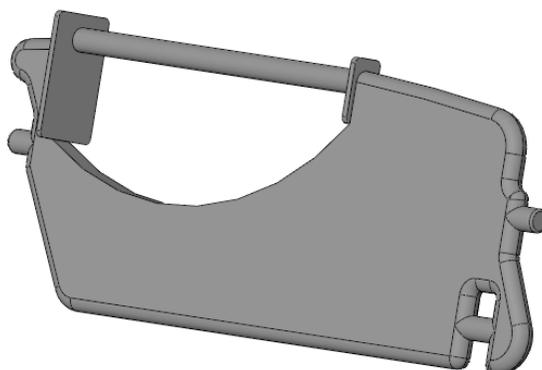


Figura 36. Tercera aleta modelada en 3D

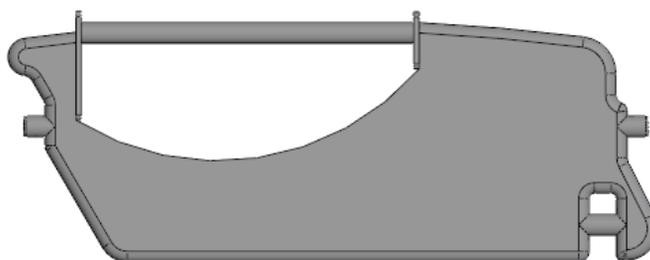


Figura 37. Tercera aleta vista frontal

En la entrada del aire acondicionado existe una aleta que puede evitar que pase el aire acondicionado o regular la cantidad que puede llegar al interior del vehículo



Figura 38. Aleta que regula el paso del aire acondicionado a la entrada de la rejilla de ventilación

Modelado de la aleta que regula el paso del aire acondicionado

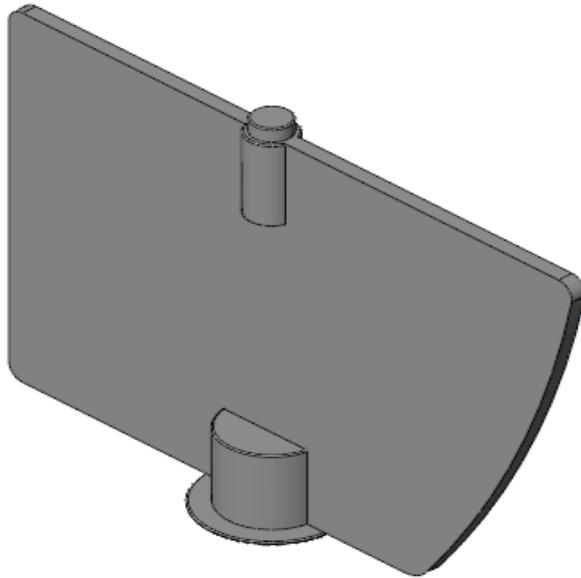


Figura 39. Aleta reguladora del paso de aire modelada en 3D

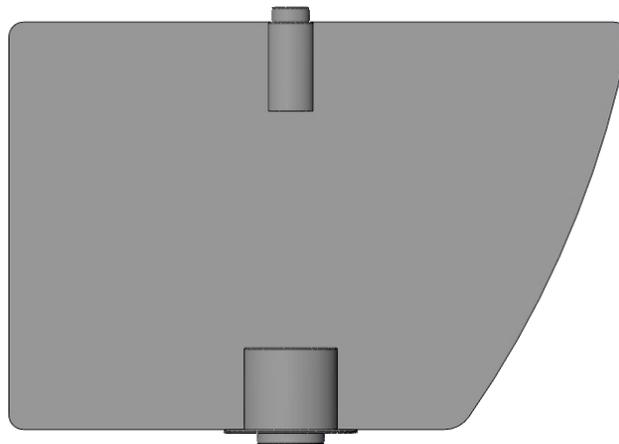


Figura 40. Aleta reguladora del paso de aire modelada en 3D

Una vez que se obtuvo el modelado en 3D de todas las piezas se procede a realizar el ensamble para obtener el modelo completo de la rejilla de ventilación



Figura 41. Rejilla de ventilación ensamblada

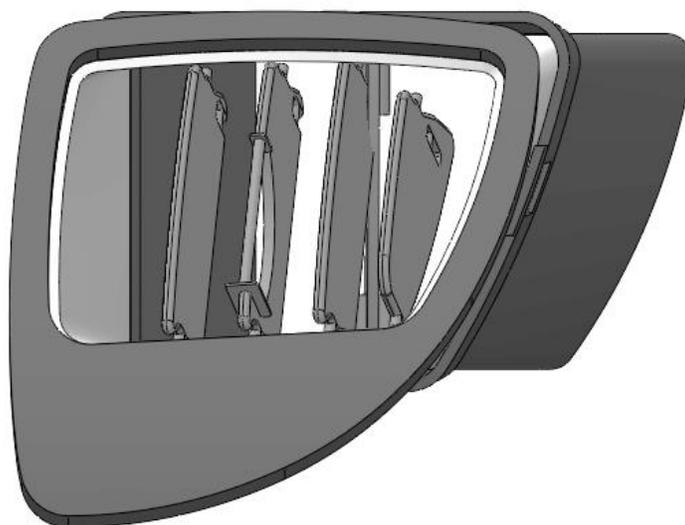


Figura 42. Vista frontal de la rejilla de ventilación ensamblada

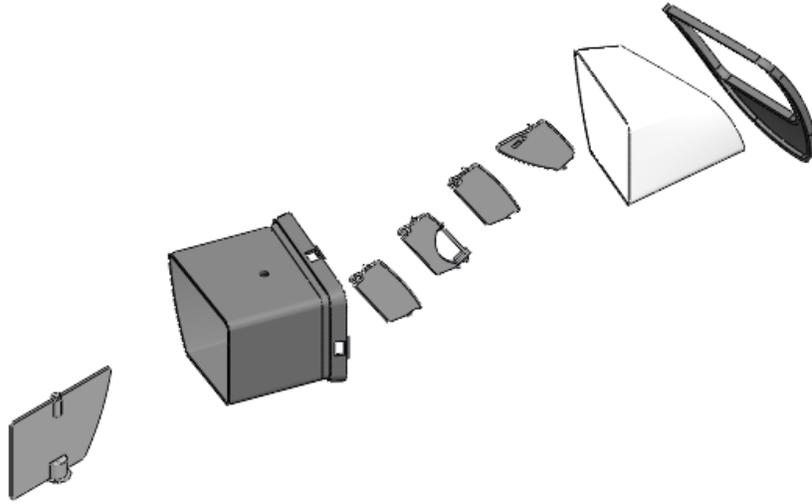


Figura 43. Vista explosionada observada de la parte posterior de la rejilla de ventilación ensamblada

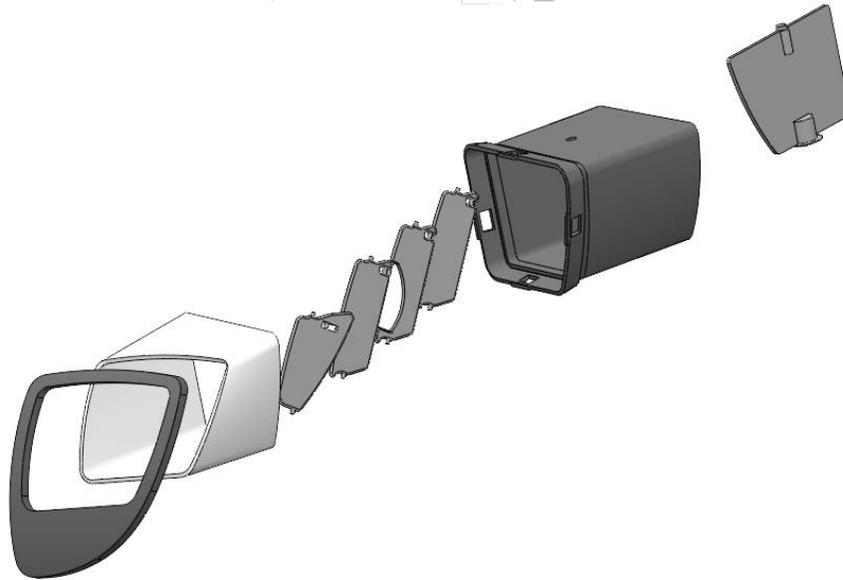


Figura 44. Vista explosionada observada desde el frente de la rejilla de ventilación ensamblada

Simulación

Para realizar la simulación del moldeo por inyección de plástico vamos a utilizar el programa SolidWorks que tiene un completo llamado plásticos que nos permite realizar estas simulaciones ya que cuenta con una biblioteca muy amplia de materiales poliméricos.

Lo primero que realizamos es buscar dentro de la biblioteca de SolidWorks plásticos el material original de la rejilla de ventilación del Kia Rio 2018, para este caso es un polímero del tipo policarbonato/acrilonitrilo butadieno estireno (PC-ABS).

Buscamos dentro de la biblioteca de SolidWorks plásticos el material original o el que tenga los valores más cercanos en función a la tabla 1.

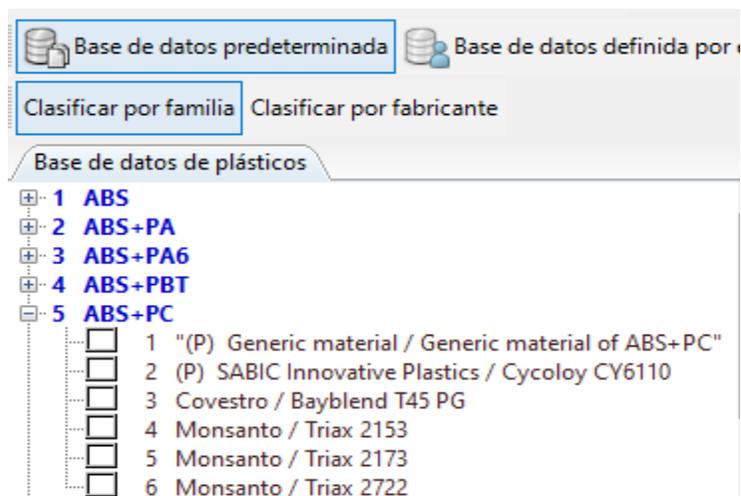


Figura 45. Polímeros PC-ABS biblioteca SolidWorks

A continuación, se presenta las propiedades de los polímeros de la base de datos del software

ABS+PC : "(P) Generic material / Generic material of ABS+PC"	
Temperatura del material	265 °C
Temperatura material máx.	300 °C
Temperatura material mín.	230 °C
Temperatura del molde	75 °C
Temperatura molde máx.	100 °C
Temperatura molde mín.	50 °C
Temperatura de eyección	115 °C
Temperatura de transición	145 °C
Viscosidad : 7-Parameters Modified C	1.63313e+10 417.152 0 23.933 51.6 149220 0.2643
PVT : Modified Tait Equation	0.000918 6.26e-07 1.57e+08 0.00374 0.000918 2.87e-07 2.38e+08 0.002
Densidad sólida : Not Available	NULL
Calor específico : Constant	1750 J/(Kg-K)
Conductividad térmica : Constant	0.17 W/(m-K)
Módulo elasticidad : Constant	2800 2800
Coef. Poisson : Constant	0.4 0.4
Coeficiente de dilatación térmica : Co	6.7e-05 6.7e-05
Módulo de relajación de cizallamiento	NULL
Curado del modelo : Not Available	NULL
Temperatura de no flujo : Not Availabl	NULL

Figura 46. Polímeros PC-ABS Genérico
Fuente: Software SolidWorks

ABS+PC : Covestro / Bayblend T45 PG	
Temperatura del material	260 °C
Temperatura material máx.	280 °C
Temperatura material mín.	250 °C
Temperatura del molde	70 °C
Temperatura molde máx.	80 °C
Temperatura molde mín.	60 °C
Temperatura de eyección	110 °C
Temperatura de transición	115 °C
Viscosidad : 7-Parameters Modified C	1.34643e+10 417.15 0 22.4425 51.6 57379.5 0.343619
PVT : Modified Tait Equation	0.0009514 6.52e-07 1.72218e+08 0.004665 0.0009514 2.99e-07 2.34883e+
Densidad sólida	1086.7 Kg/m3
Calor específico : Variable	51 1378 70 1450 90 1536 101 1616 107 1687 115 1757 130 1
Conductividad térmica : Variable	38 0.118 59 0.126 80 0.126 101 0.135 121 0.142 141 0.192 16
Módulo elasticidad : Constant	2100 2100
Coef. Poisson : Constant	0.38 0.38
Coeficiente de dilatación térmica : Co	8.5e-05 9e-05
Módulo de relajación de cizallamiento	NULL
Curado del modelo : Not Available	NULL
Temperatura de no flujo : Not Availabl	NULL

Figura 47. Polímeros PC-ABS Covestro
Fuente: Software SolidWork

La tabla a continuación presenta una comparación entre los dos materiales de los que poseemos datos del software para elegir el que utilizaremos en la simulación

Tabla 20.
Comparación de materiales

Material	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Res. tracción (MPa)	Elongación a la rotura (%)	Mod. Elas. (GPa)	Temp de materia l (°C)	Temp de trans. vítrea (°C)
ABS-PC	1.15	19	45	60	23	260	125
ABS-PC SOFTWARE	1	15	50	100	28	265	145
ABS-PC COVESTRO	1.08	17	60	50	21	260	115

Después de comparar los tres materiales, se observa que el ABS-PC Covestro/Bayblend es el que tienes las características similares al original por lo que este se utilizará para la simulación

Inicio de la simulación

Para realizar el análisis, el primer paso es seleccionar el material para poder construir el mallado de la pieza, se utilizará el híbrido-tetraédrico que es el que recomienda el software

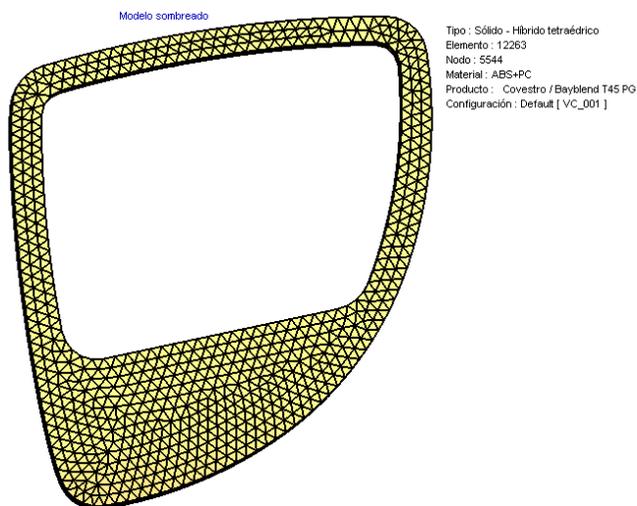


Figura 48. Mallado de la pieza con material PC-ABS Covestro

Para simular el proceso de inyección debemos colocar el punto por el cual ingresarán el polímero en estado líquido

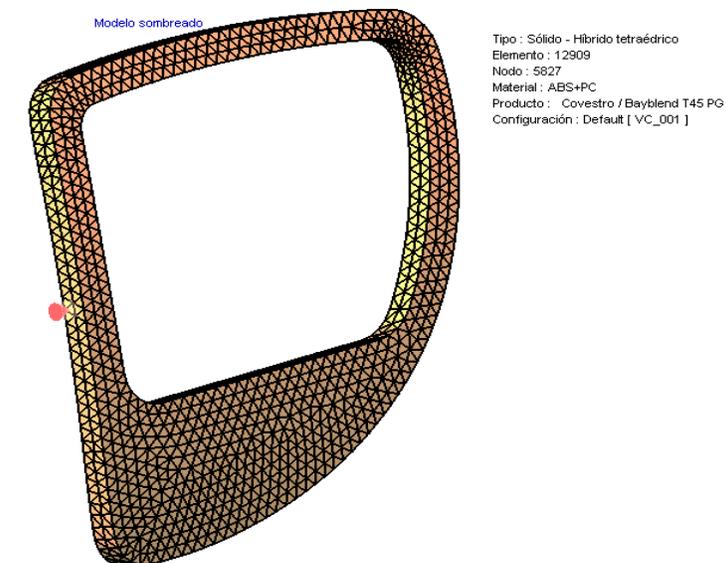


Figura 49. Punto de inyección

Datos proporcionados por el software para el proceso de llenado

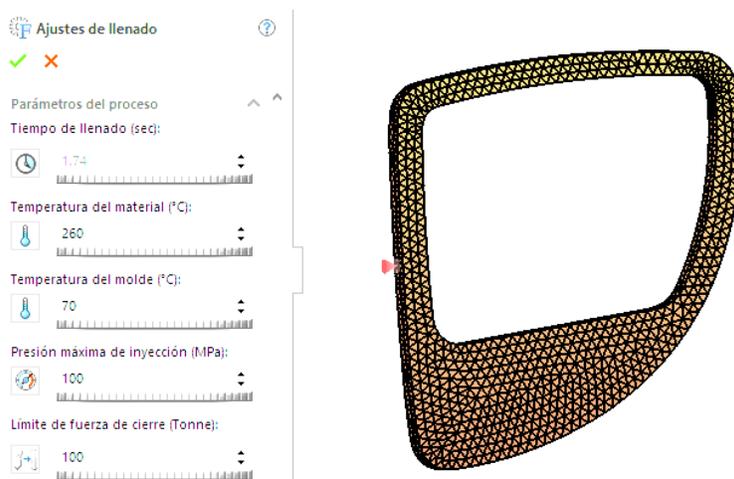


Figura 50. Ajustes de llenado

Resultados de la simulación mascarilla que cubre las aletas de ventilación

Tiempo de llenado

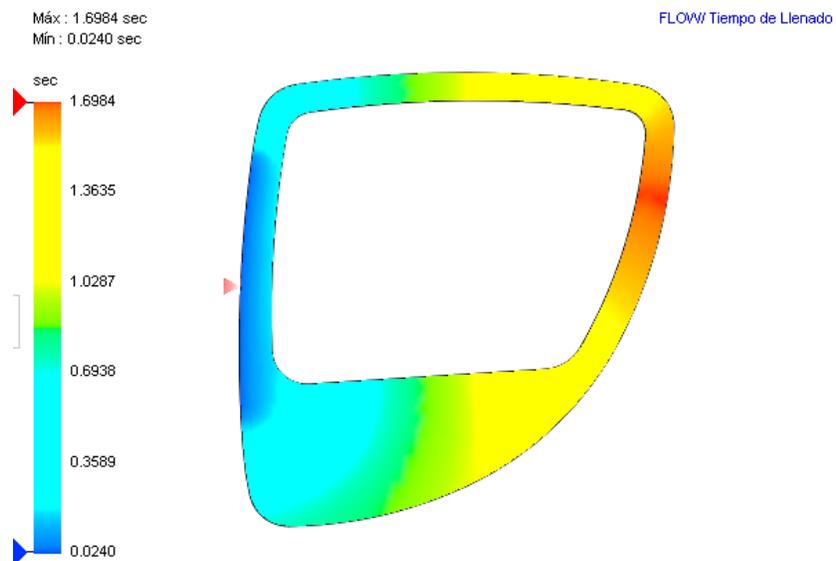


Figura 51. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado máximo para esta pieza es de 1.7 segundos.

Presión al final del llenado

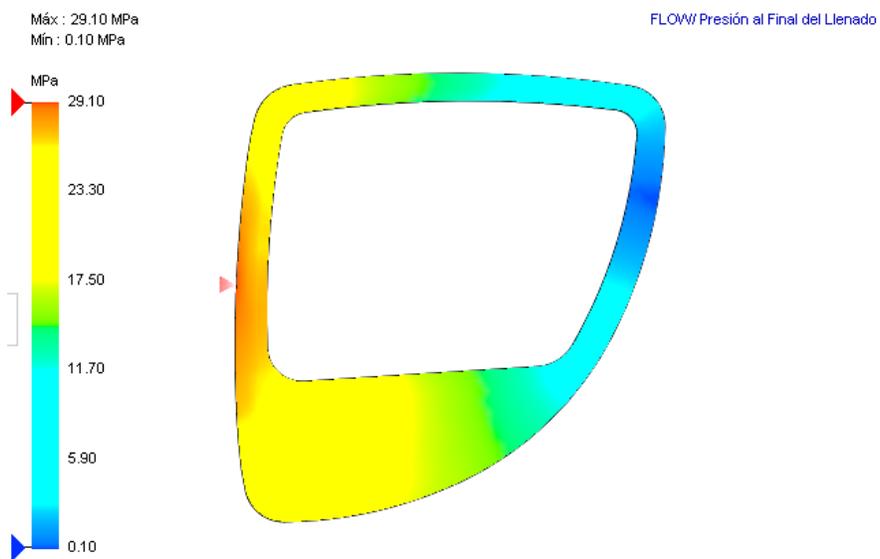


Figura 52. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 29.1 MPa (4221.07 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

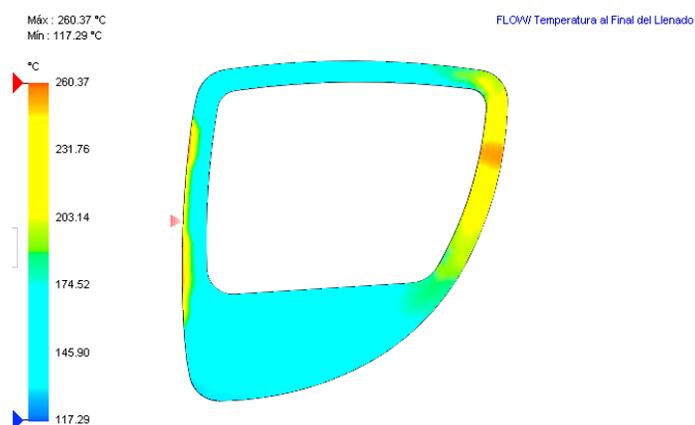


Figura 53. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura del frente de flujo

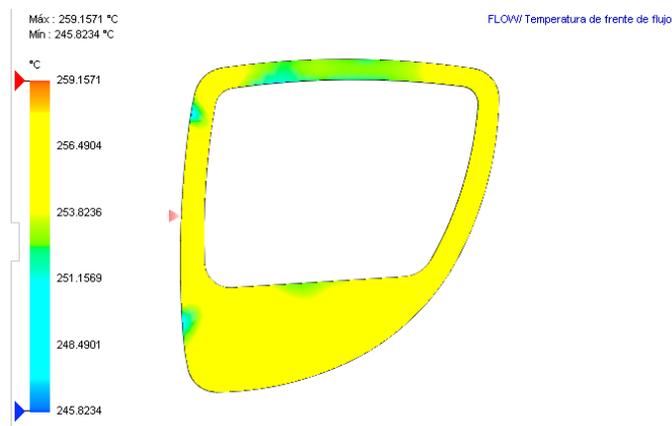


Figura 54. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de Cizallamiento al final del llenado

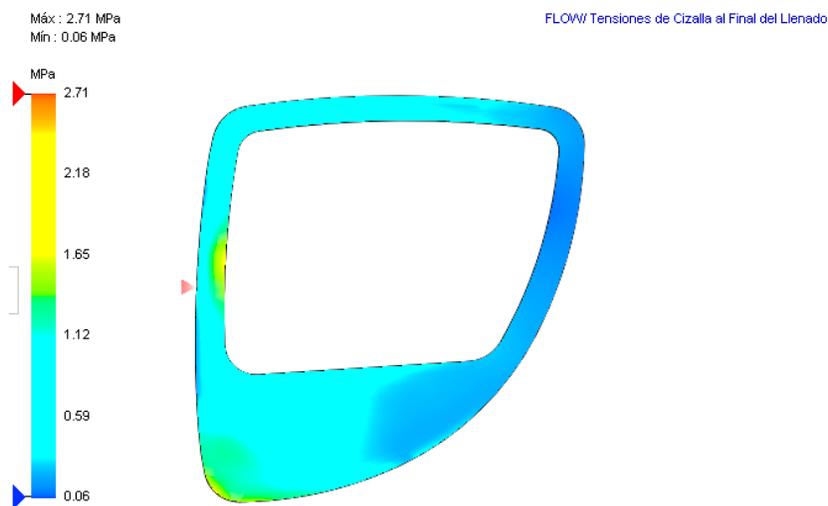


Figura 55. Cizallamiento al final del llenado

Como la fuerza de cizalla al final del llenado es baja nos indica que la pieza tendrá buenas propiedades mecánicas y un buen acabado superficial

Facilidad de llenado

El software tiene un código de colores para indicar la facilidad de llenado siendo fácil el color verde, amarillo para llevado difícil y rojo cuando existen complicaciones serías para el llenado.

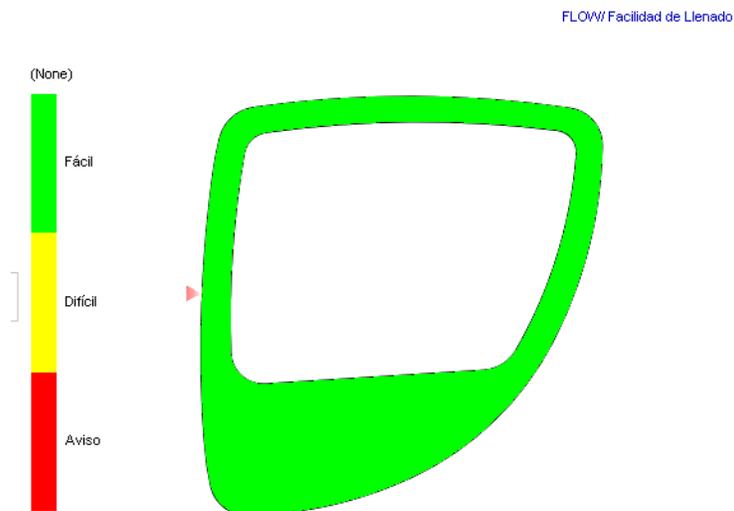


Figura 56. Facilidad del llenado

Para el elemento simulado obtenemos que su llenado es fácil

Simulación aleta reguladora de paso de aire acondicionado

El mallado va a ser el mismo para todas las piezas simuladas lo que va a cambiar es el punto por el que va a ingresar el polímero en estado líquido

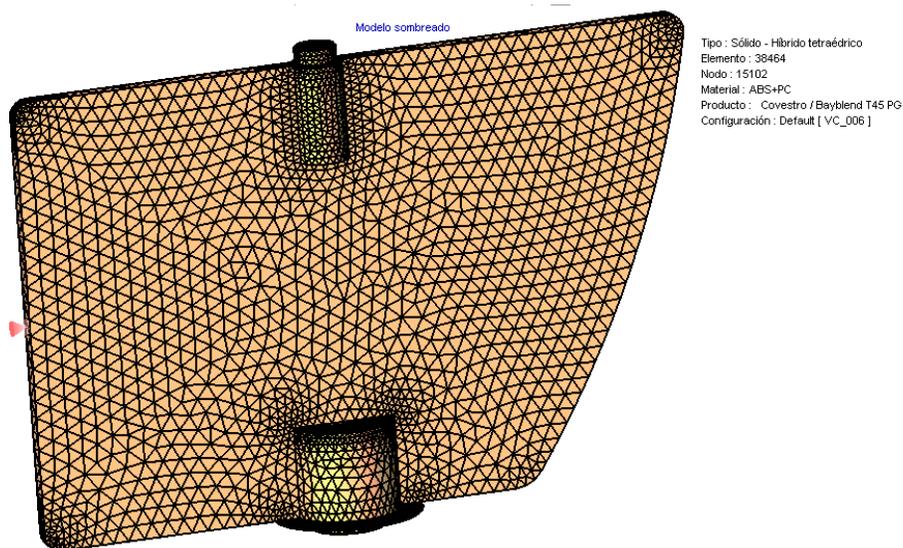


Figura 57. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.

Datos para la simulación del llenado del polímero en la aleta de regulación del paso del material

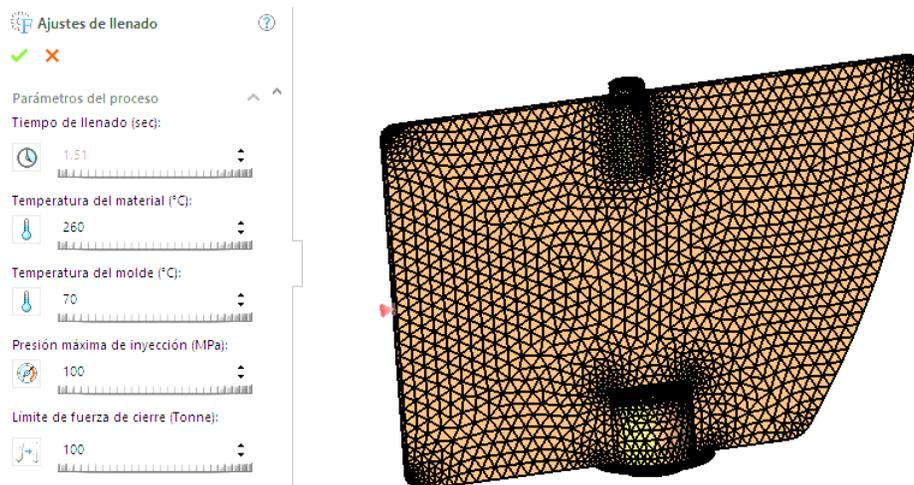


Figura 58. Ajustes de llenado.

Tiempo de llenado

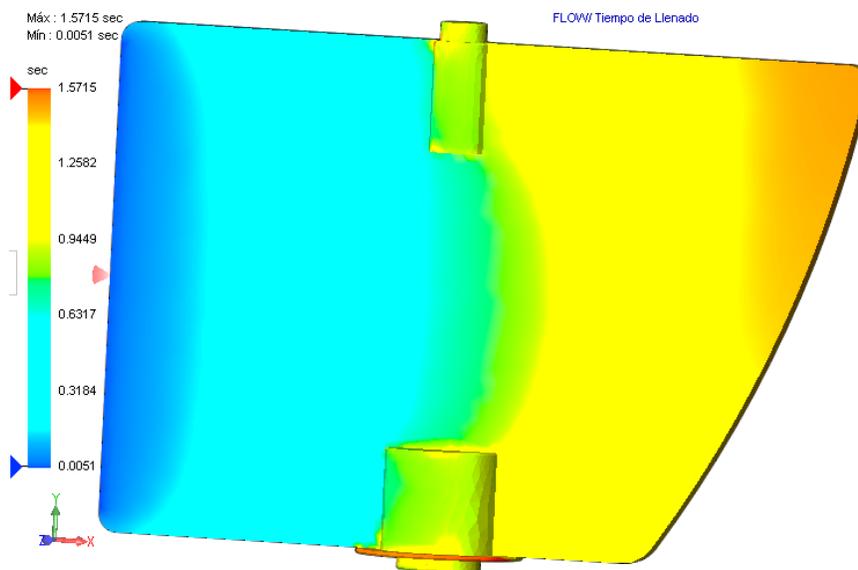


Figura 59. Tiempo de llenado.

Se obtiene que el tiempo total para el llenado de la pieza es de 1.6 segundos

Presión de llenado

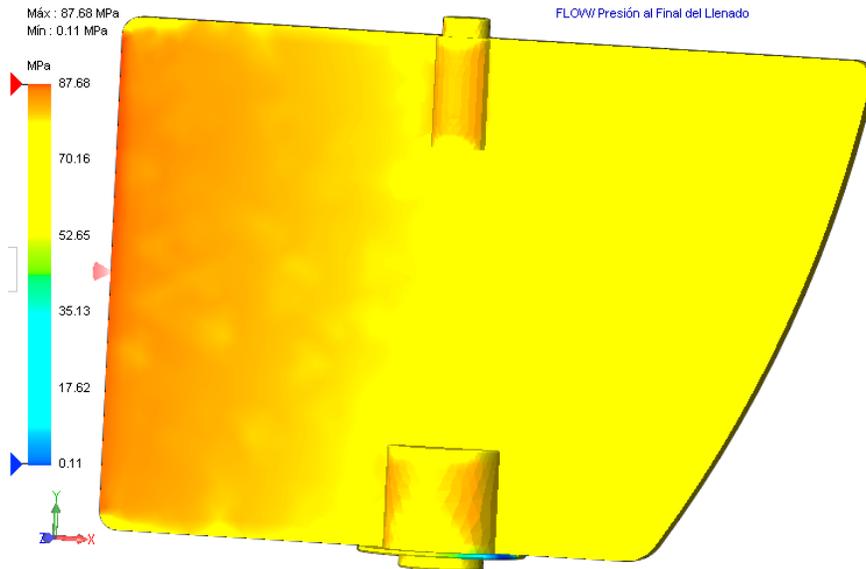


Figura 60. Presión al final del llenado.

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 87.7 MPa (12719.53 psi). La presión de inyección que precisa el llenado es superior al 66% pero inferior al 90% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis.

La presión de inyección necesaria aún se encuentra dentro de un intervalo razonable, 87.68% del límite de presión de inyección máxima. Sin embargo, si se produjeran pérdidas de presión adicionales en el sistema de canales de colada del molde y a lo largo de la máquina de moldeo de inyección, se deben tomar medidas para reducir la presión necesaria en el llenado. Para ello, se debe incrementar el espesor de los puntos de inyección, los canales de colada y las piezas, así como aumentar las temperaturas de material y molde, o cambiar a un plástico con menor viscosidad.

Temperatura al final del llenado

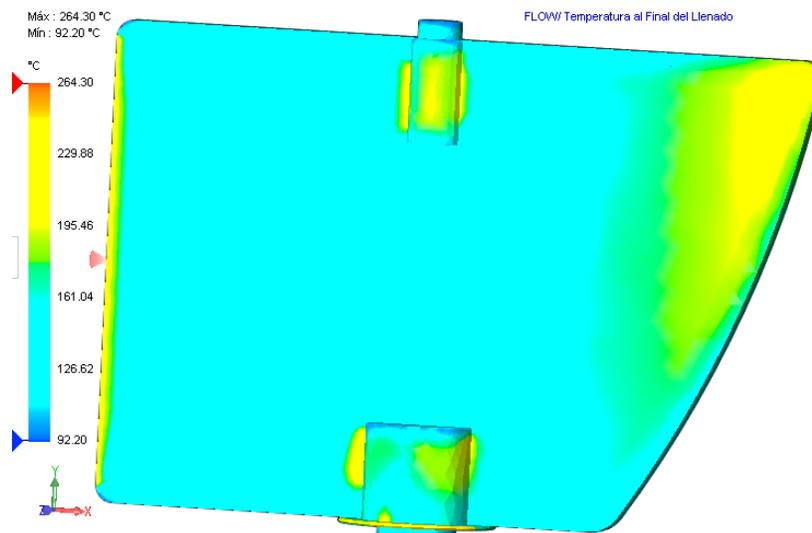


Figura 61. Temperatura al final del llenado.

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

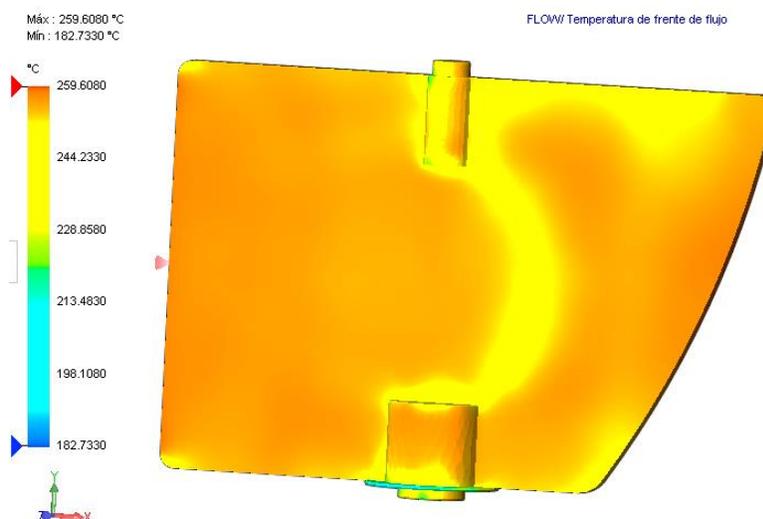


Figura 62. Temperatura de frente de flujo.

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

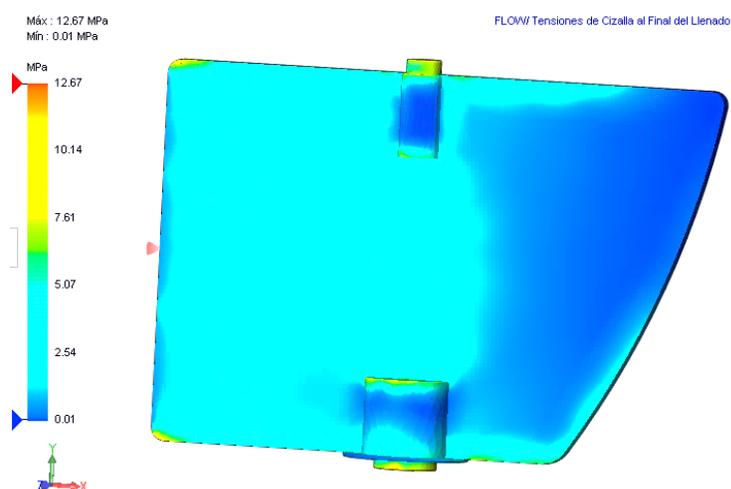


Figura 63. Cizallamiento al final del llenado

Facilidad de llenado

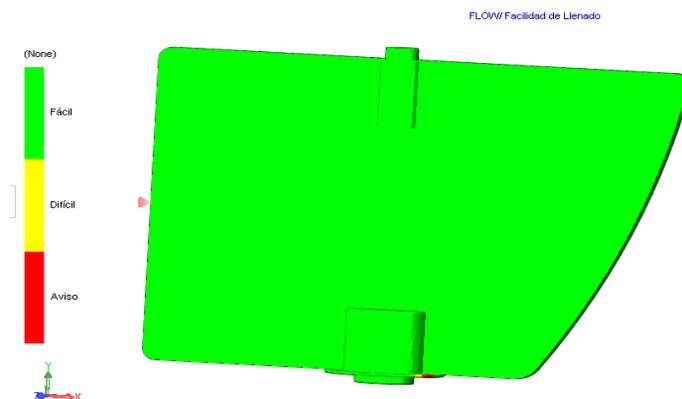


Figura 64. Facilidad del llenado

Para esta pieza la facilidad del llenado es fácil.

Simulación aleta geometría 1

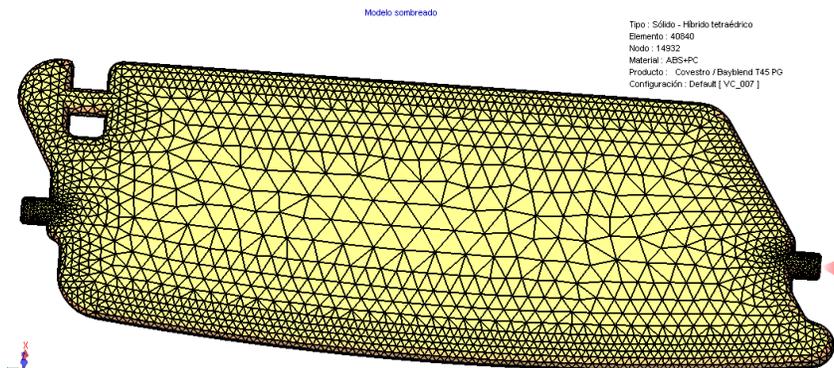


Figura 65. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero en una de las geometrías de las aletas que permiten redireccionar la salida del aire acondicionado.

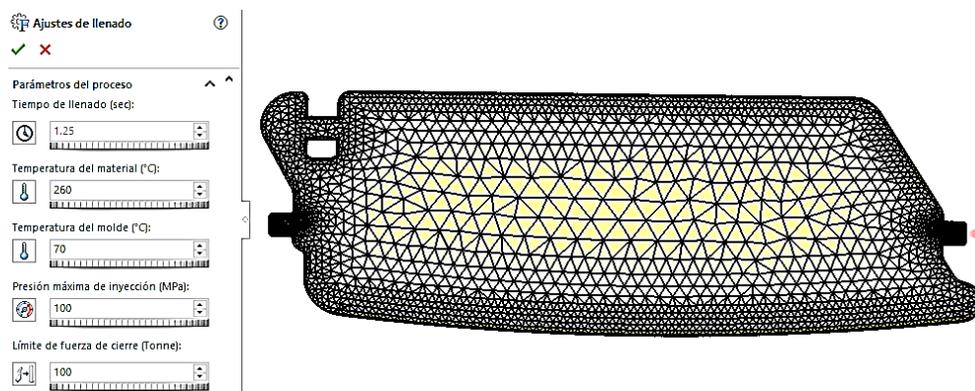


Figura 66. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

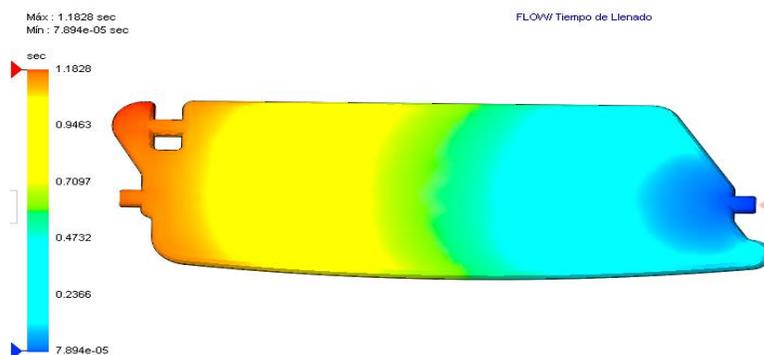


Figura 67. Tiempo de llenado

Para esta pieza el tiempo máximo de llenado es de 1.2 segundos

Presión al final del llenado

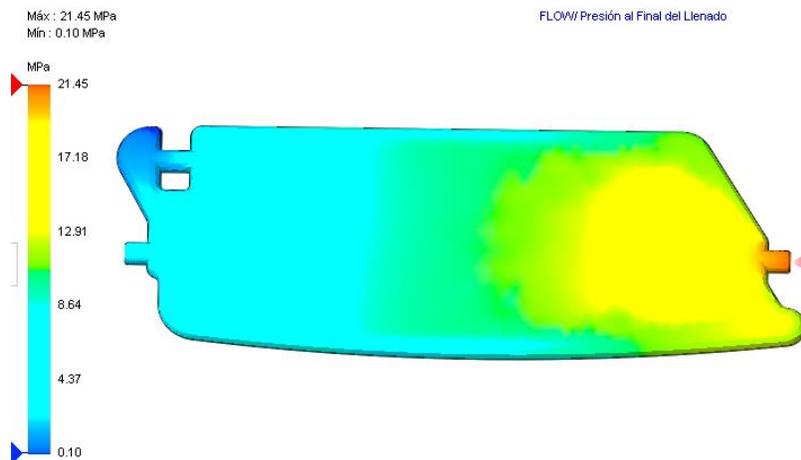


Figura 68. Presión al final del llenado

La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

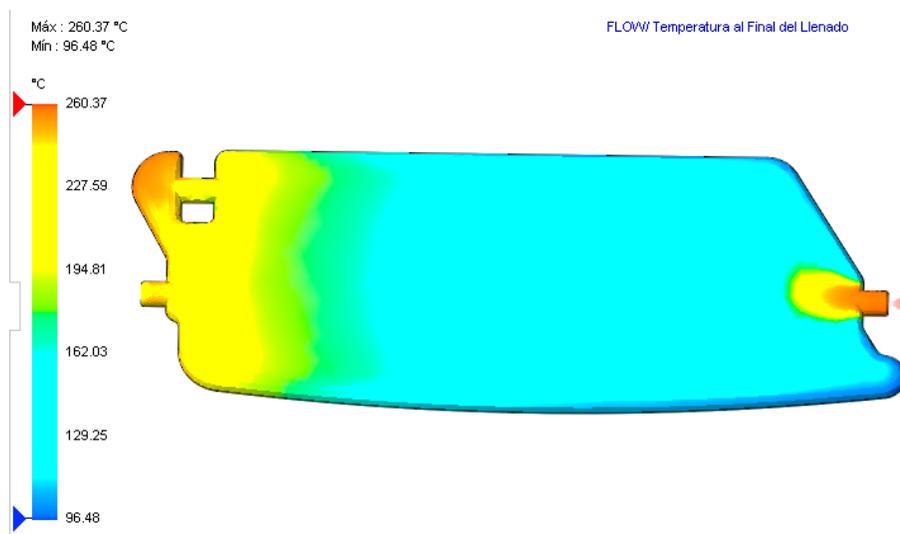


Figura 69. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura del frente de flujo

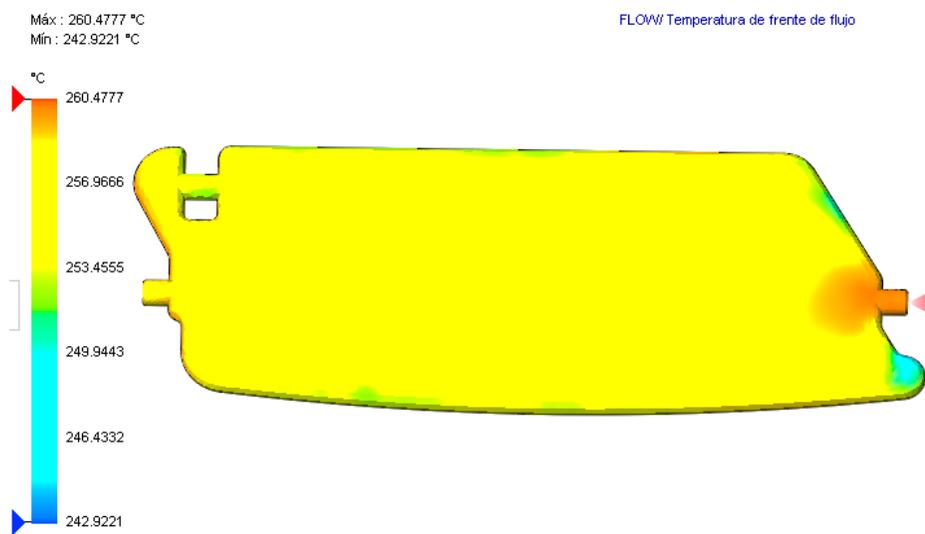


Figura 70. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

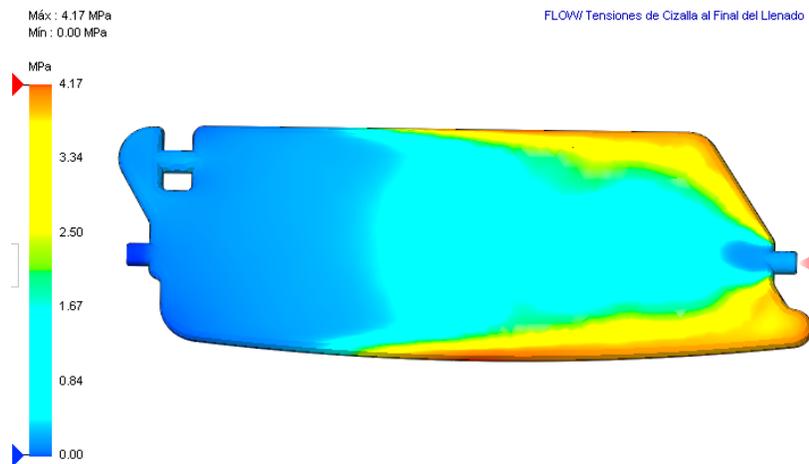


Figura 71. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

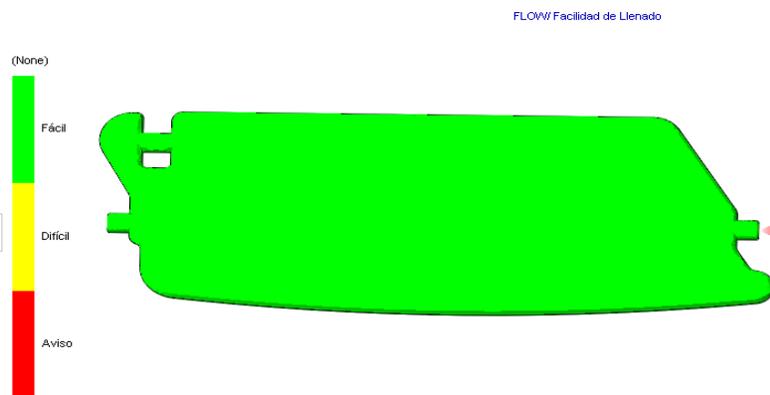


Figura 72. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil.

Simulación aleta geometría 2

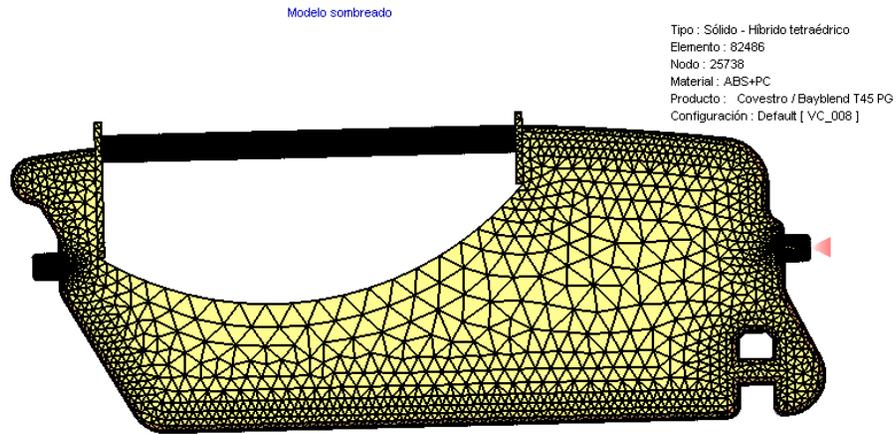


Figura 73. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero en una de las geometrías de las aletas que permiten redireccionar la salida del aire acondicionado.

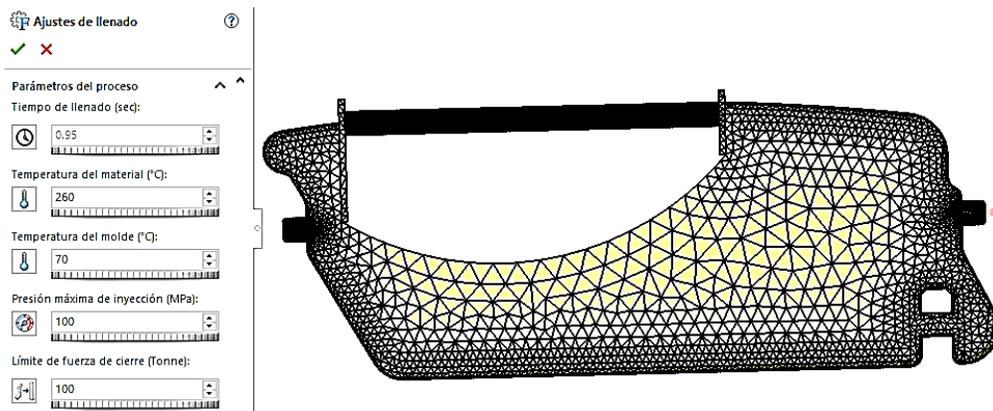


Figura 74. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

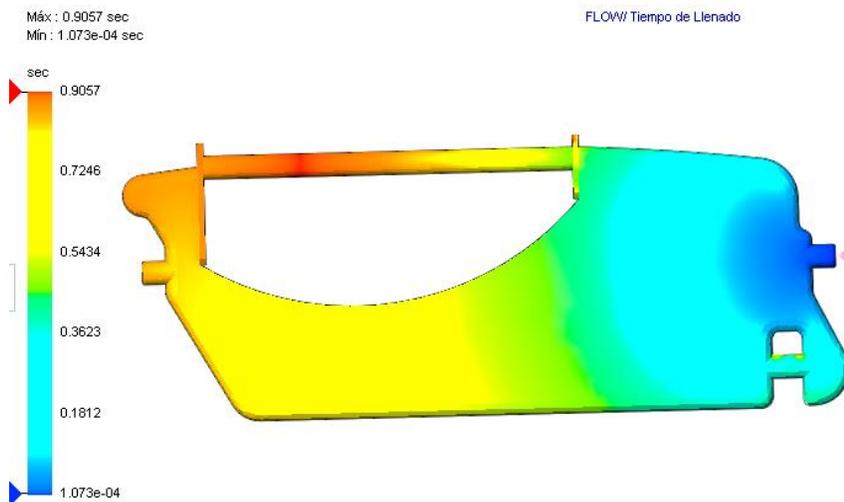


Figura 75. Tiempo de llenado

Para esta pieza el tiempo de llenado es de 1 segundo.

Presión al final del llenado

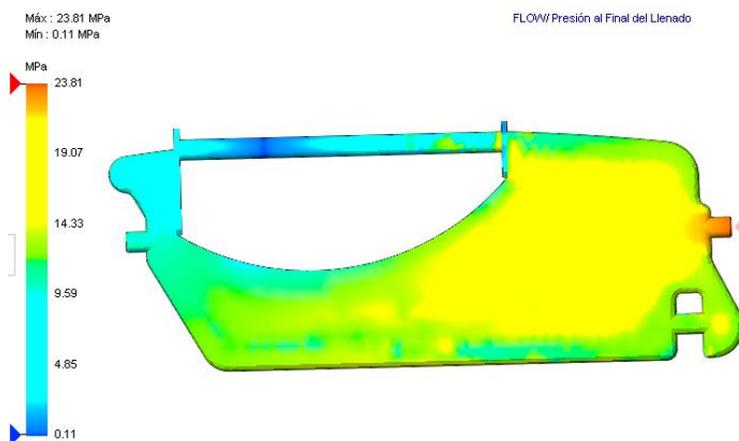


Figura 76. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 23.8 MPa (3454.42 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

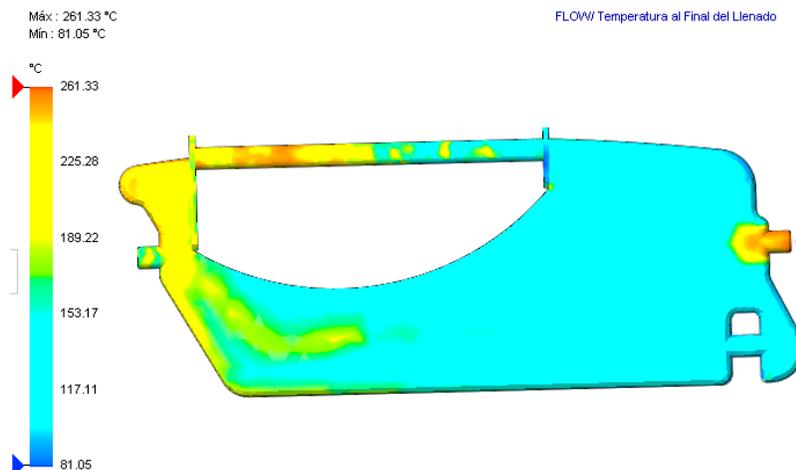


Figura 77. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

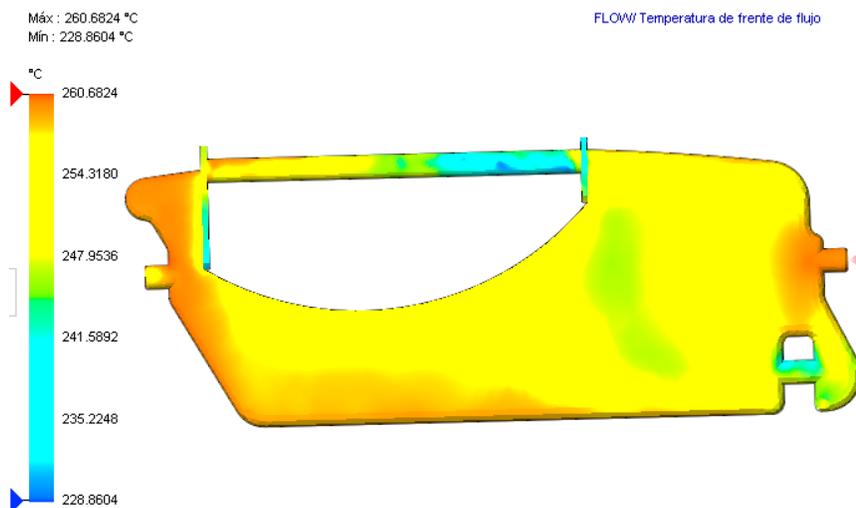


Figura 78. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el

empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

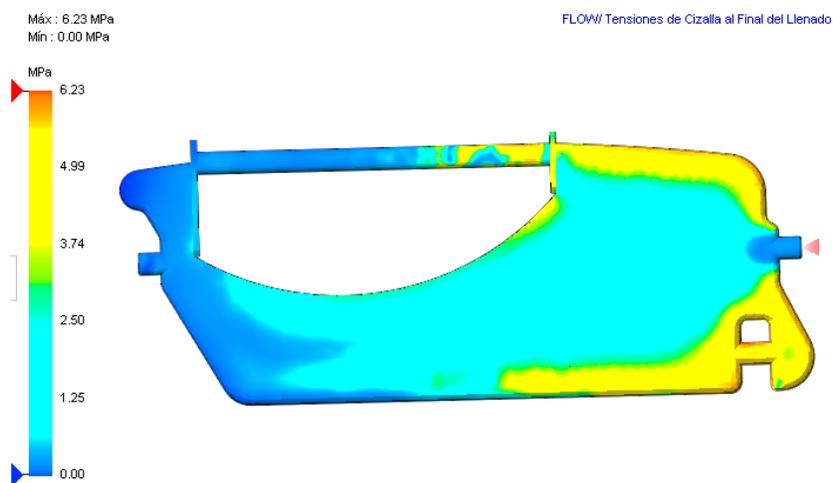


Figura 79. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de Llenado

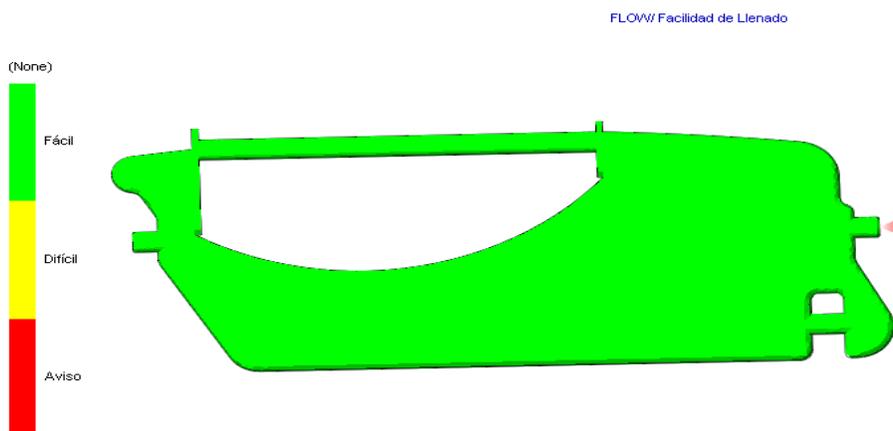


Figura 80. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil.

Simulación aleta geometría 3

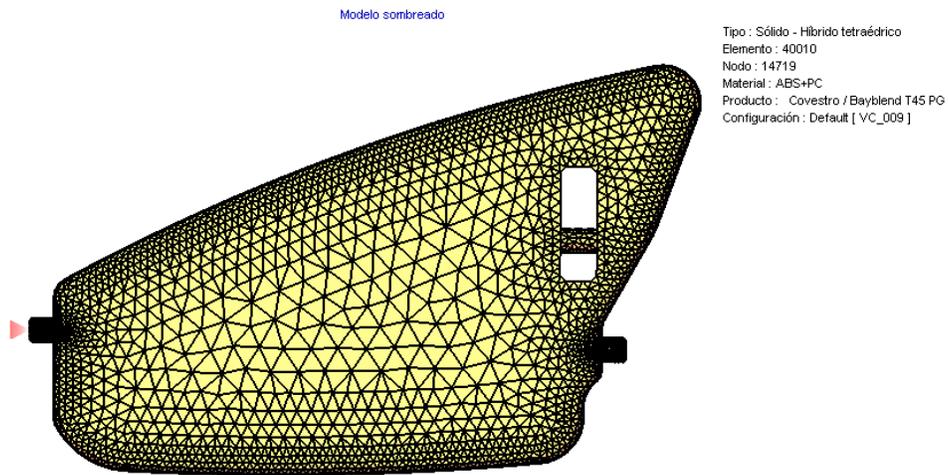


Figura 81. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero en una de las geometrías de las aletas que permiten redireccionar la salida del aire acondicionado.

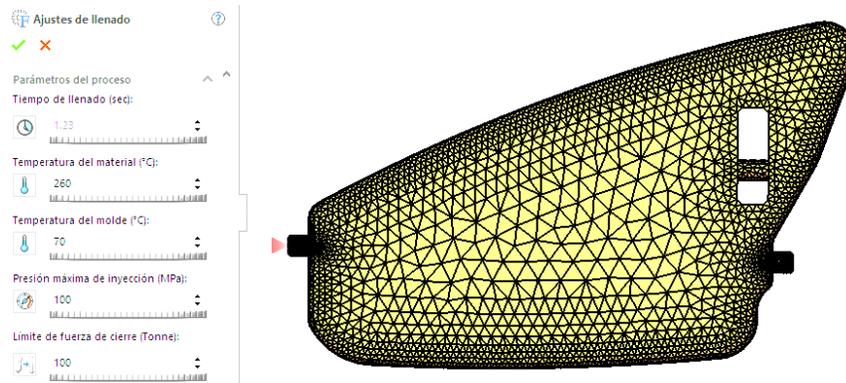


Figura 82. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

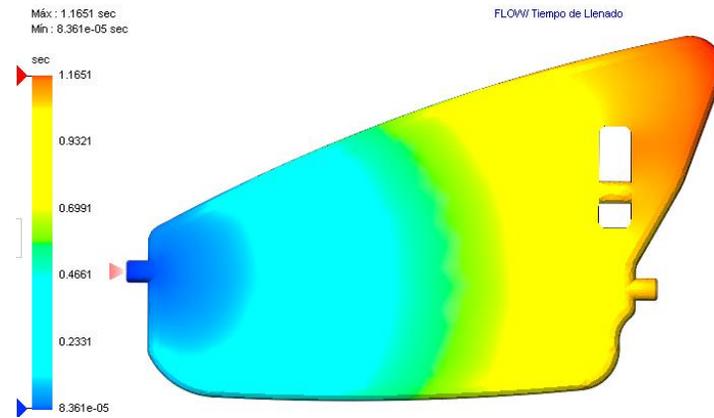


Figura 83. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.2 segundos

Presión al final del llenado

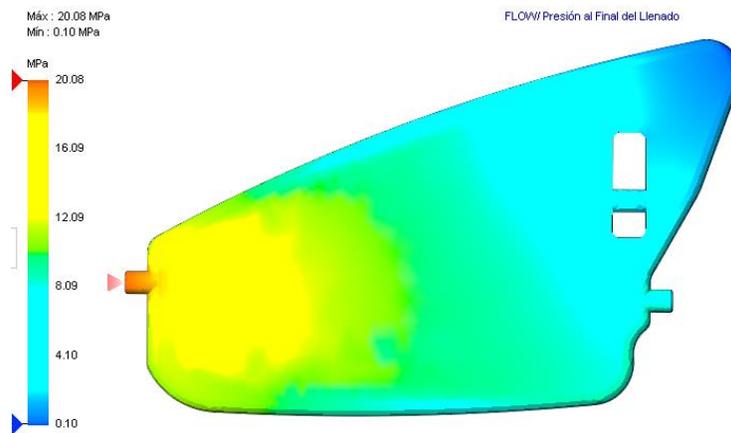


Figura 84. Presión al final del llenado.

La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

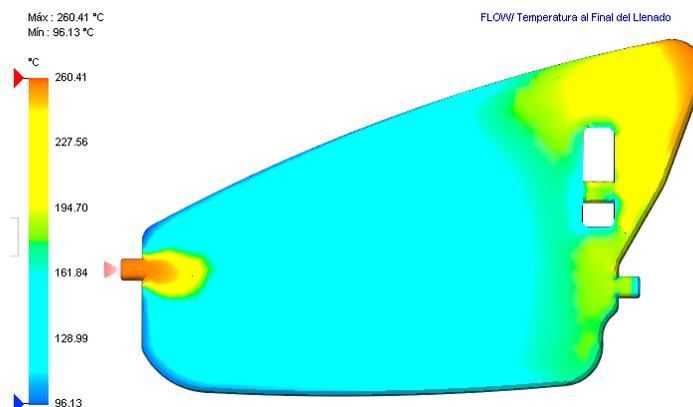


Figura 85. Temperatura al final del llenado.

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

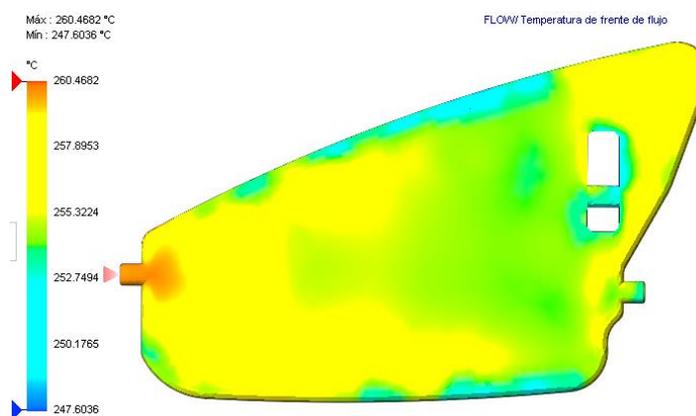


Figura 86. Temperatura de frente de flujo.

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se

reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

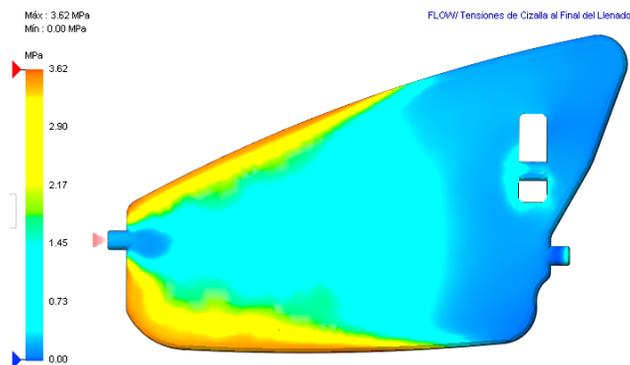


Figura 87. Cizallamiento al final del llenado.

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Simulación cavidad de entrada del aire acondicionado

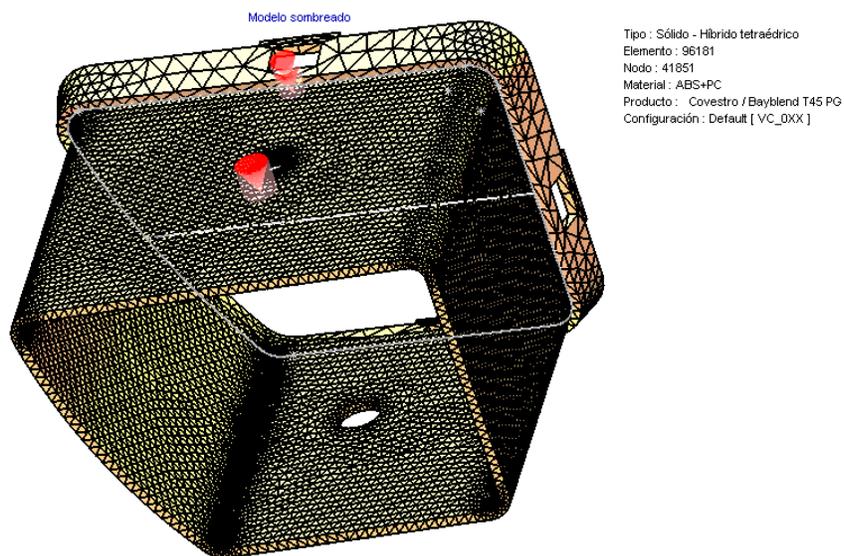


Figura 88. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza que va a la entrada del aire acondicionado.

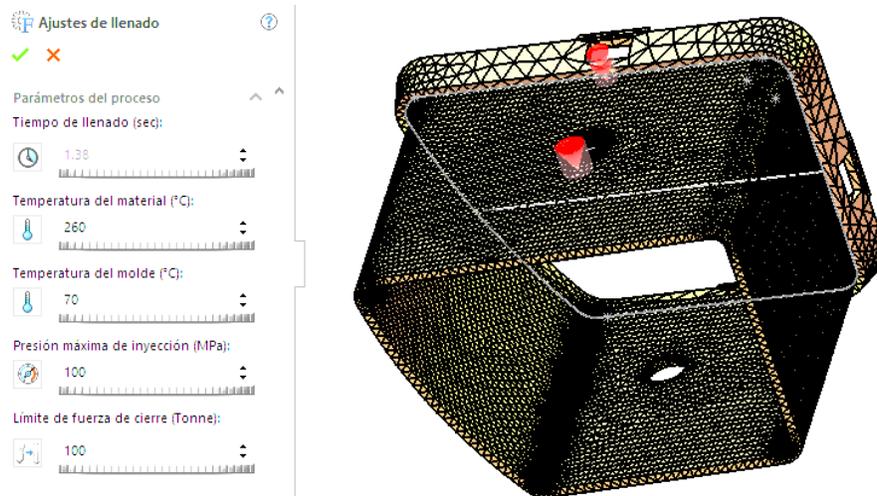


Figura 89. Ajustes de llenado.

Tiempo de llenado

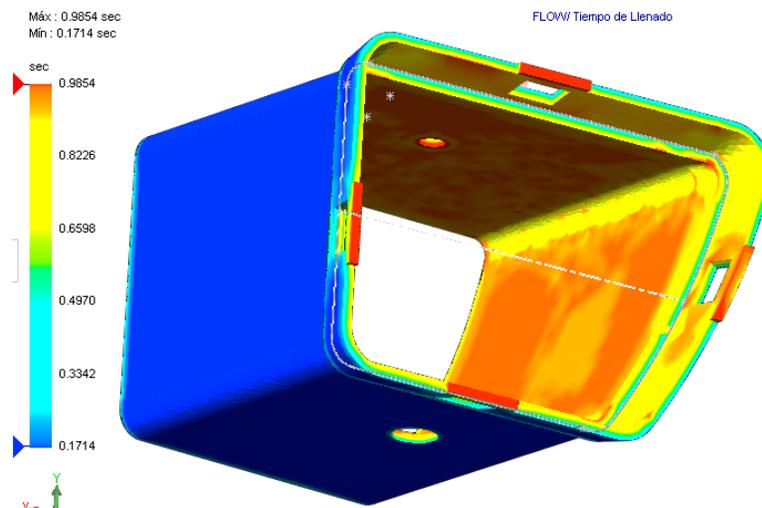


Figura 90. Tiempo de llenado.

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.2 segundos.

Presión al final del llenado

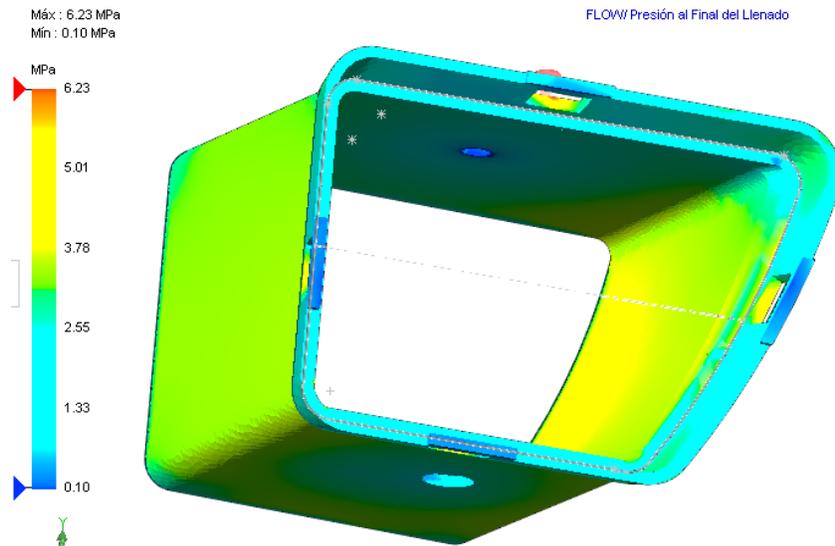


Figura 91. Presión al final del llenado.

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 6.2 MPa (904.50 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

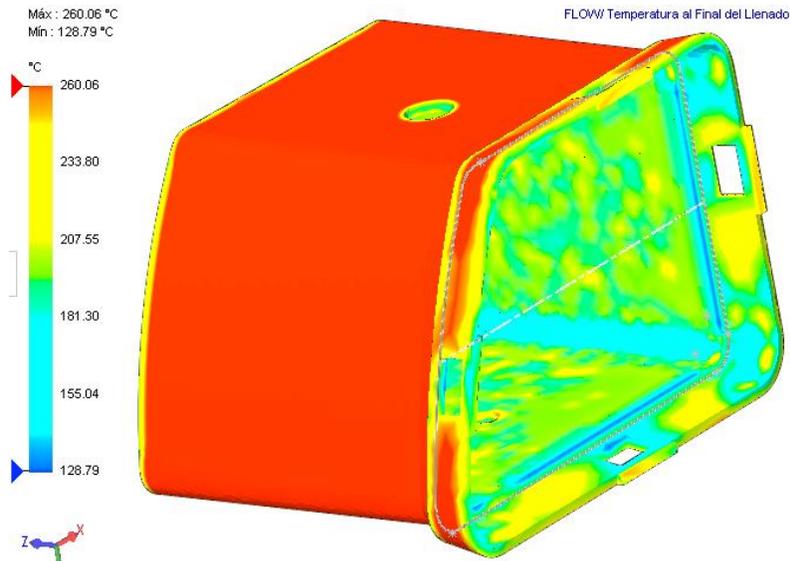


Figura 92. Temperatura al final del llenado.

Temperatura de frente de flujo

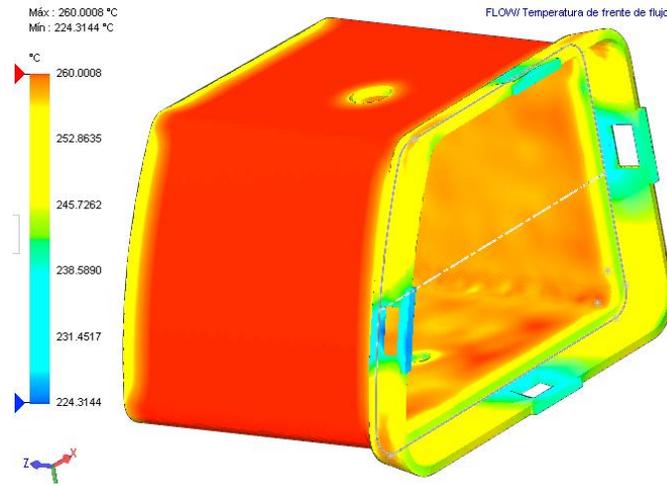


Figura 93. Temperatura de frente de flujo.

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de ± 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

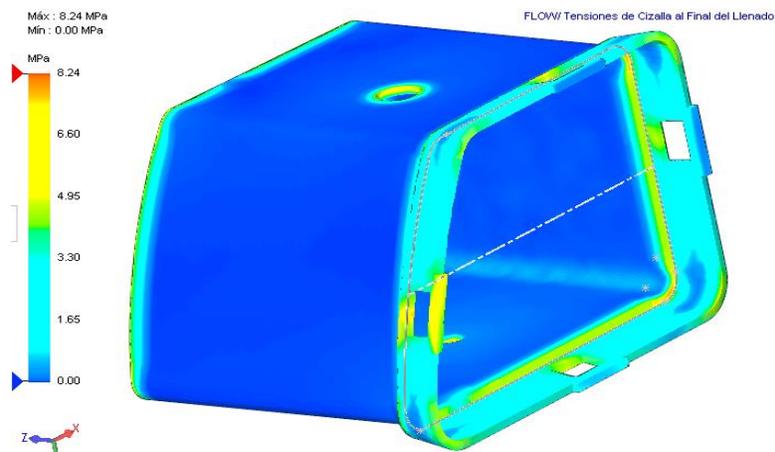


Figura 94. Cizallamiento al final del llenado.

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

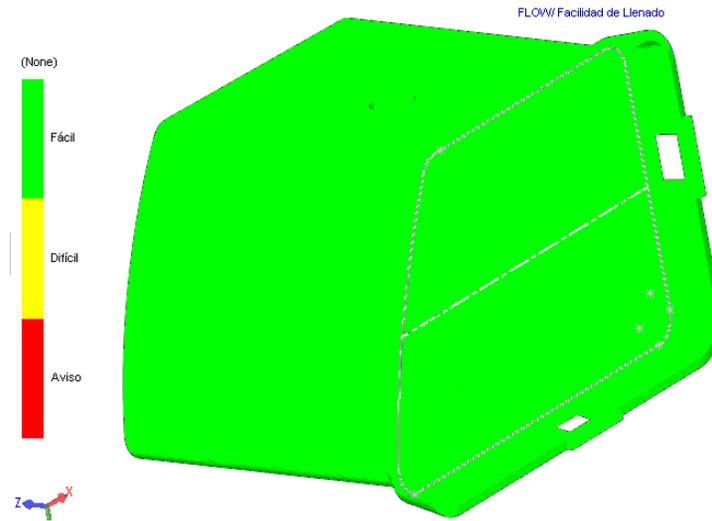


Figura 95. Facilidad del llenado.

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil.

Simulación de la pieza donde se alojan las aletas que regulan la dirección del aire acondicionado

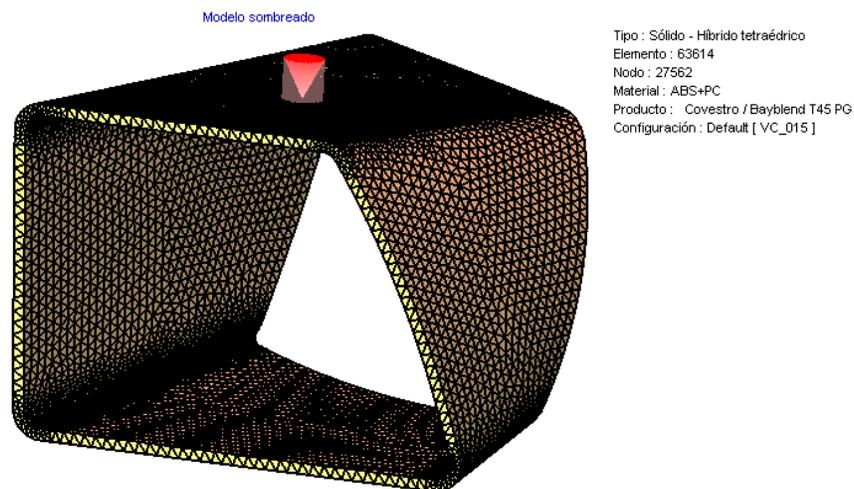


Figura 96. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza en la que se van a alojar las aletas que regulan la dirección a la salida del aire acondicionado.

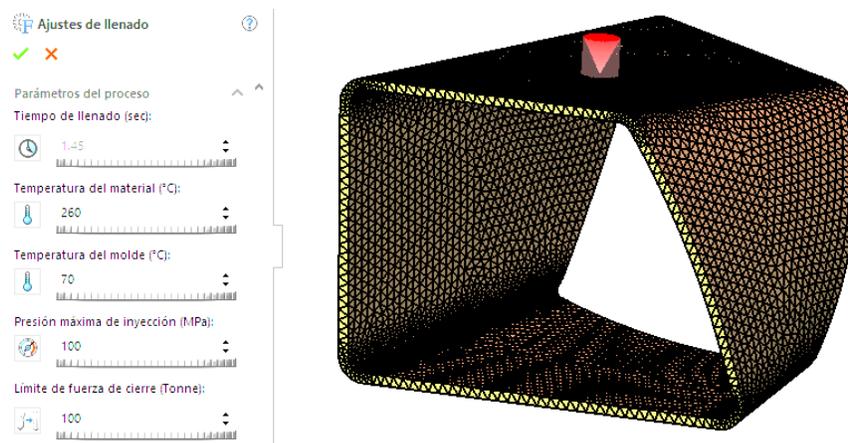


Figura 97. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

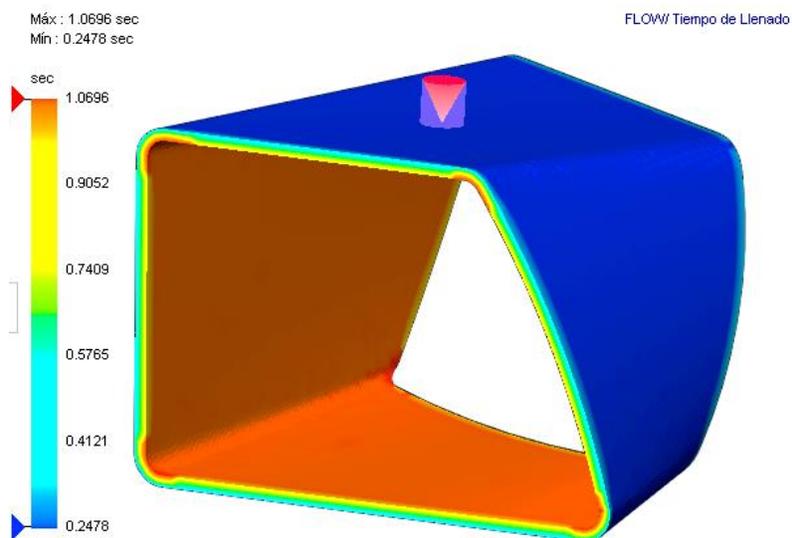


Figura 98. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.2 segundos.

Presión al final del llenado

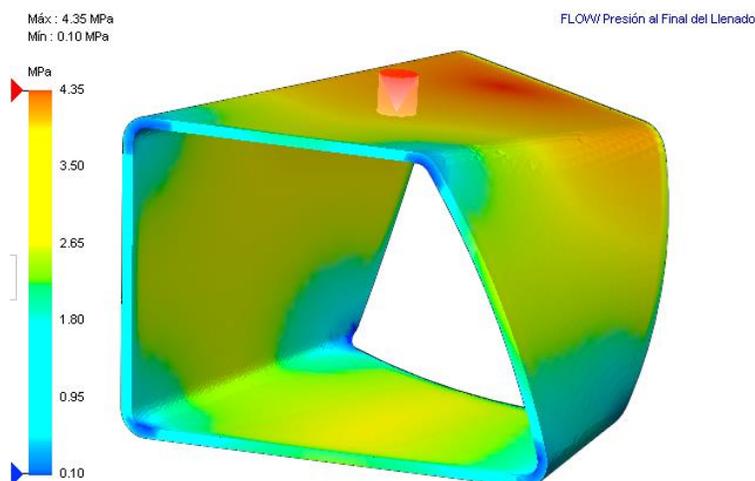


Figura 99. Presión al final del llenado.

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 4.4 MPa (631.48 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

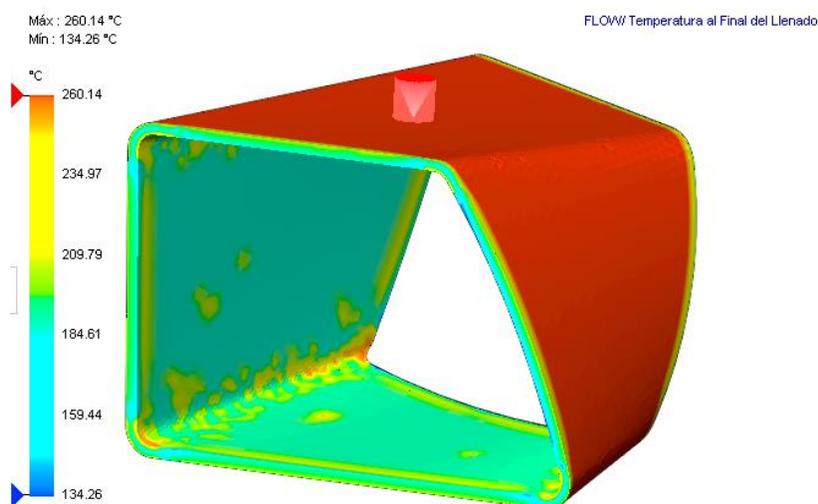


Figura 100. Temperatura al final del llenado.

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

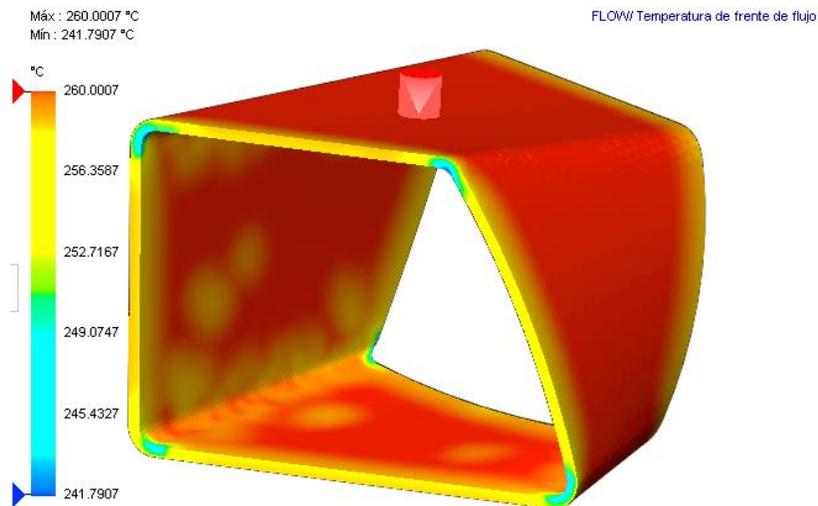


Figura 101. Temperatura de frente de flujo.

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

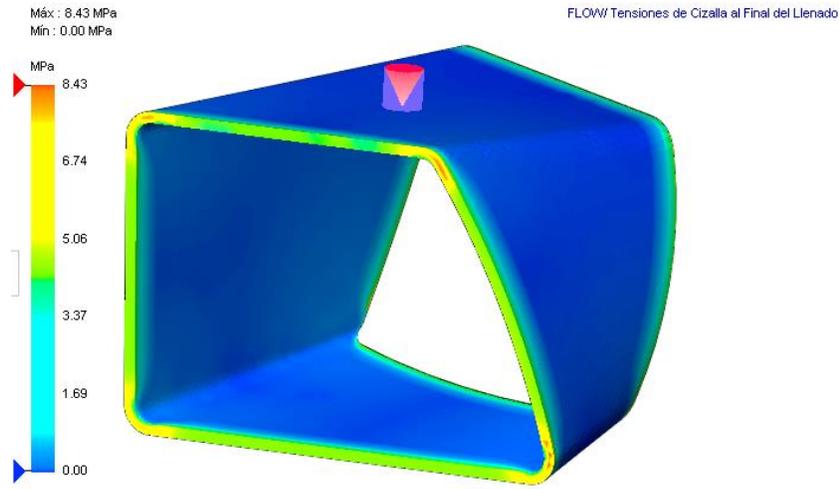


Figura 102. Cizallamiento al final del llenado.

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

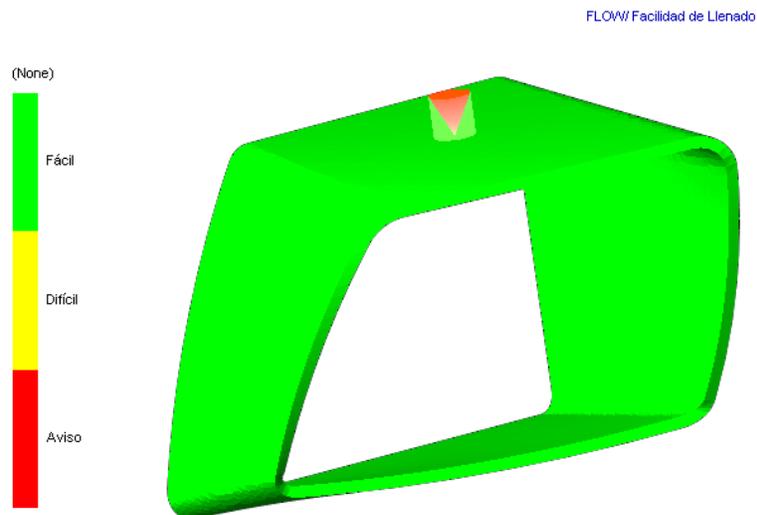


Figura 103. Facilidad del llenado.

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil.

Simulación de los elementos de la rejilla de ventilación con el material compuesto PBT con 30% de fibra de vidrio

Ingresamos los valores al programa de SolidWorks en función a los datos consultas para el PBT con 30% de fibra de vidrio.

Simulación de la mascarilla de protección de la rejilla de ventilación

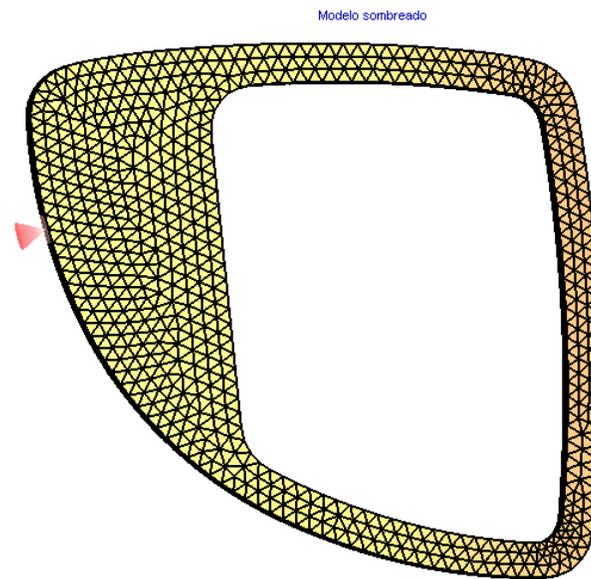


Figura 104. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.

Datos para la simulación del llenado de la mascarilla de protección de la rejilla de ventilación con el polímero PBT con 30% de fibra de vidrio

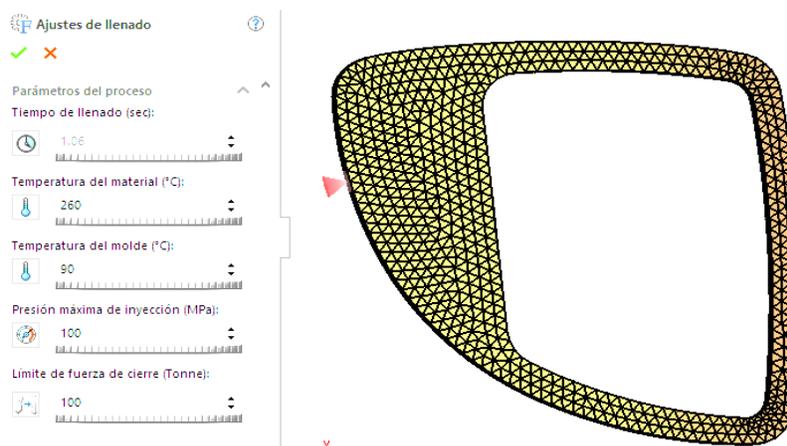


Figura 105. Ajustes de llenado.

Tiempo de llenado

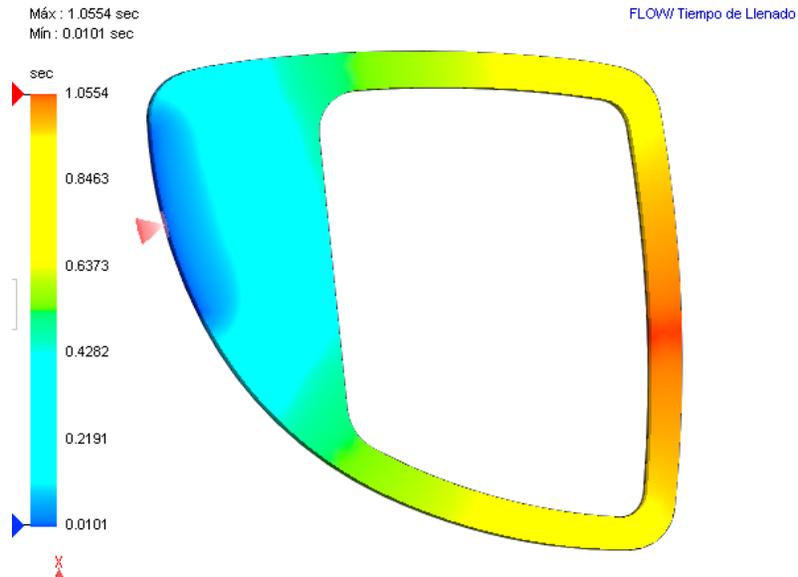


Figura 106. Tiempo de llenado.

Para esta pieza el tiempo de llenado es de 1.1 segundos.

Presión al final del llenado

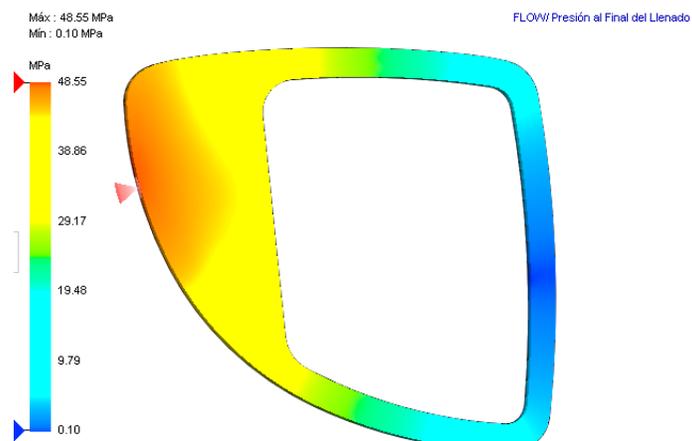


Figura 107. Presión al final del llenado.

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 48.6 MPa (7043.82 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de

inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

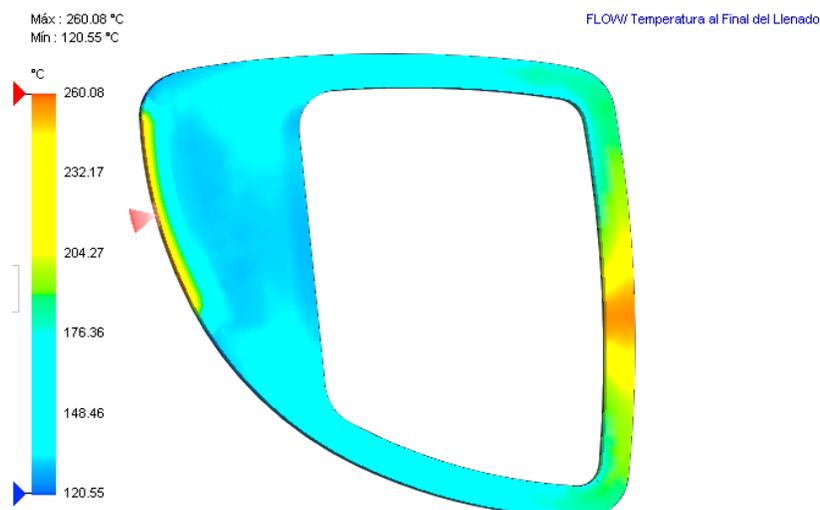


Figura 108. Temperatura al final del llenado.

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura del frente de flujo

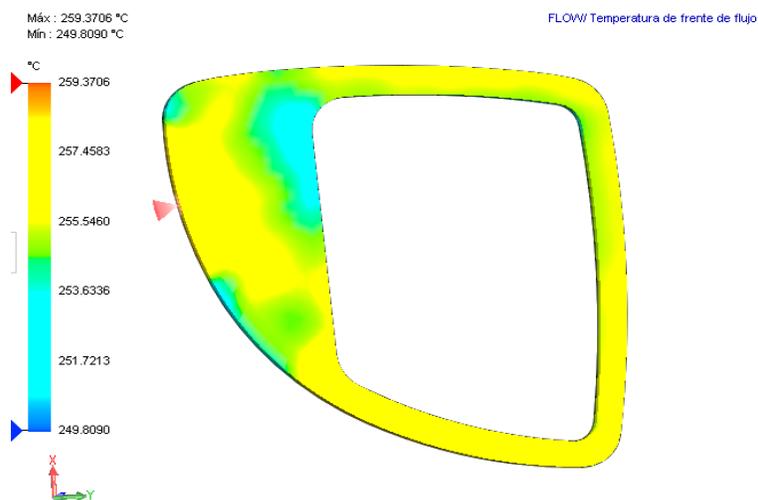


Figura 109. Temperatura de frente de flujo.

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de ± 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

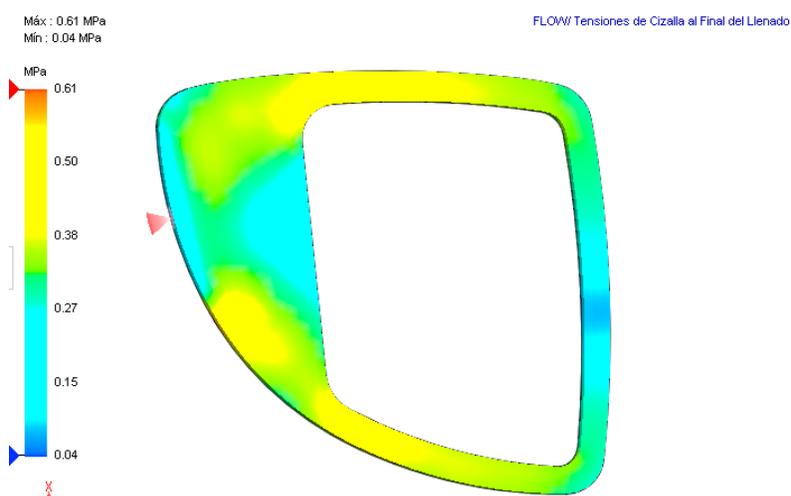


Figura 110. Cizallamiento al final del llenado.

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

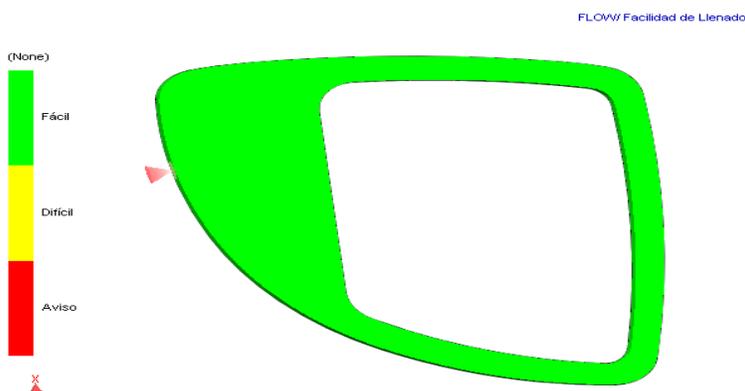


Figura 111. Facilidad del llenado.

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil.

Simulación aleta reguladora de paso de aire acondicionado

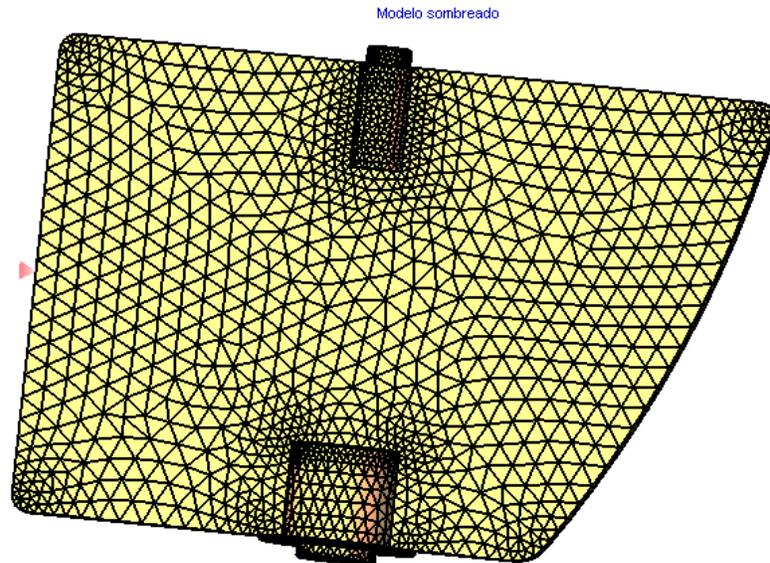


Figura 112. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.

Datos para la simulación del llenado del polímero en la aleta de regulación del paso del material

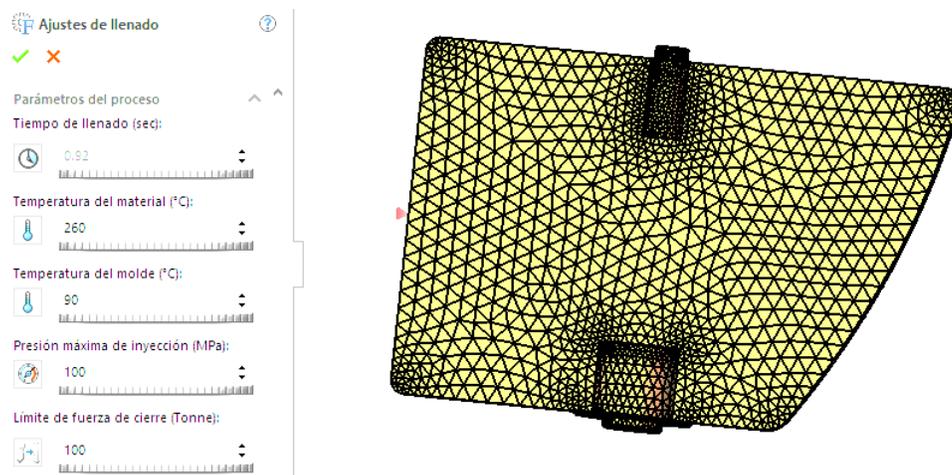


Figura 113. Ajustes de llenado.

Tiempo de llenado

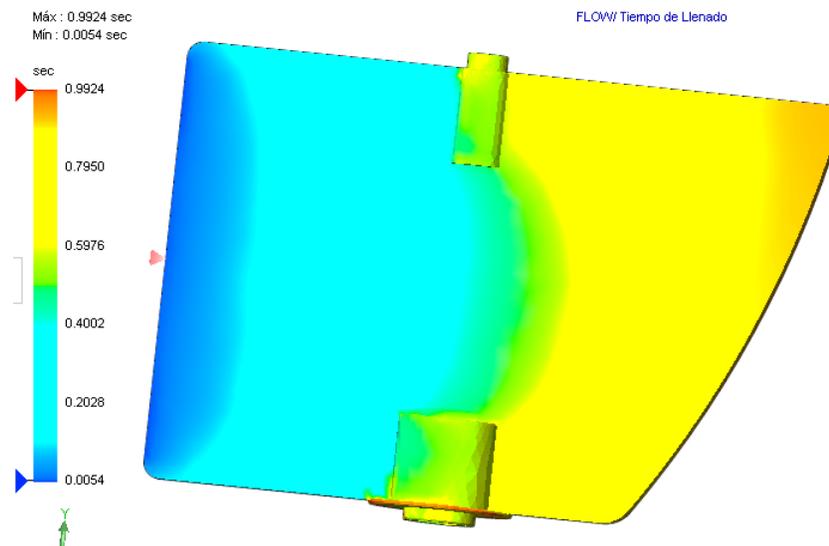


Figura 114. Tiempo de llenado.

Para esta pieza el tiempo de llenado con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio, es de 1.1 segundos

Presión de llenado

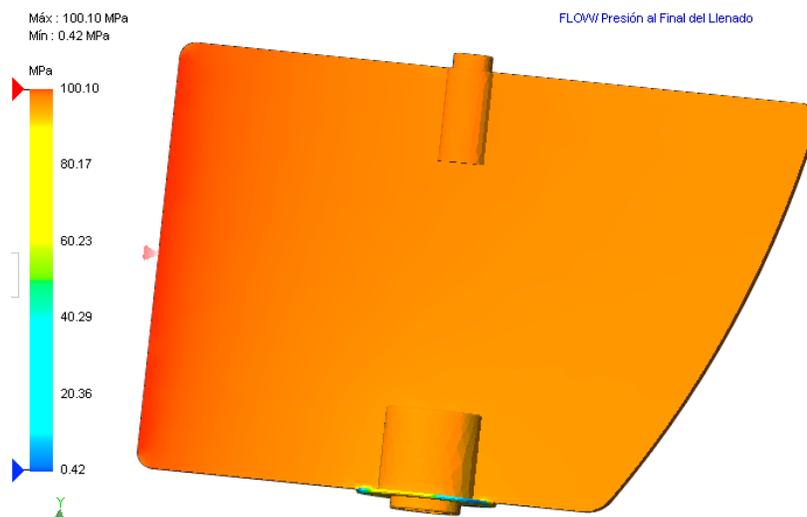


Figura 115. Presión al final del llenado.

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 100.1 MPa (14521.93 psi). La presión de inyección necesaria es superior al 90% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Lo más probable es que esto cause problemas de llenado y empaquetado en la máquina de moldeo. Se deben tomar medidas para reducir la presión de inyección necesaria, como el aumento del espesor de los puntos de inyección, los canales de colada y las piezas, así como de las temperaturas de material y molde, o cambiar a un plástico con menor viscosidad.

Temperatura al final del llenado

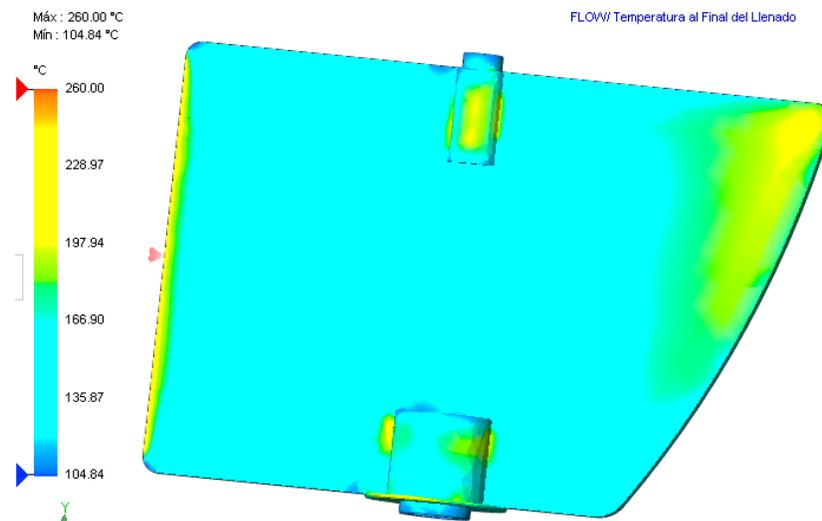


Figura 116. Temperatura al final del llenado.

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura del frente de flujo

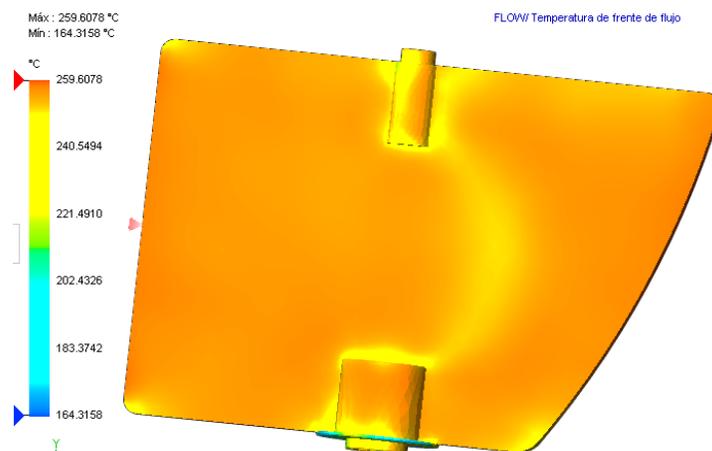


Figura 117. Temperatura de frente de flujo.

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de ± 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

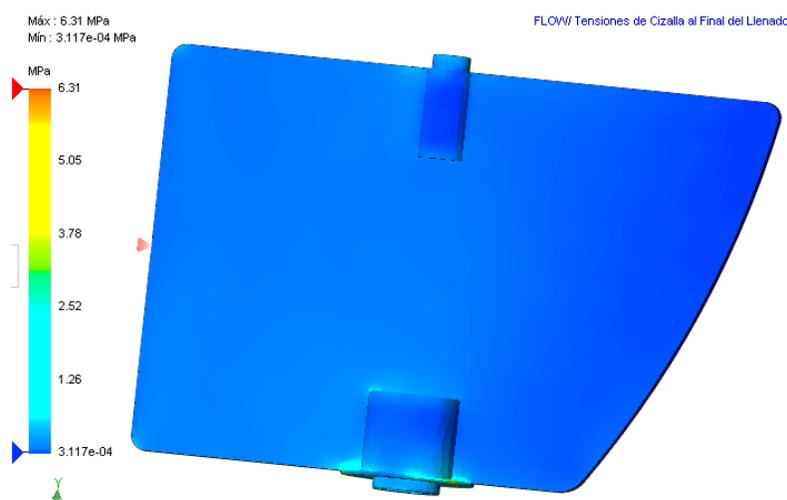


Figura 118. Cizallamiento al final del llenado.

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad del llenado

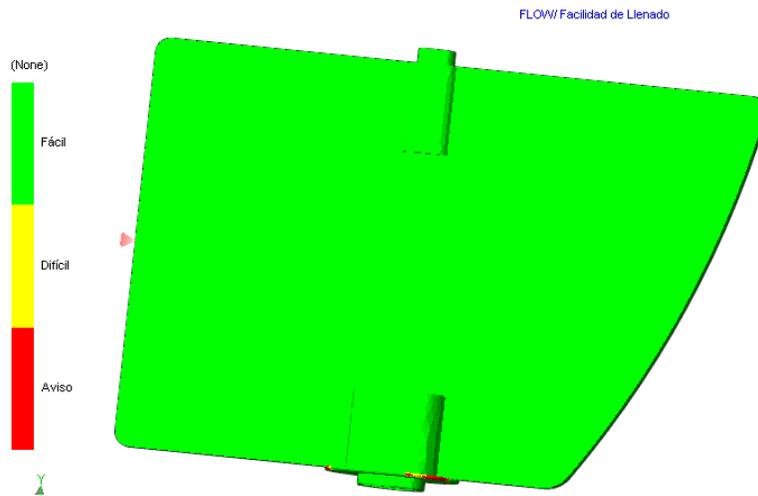


Figura 119. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio.

Simulación aleta geometría 1 (PBT-30% fibra de vidrio)

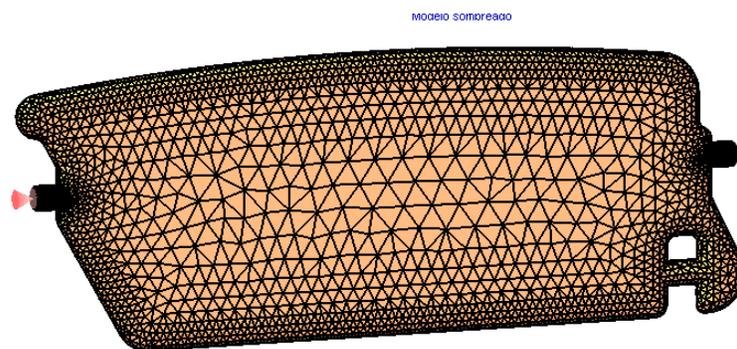


Figura 120. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido.

Datos para la simulación del llenado del polímero en la aleta 1

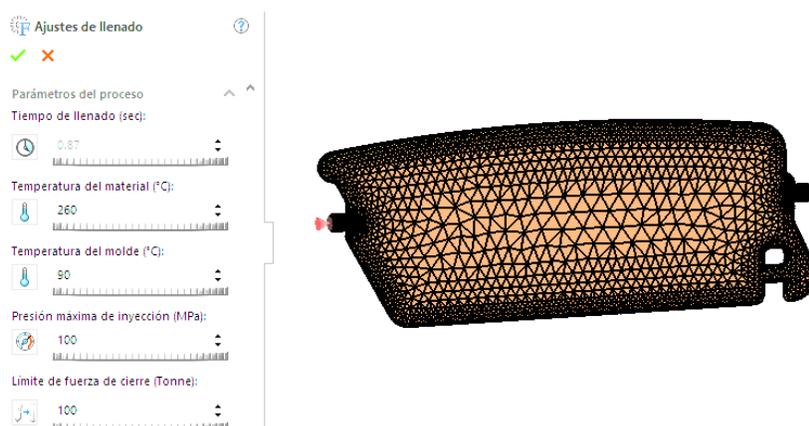


Figura 121. Ajustes de llenado.

Tiempo de llenado

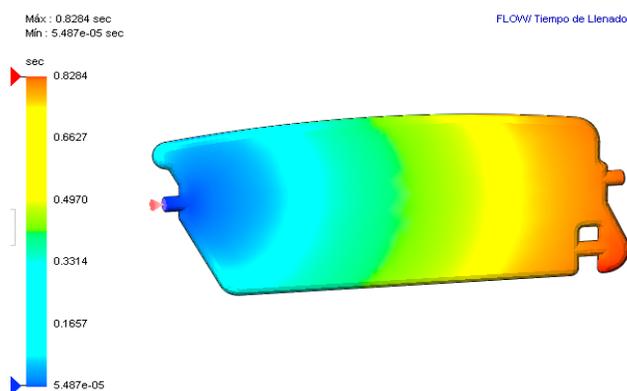


Figura 122. Tiempo de llenado.

Para esta pieza el tiempo de llenado con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio, es de 0.9 segundos.

Presión al final del llenado

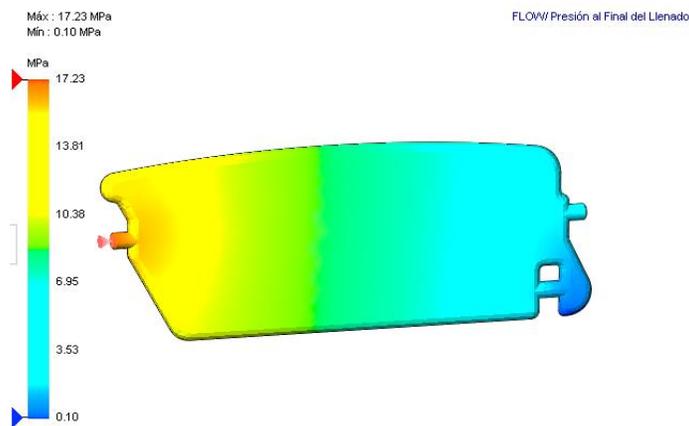


Figura 123. Presión al final del llenado.

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 17.2 MPa (2500.03 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

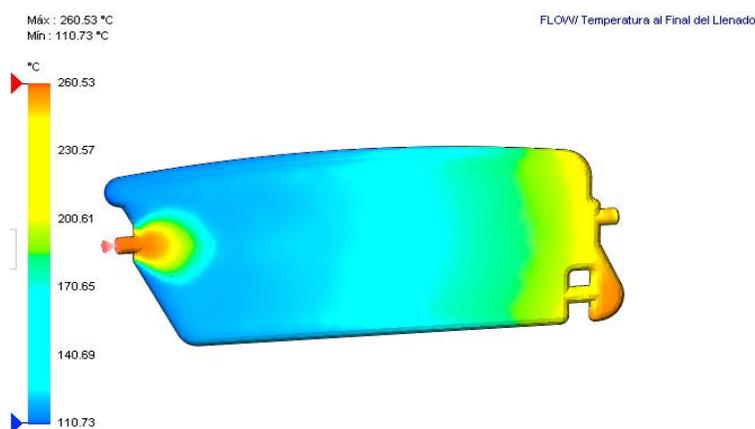


Figura 124. Temperatura al final del llenado.

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura del frente de flujo

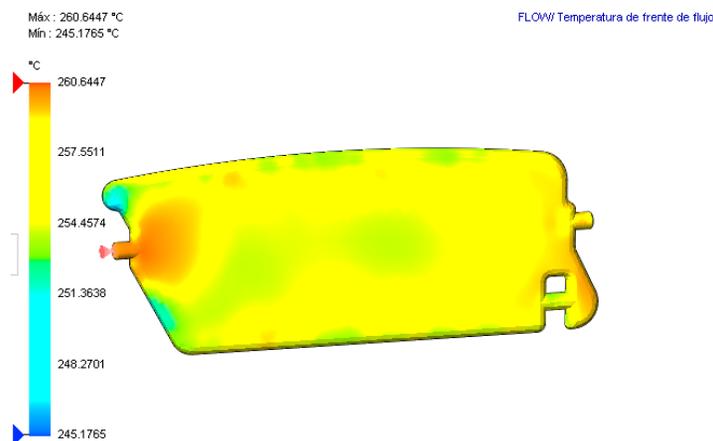


Figura 125. Temperatura de frente de flujo.

La temperatura de material de frente de flujo está dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

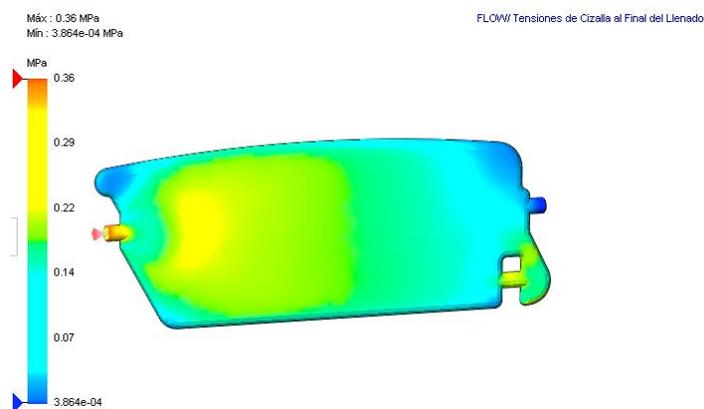


Figura 126. Cizallamiento al final del llenado.

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad del llenado

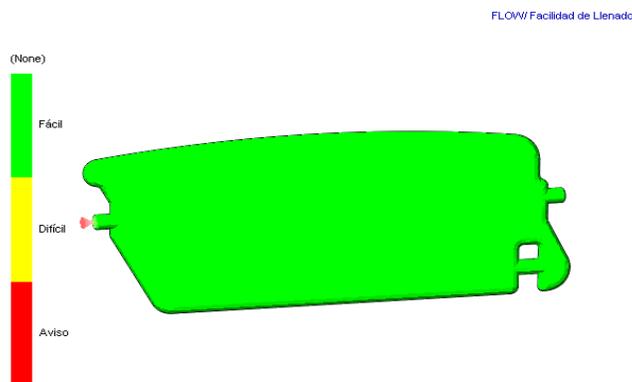


Figura 127. Facilidad del llenado.

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio.

Simulación aleta geometría 2 (PBT-30% fibra de vidrio)

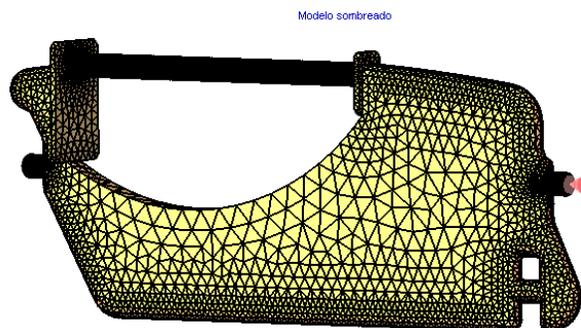


Figura 128. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero en la aleta 2

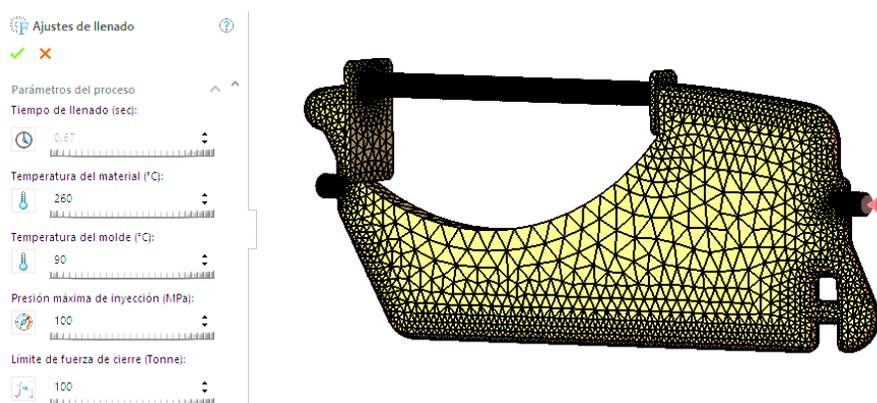


Figura 129. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

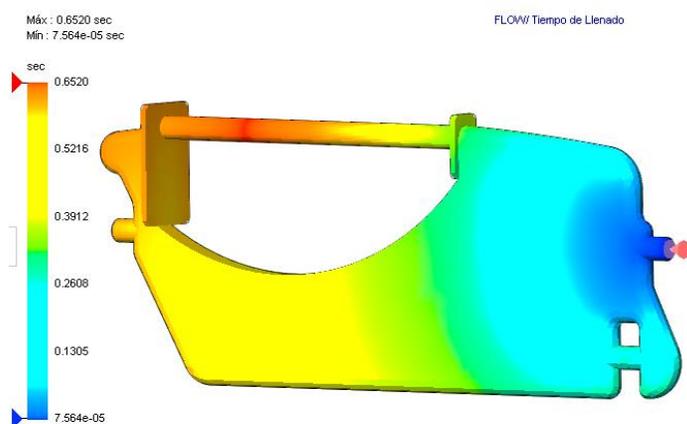


Figura 130. Tiempo de llenado

Para esta pieza el tiempo de llenado con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio, es de 0.7 segundos.

Presión al final del llenado

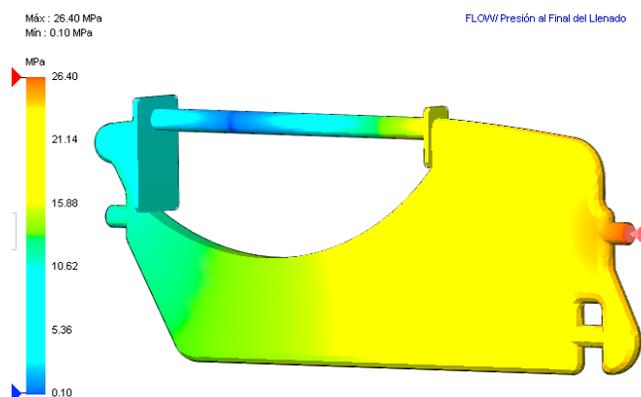


Figura 131. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 26.4 MPa (3830.15 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

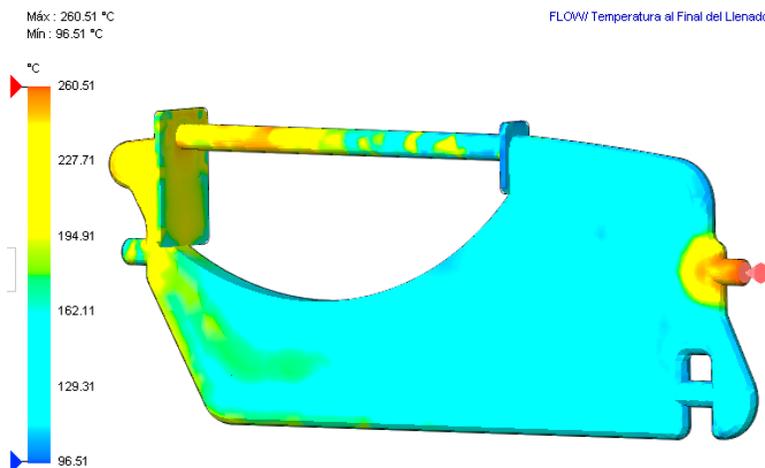


Figura 132. Temperatura al final del llenado

La temperatura máxima al final del llenado no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

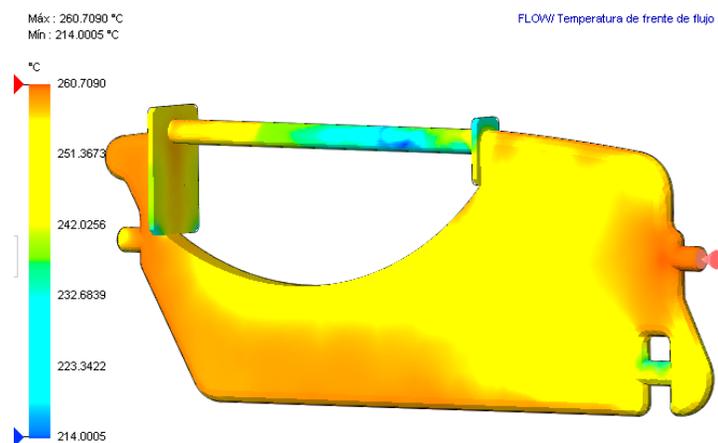


Figura 133. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

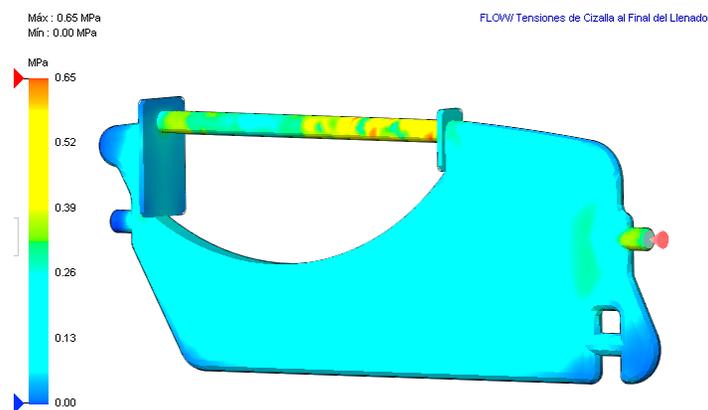


Figura 134. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad del llenado

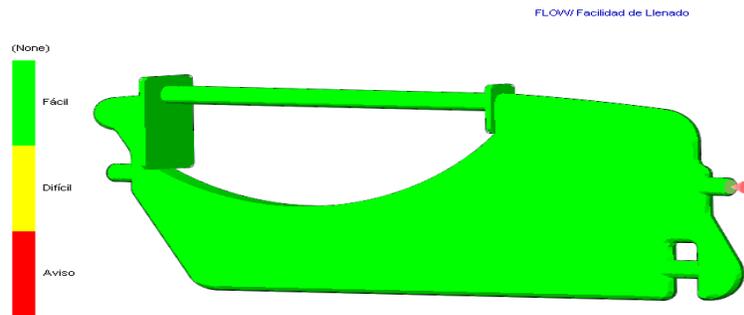


Figura 135. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio.

Simulación aleta geometría 2 (PBT-30% fibra de vidrio)

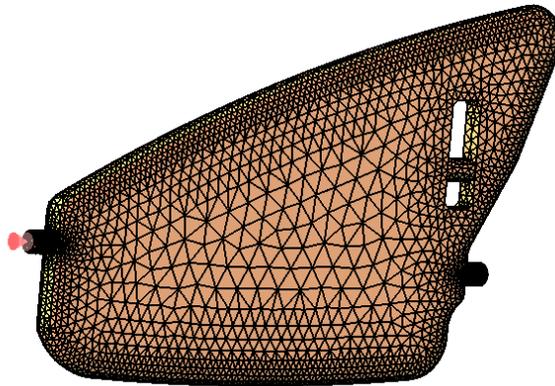


Figura 136. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero en la aleta 2

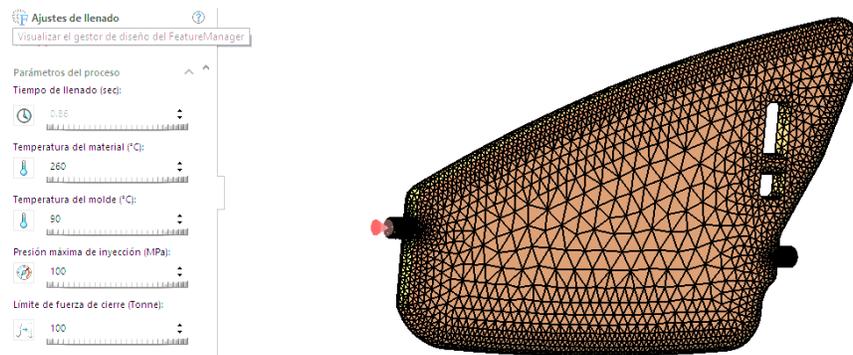


Figura 137. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

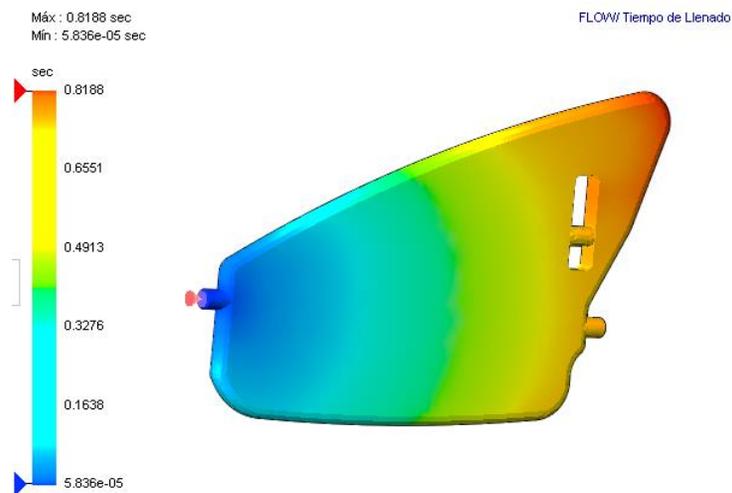


Figura 138. Tiempo de llenado

Para esta pieza el tiempo de llenado con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio, es de 0.7 segundos.

Presión al final del llenado



Figura 139. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 15.8 MPa (2294.43 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

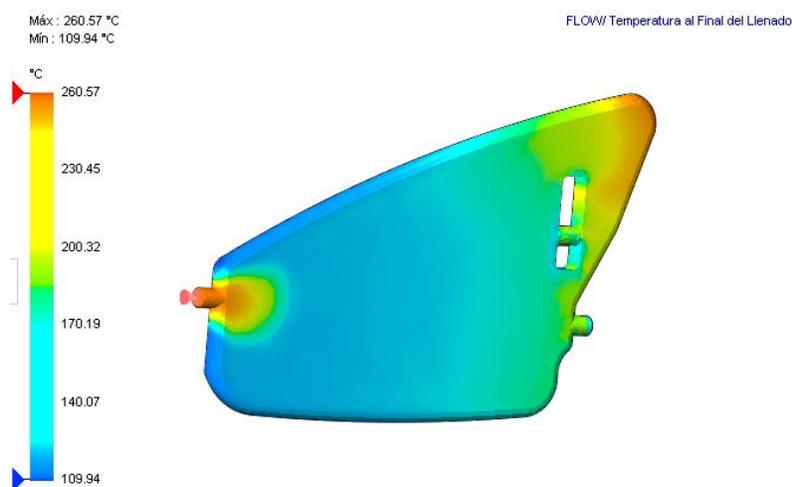


Figura 140. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura del frente de flujo

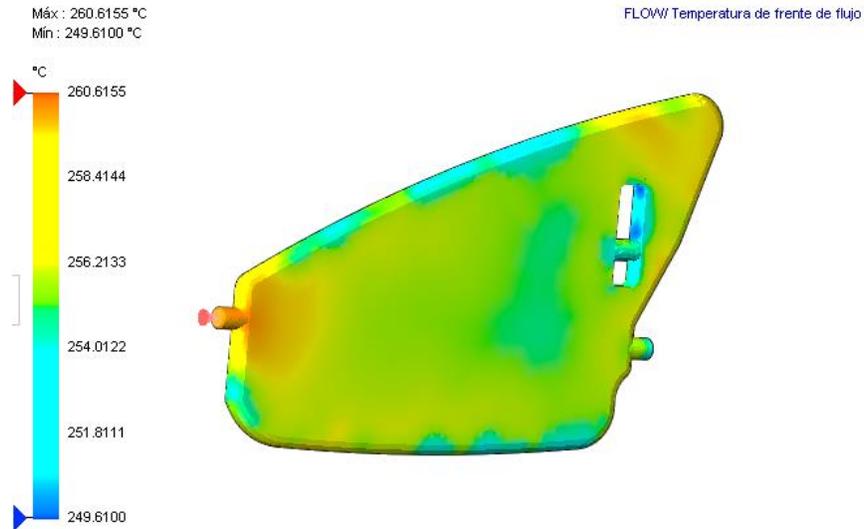


Figura 141. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

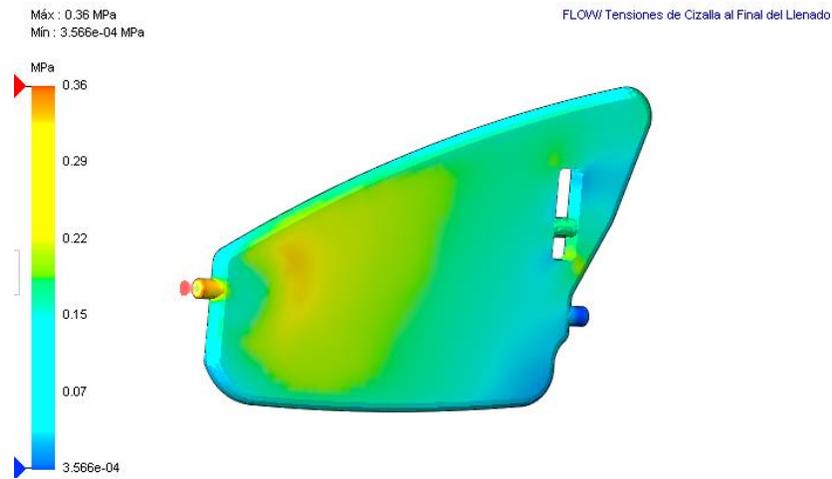


Figura 142. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad del llenado

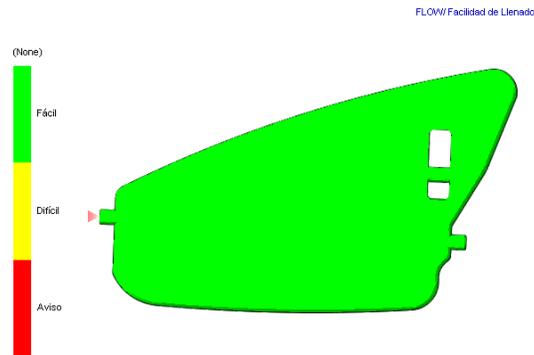


Figura 143. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio.

Simulación cavidad de entrada del aire acondicionado

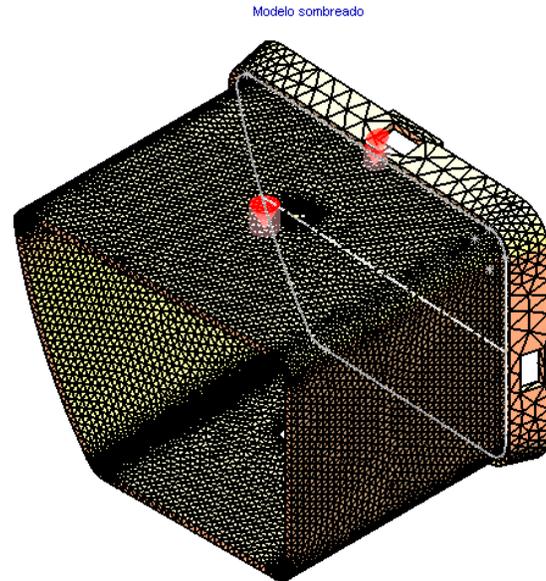


Figura 144. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza que va a la entrada del aire acondicionado.

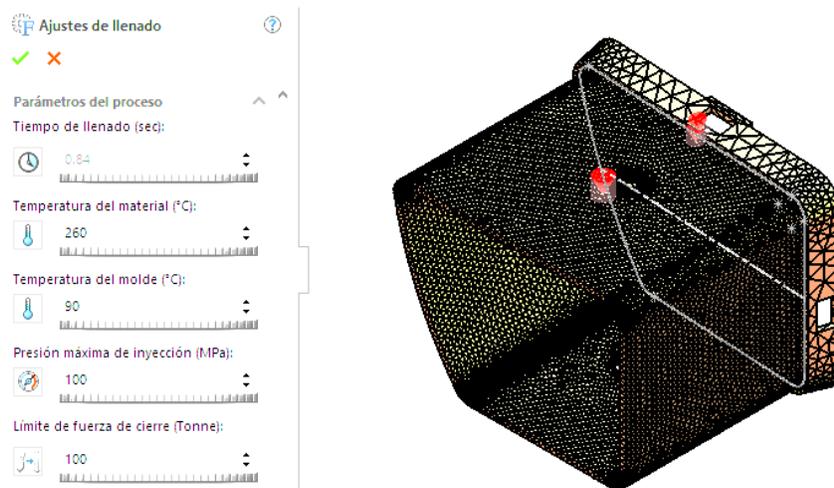


Figura 145. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

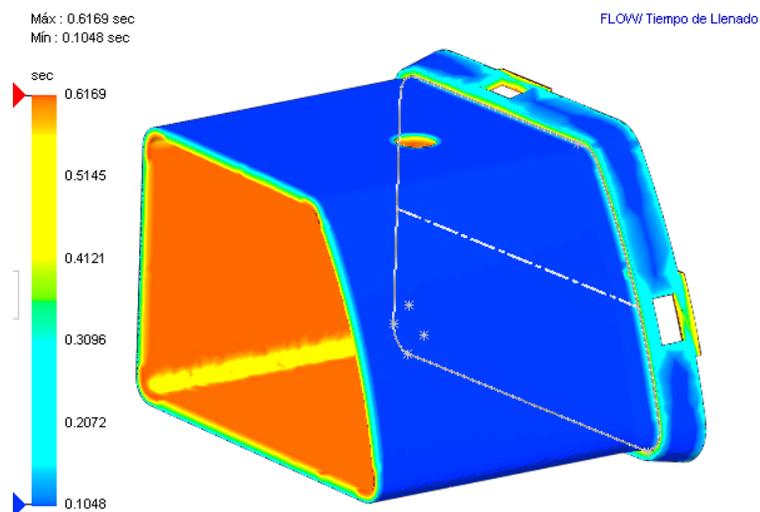


Figura 146. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 0.6 segundos

Presión al final del llenado

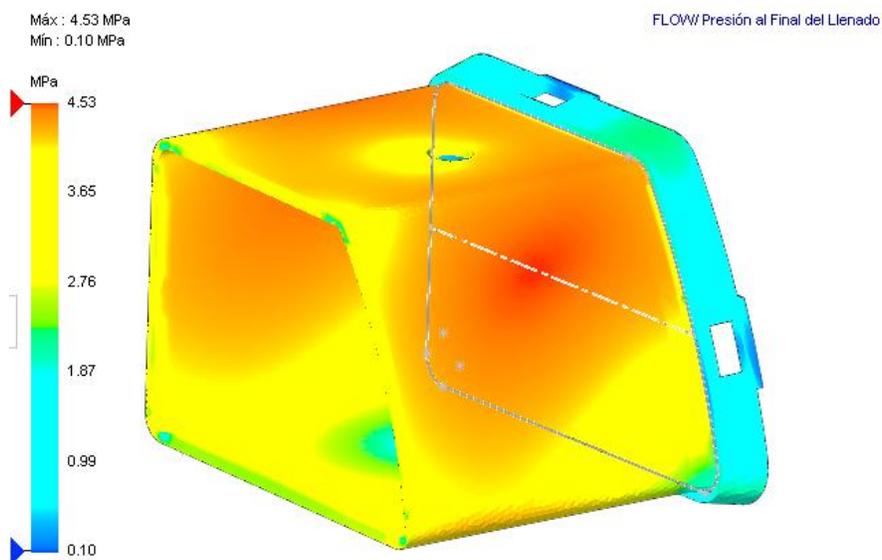


Figura 147. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 4.5 MPa (657.70 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de

inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

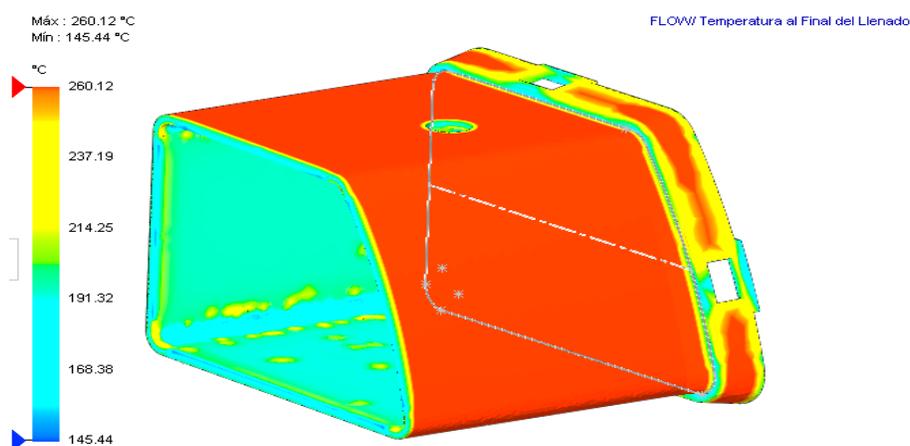


Figura 148. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

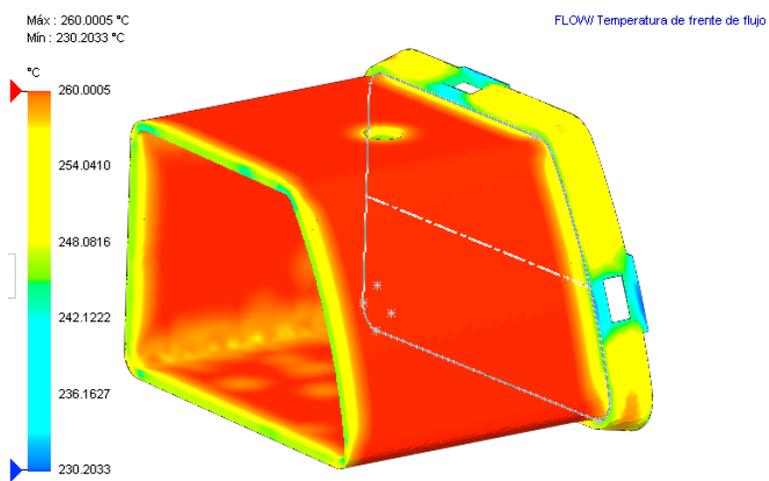


Figura 149. Temperatura de frente de flujo

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

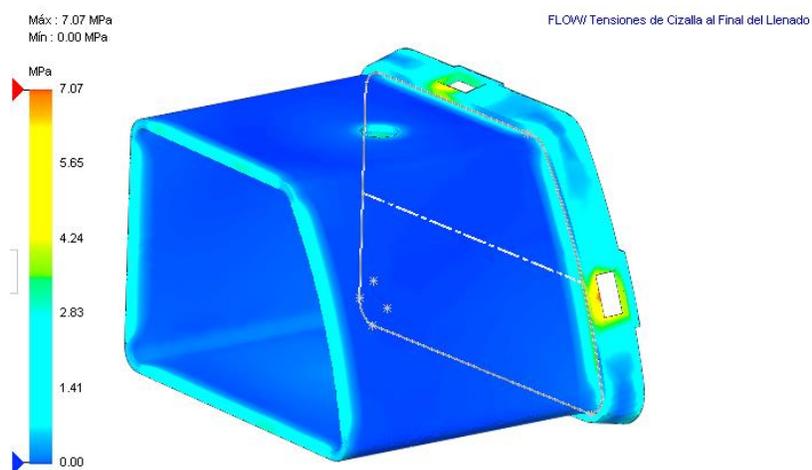


Figura 150. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

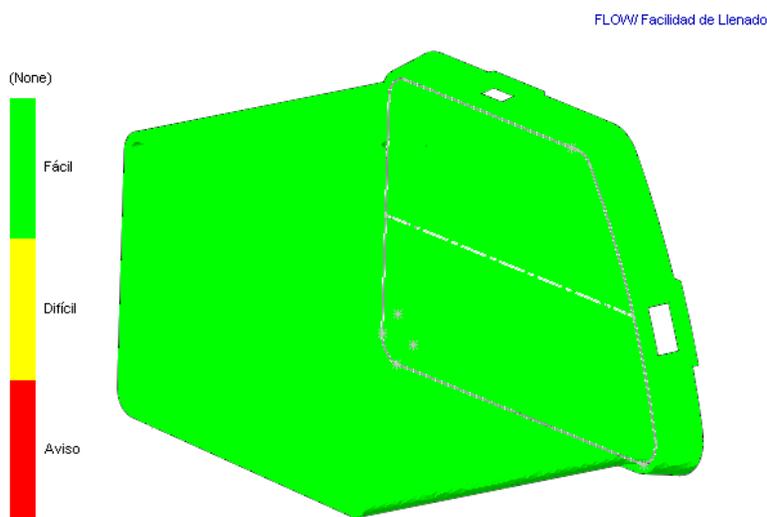


Figura 151. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio

Simulación de la pieza donde se alojan las aletas que regulan la dirección del aire acondicionado

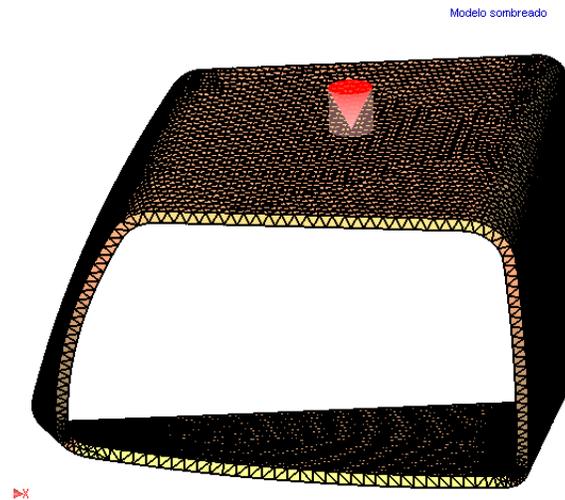


Figura 152. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza en la que se van a alojar las aletas que regulan la dirección a la salida del aire acondicionado.

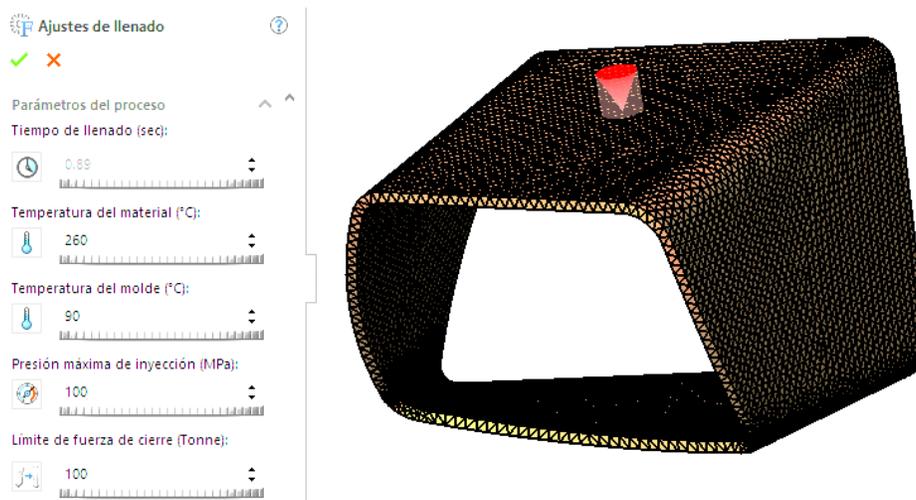


Figura 153. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

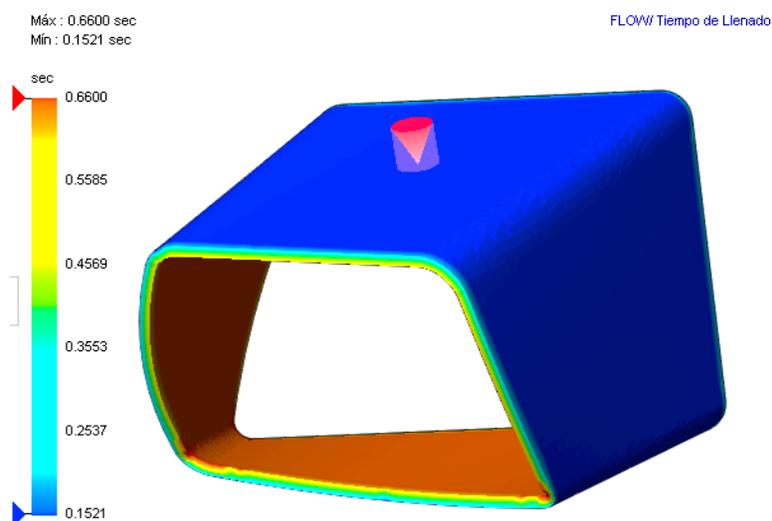


Figura 154. Tiempo de llenado

El tiempo del llenado para esta pieza es de 0.7 segundos.

Presión al final de llenado

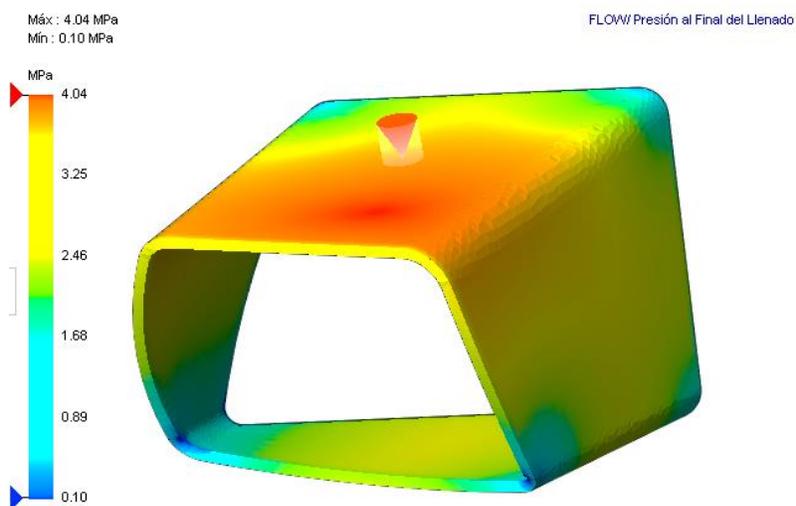


Figura 155. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 4.0 MPa (585.95 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de

inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

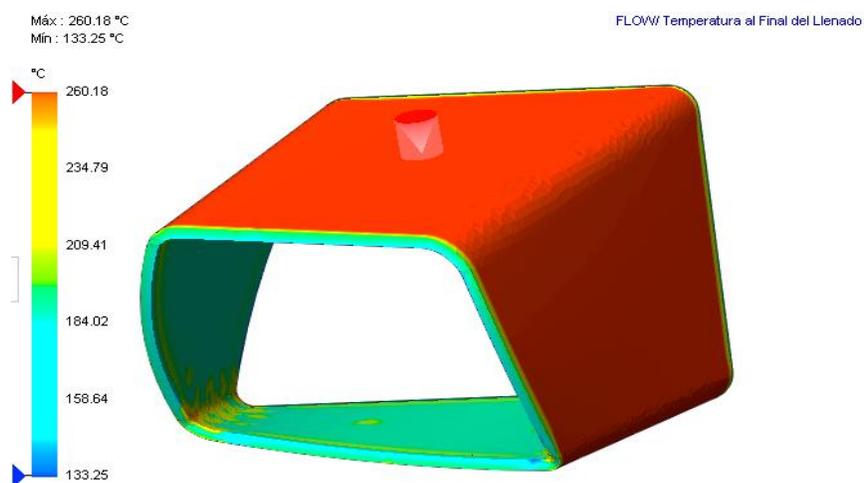


Figura 156. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

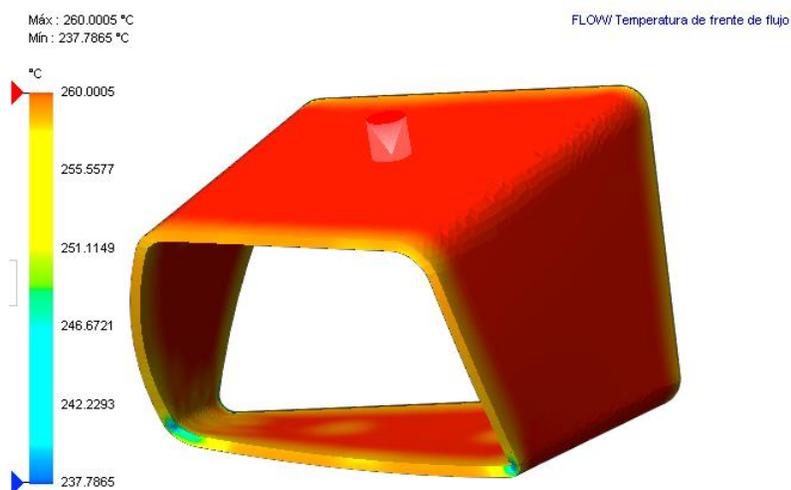


Figura 157. Temperatura de frente de flujo

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

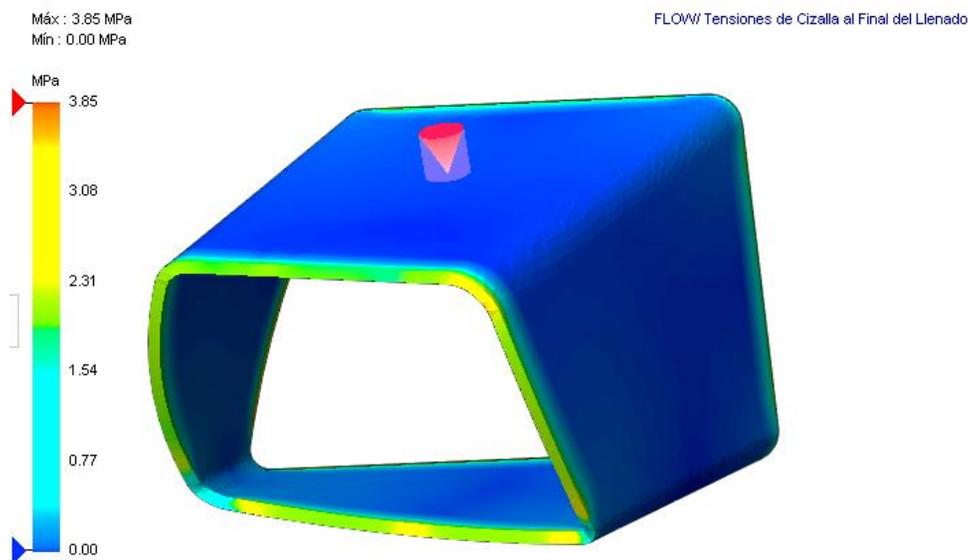


Figura 158. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

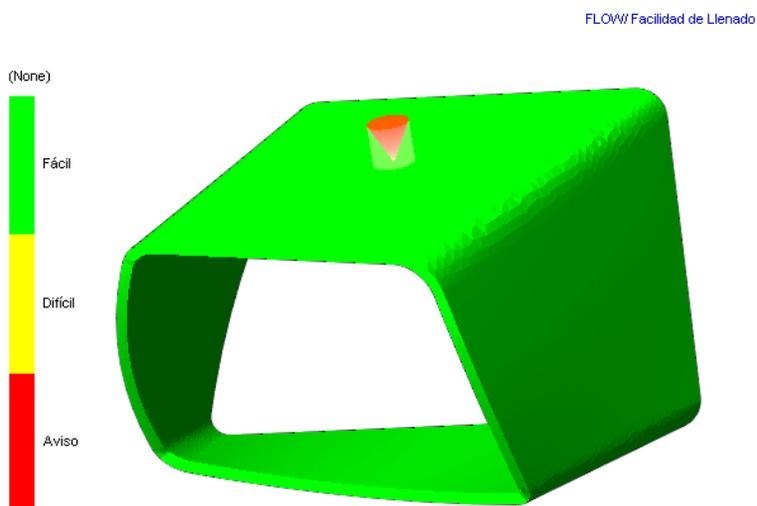


Figura 159. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PBT-30% de fibra de vidrio

Simulación con el polímero PP-con 20% fibra de bambú

Para la simulación ingresamos los datos del Polipropileno y las de la fibra de bambú a la base de datos del software Solidworks

PP-GAK1 : TESIS	
Temperatura del material	230 °C
Temperatura material máx.	280 °C
Temperatura material mín.	200 °C
Temperatura del molde	50 °C
Temperatura molde máx.	80 °C
Temperatura molde mín.	20 °C
Temperatura de eyección	95 °C
Temperatura de transición	135 °C
Viscosidad : 7-Parameters Modified Cross model	4.44409e+14 263.15 0 32.7 51.6 26260 0.272
D1	4.44409e+14 Pa-s
D2	263.15 K
D3	0 K/Pa
A1	32.7
A2bar	51.6 K
tau	26260 Pa
n	0.272

Figura 160. Datos ingresados al software

PVT : Modified Tait Equation	
	0.0012023 9.2e-07 8.8e+07 0.00482 0.001107
b1l	0.0012023 m3/Kg
b2l	9.2e-07 m3/(Kg-K)
b3l	8.8e+07 Pa
b4l	0.00482 1/K
b1s	0.001107 m3/Kg
b2s	5.1e-07 m3/(Kg-K)
b3s	1.64e+08 Pa
b4s	0.004745 1/K
b5	423 K
b6	1.2e-07 K/Pa
b7	9.6e-05 m3/Kg
b8	0.15 1/K
b9	2.06e-08 1/Pa
Densidad sólida : Not Available	NULL
Calor específico : Constant	3100 J/(Kg-K)
Conductividad térmica : Constant	0.15 W/(m-K)
Módulo elasticidad : Constant	1350 1350
Coef. Poisson : Constant	0.4 0.4
Coefficiente de dilatación térmica : Constant	9.05e-05 5e-07

Figura 161. Datos ingresados al software

Módulo elasticidad : Constant	1350	1350							
Coef. Poisson : Constant	0.4	0.4							
Coefficiente de dilatación térmica : Constant	9.05e-05	5e-07							
Módulo de relajación de cizallamiento : 5-Parameters Equation	1e+07	1e+10	1.06e+09	1.06e+08	1.08e+07	0.01	0.1	1	10
Curado del modelo : Not Available	NULL								
Temperatura de no flujo : Not Available	NULL								
Índice de fluidez (MFR)	20	g/10min							
% Fibras	20	-1	0.029	19000	0.38	700			
Porcentaje de fibras	20	%							
Relación de aspecto	-1								
Coeficiente de dilatación térmica	0.029	1/°C							
Módulo de elasticidad	19000	MPa							
Coeficiente de Poisson	0.38								
Densidad	700	Kg/m3							
Tasa de cizallamiento máx.	100000	1/s							
Tensión de cizallamiento máx.	0.25	MPa							
Coeficiente de tensiones ópticas	NULL								
Parámetros Leonov : Not Available	NULL								
Parámetros WLF : Not Available	NULL								
Módulo de cizallamiento paralelo : Constant	482.143	MPa							

Figura 162. Datos ingresados al software

Simulación de la mascarilla de protección de la rejilla de ventilación

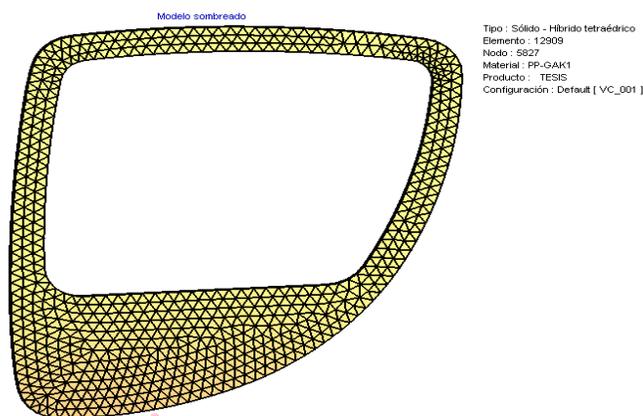


Figura 163. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado

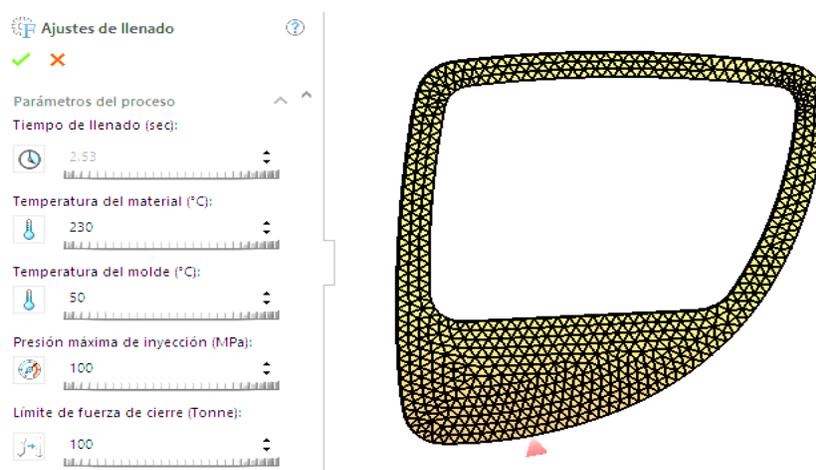


Figura 164. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

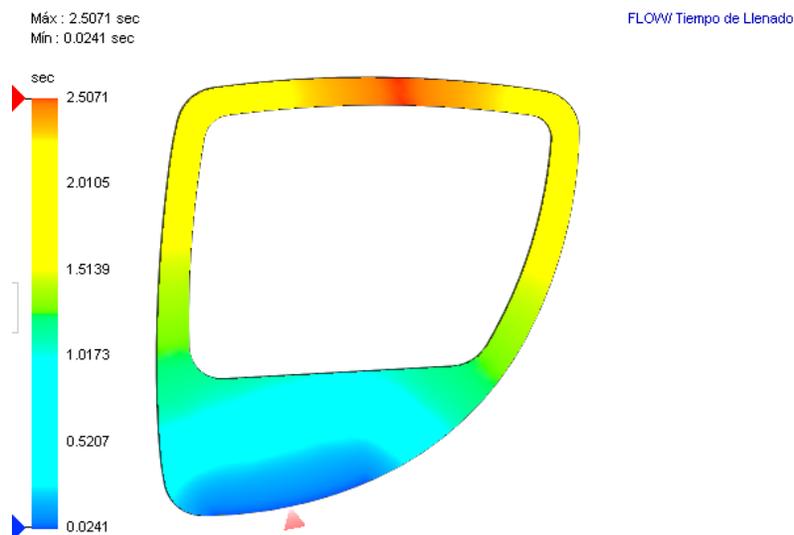


Figura 165. Tiempo de llenado

El tiempo del llenado para esta pieza es de 2.5 segundos.

Presión al final de llenado

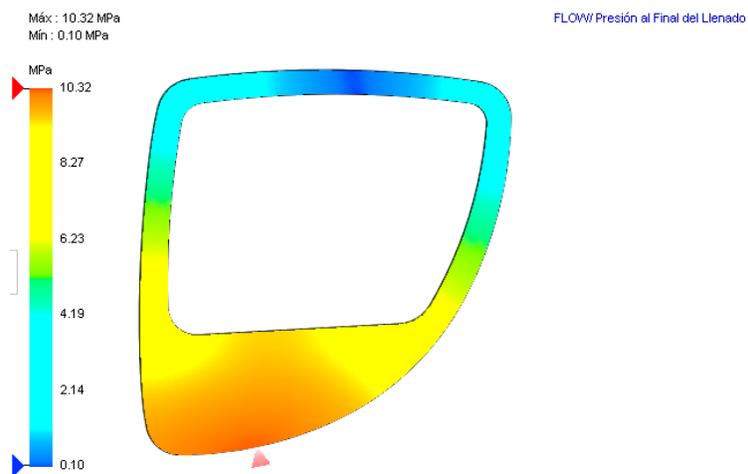


Figura 166. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 10.3 MPa (1496.72 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de

inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final de llenado

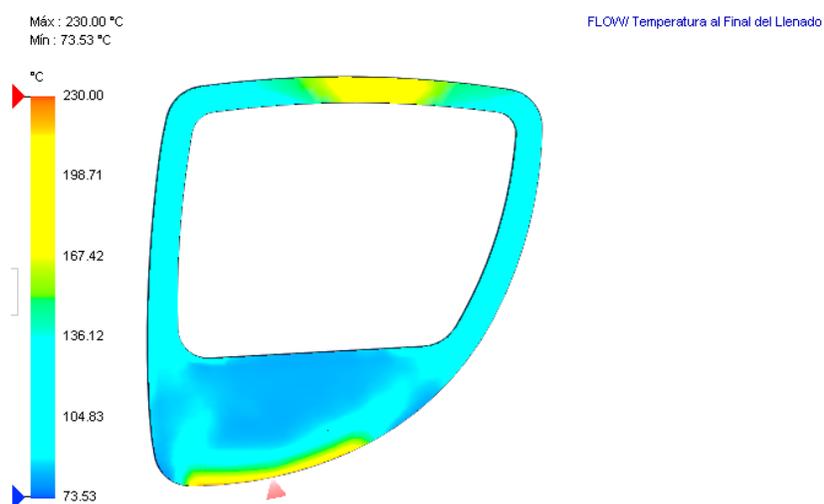


Figura 167. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

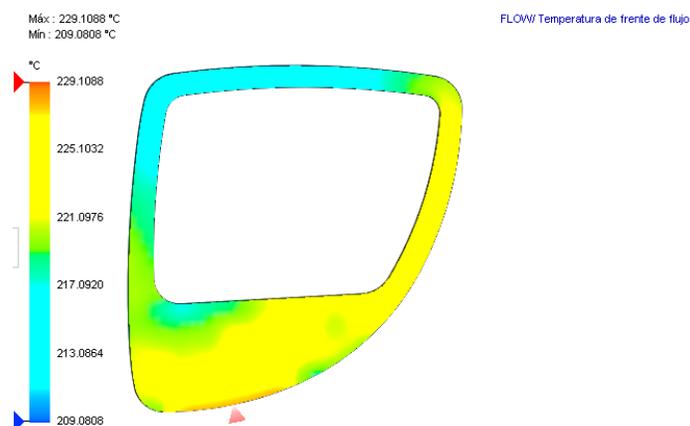


Figura 168. Temperatura al final del llenado

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

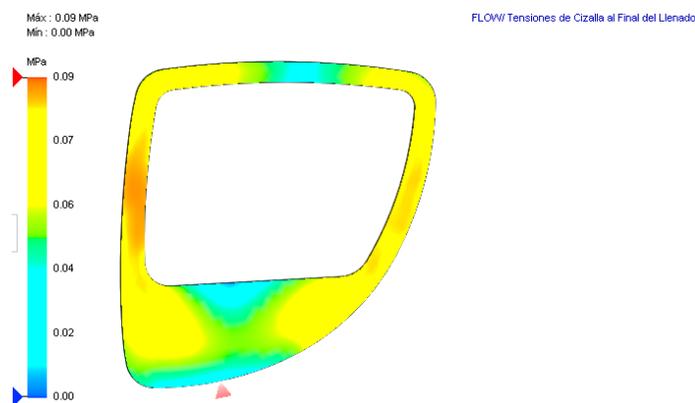


Figura 169. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

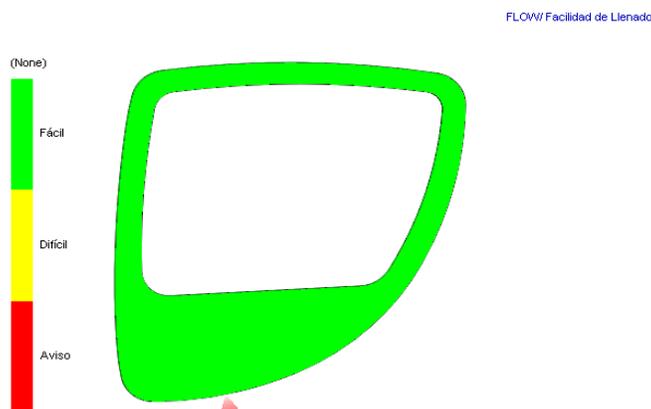


Figura 170. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PP-20% de fibra de bambú.

Simulación de la aleta que regula cantidad de paso del aire acondicionado

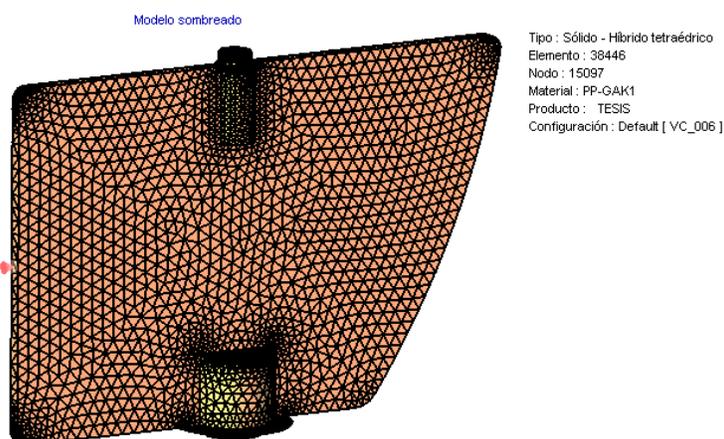


Figura 171. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza que va a la entrada del aire acondicionado.

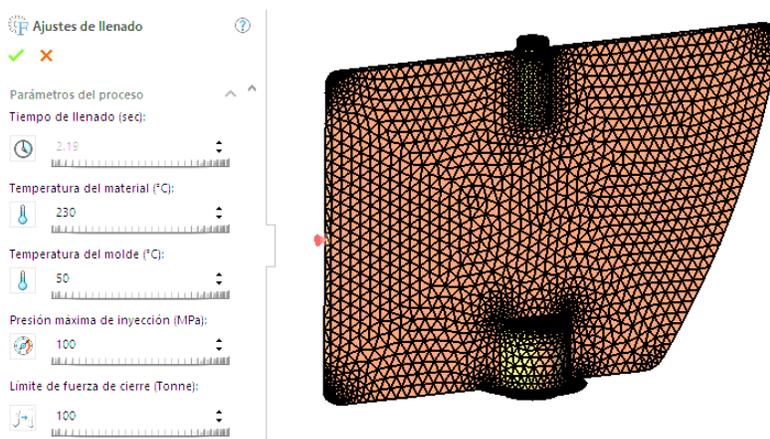


Figura 172. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

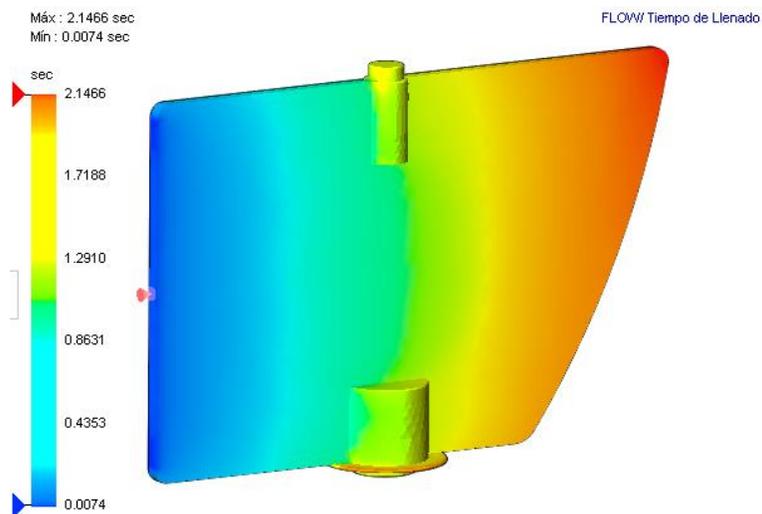


Figura 173. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 2.2 segundos.

Presión al final del llenado

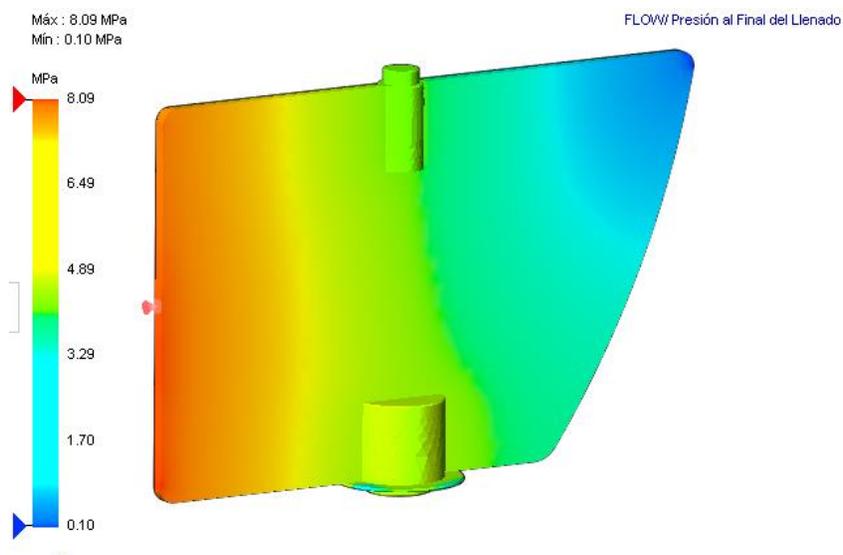


Figura 174. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 8.1 MPa (1172.98 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de

inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

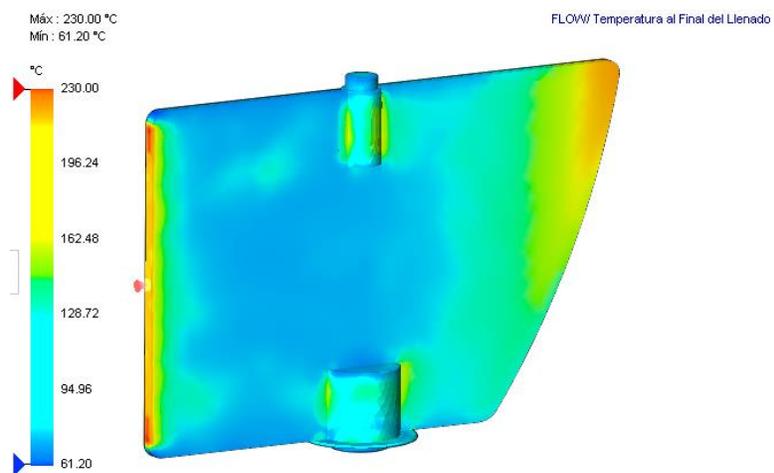


Figura 175. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

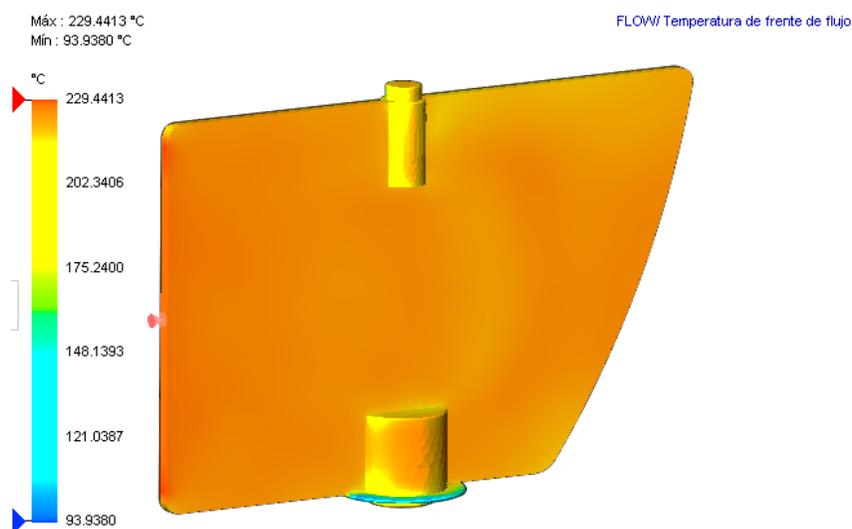


Figura 176. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de ± 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

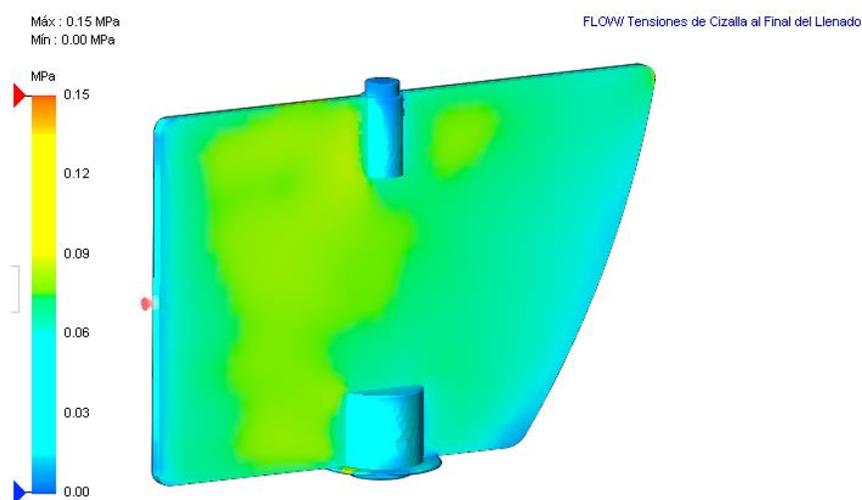


Figura 177. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

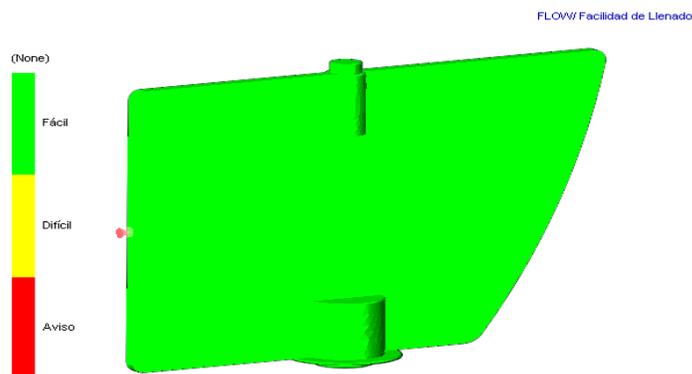


Figura 178. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PP-20% de fibra de bambú

Simulación de la aleta geometría 1

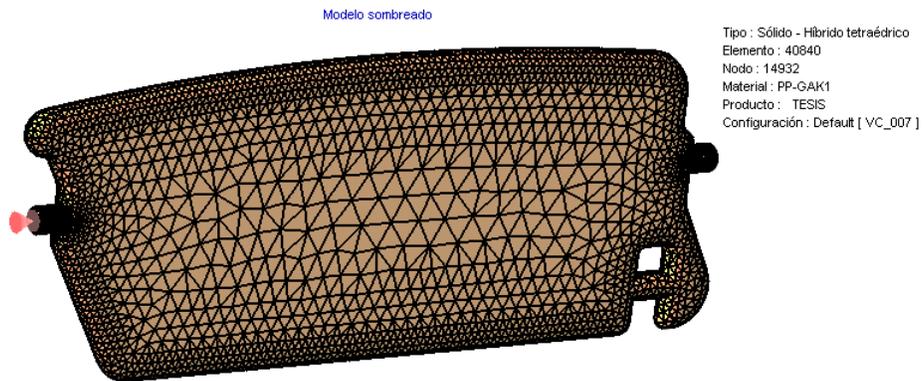


Figura 179. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza que va a la entrada del aire acondicionado.

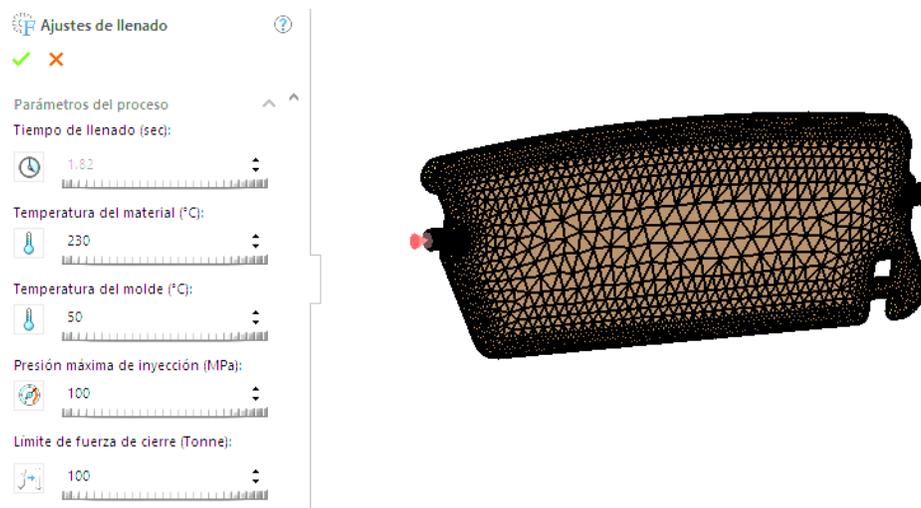


Figura 180. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

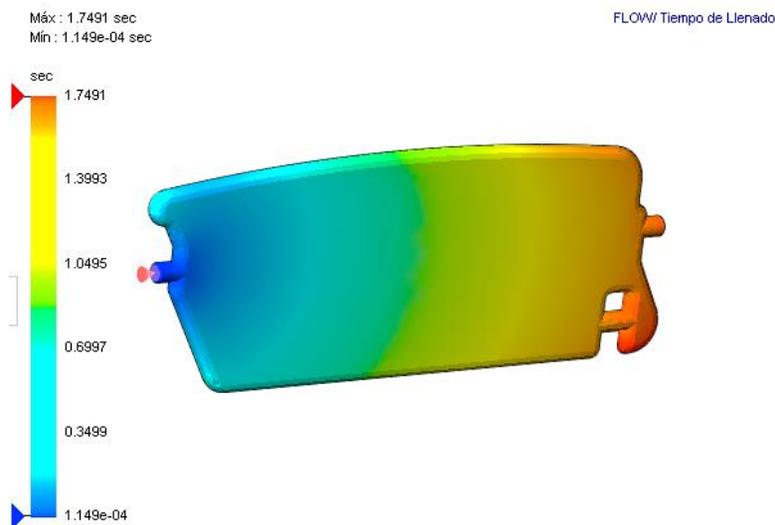


Figura 181. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.8 segundos

Presión al final del llenado

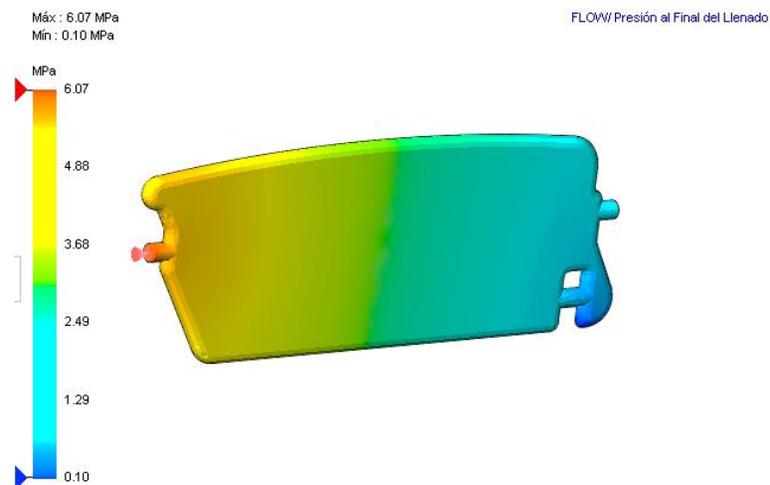


Figura 182. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 6.1 MPa (880.95 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de

inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

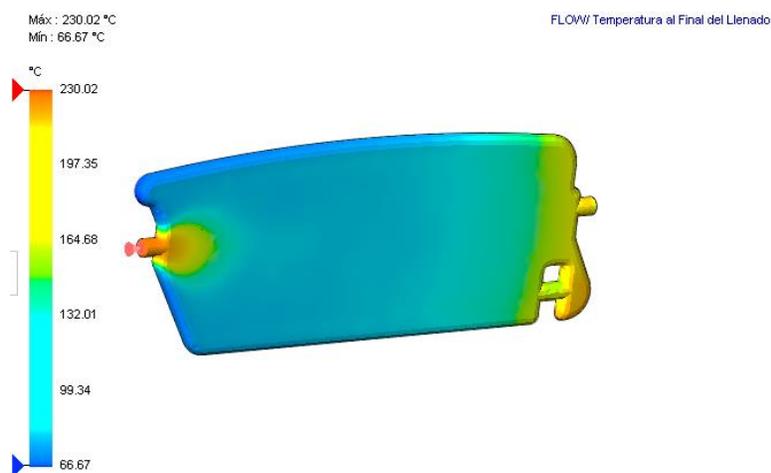


Figura 183. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de frente de flujo

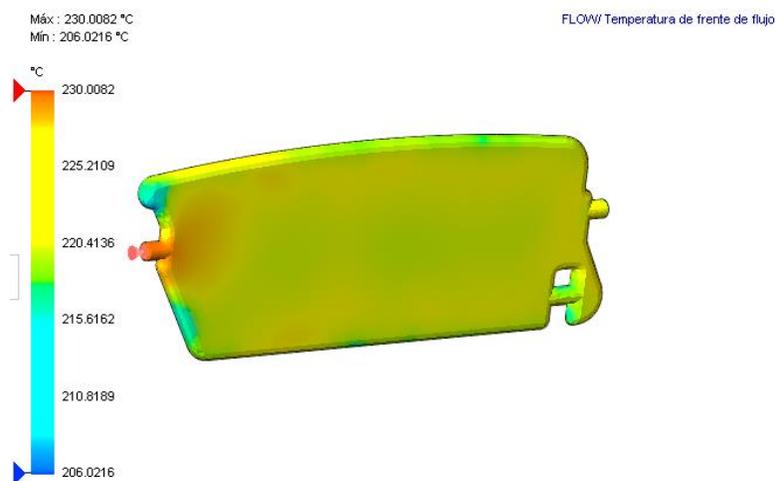


Figura 184. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

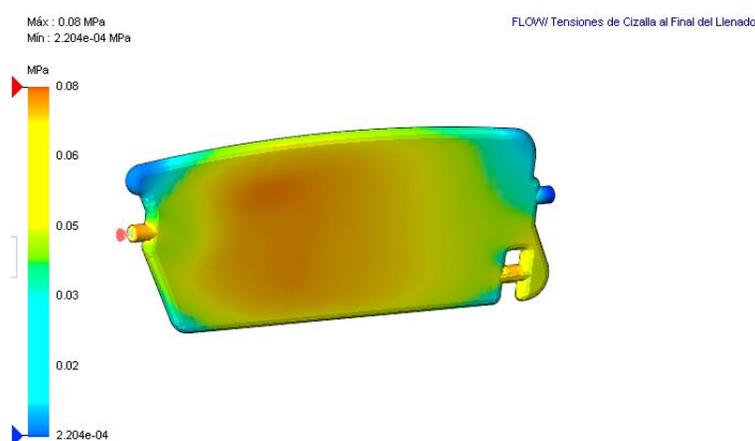


Figura 185. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

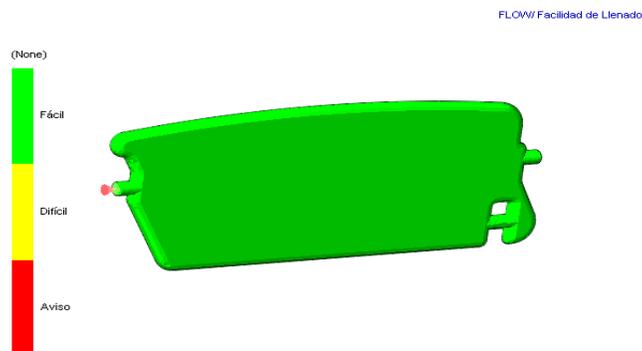


Figura 186. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PP-20% de fibra de bambú

Simulación aleta geometría 2

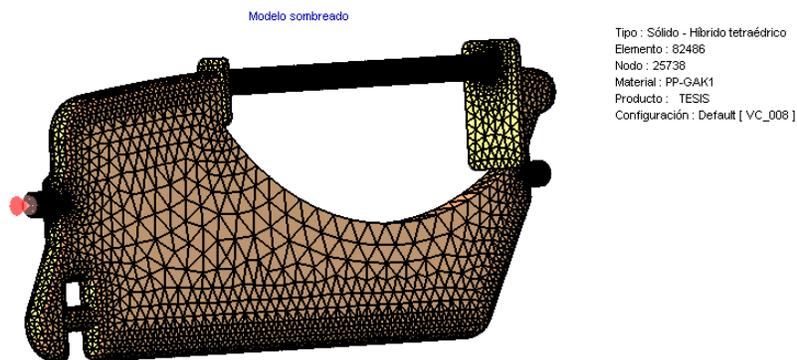


Figura 187. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero en la aleta 2

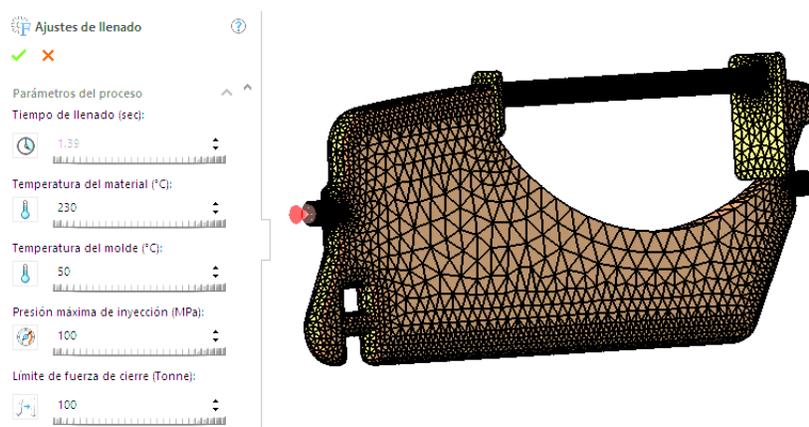


Figura 188. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

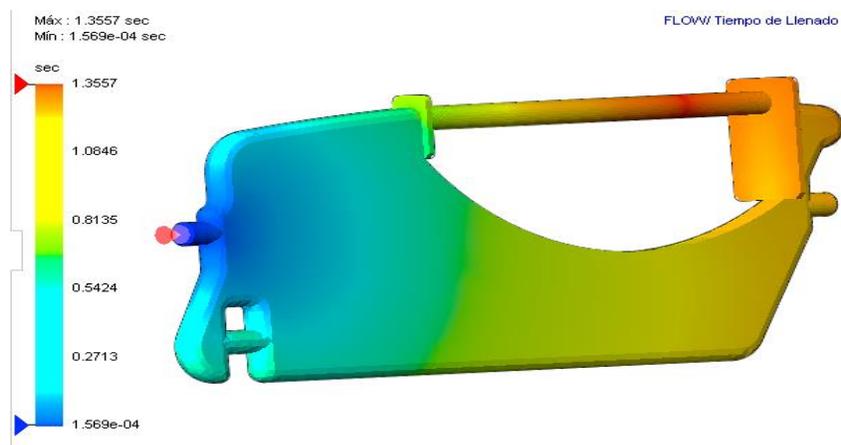


Figura 189. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.4 segundos.

Presión al final del llenado

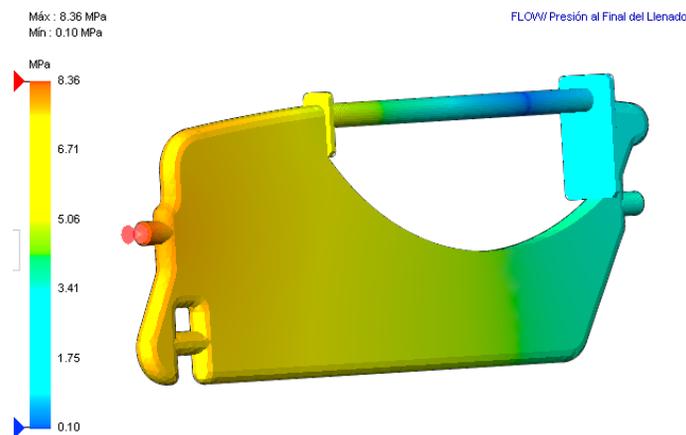


Figura 190. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 8.4 MPa (1212.61 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

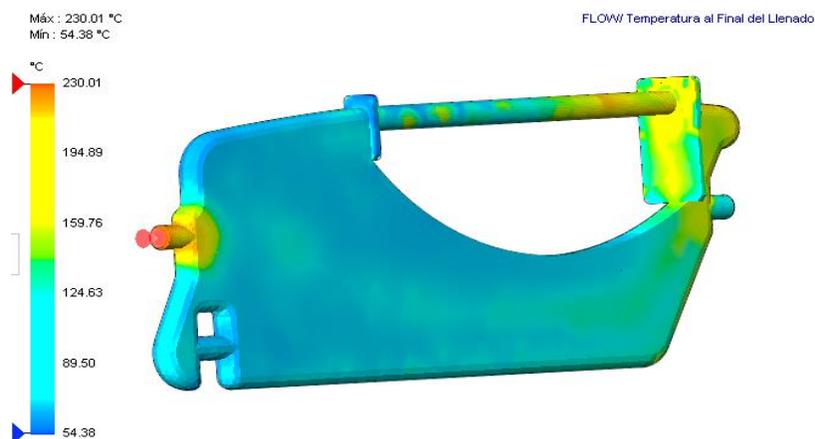


Figura 191. Temperatura al final del llenado

La temperatura máxima al final del llenado no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

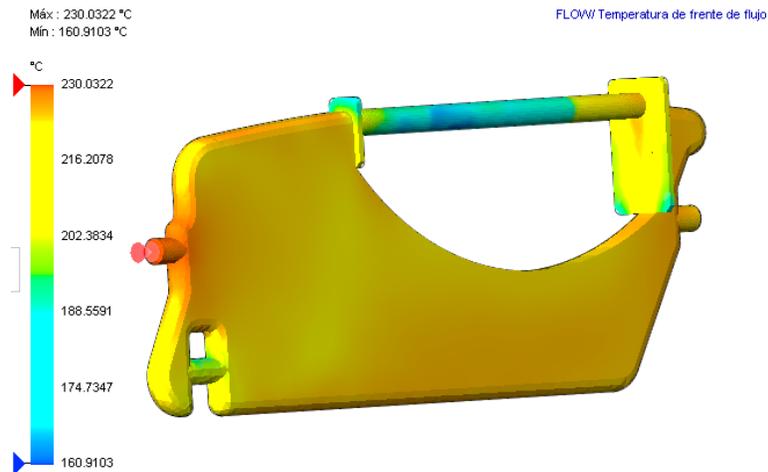


Figura 192. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

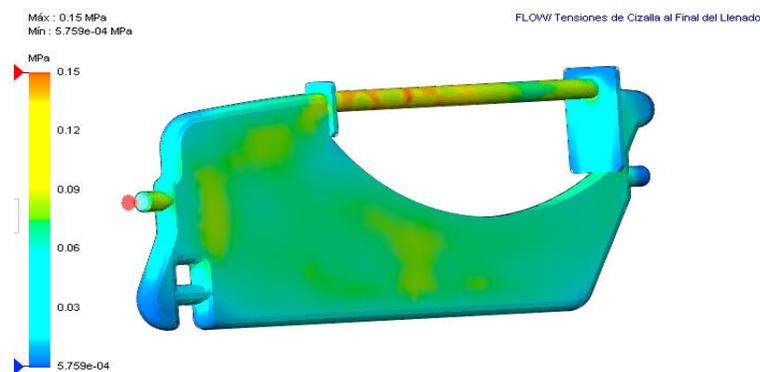


Figura 193. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado.

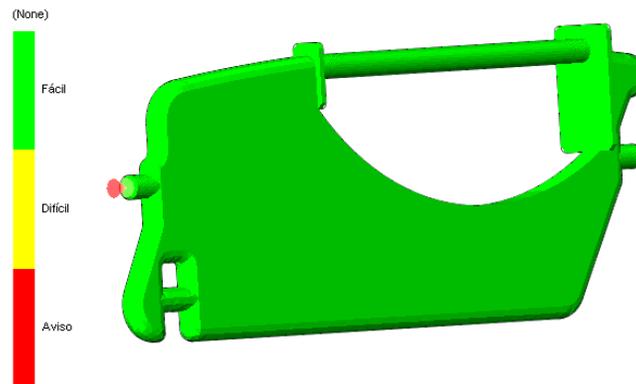


Figura 194. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PP-20% de fibra de bambú.

Simulación aleta geometría 3

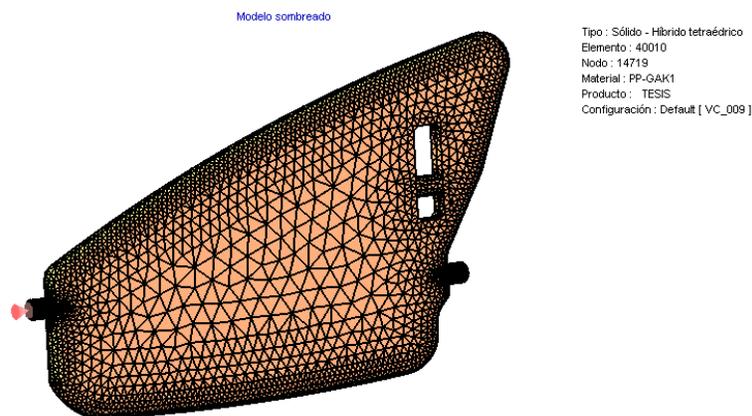


Figura 195. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero en la aleta 3

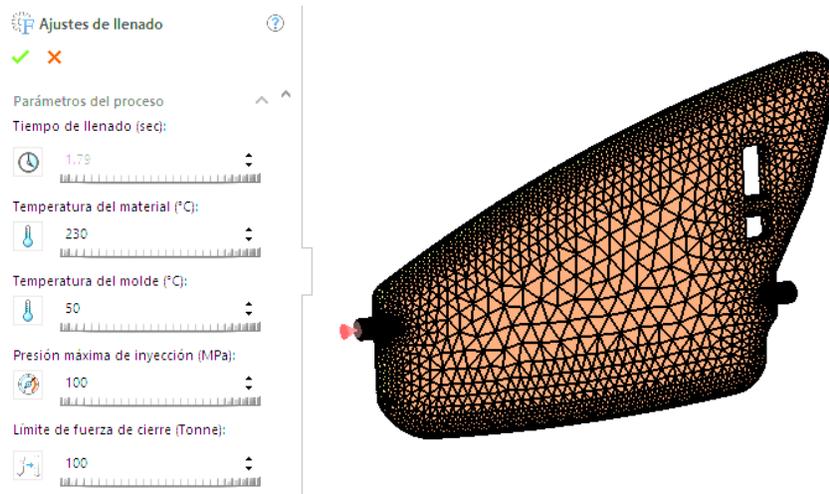


Figura 196. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

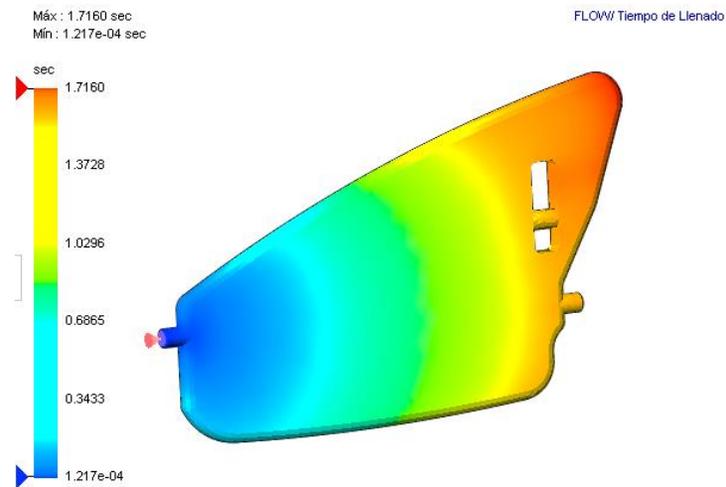


Figura 197. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.7 segundos.

Presión al final del llenado

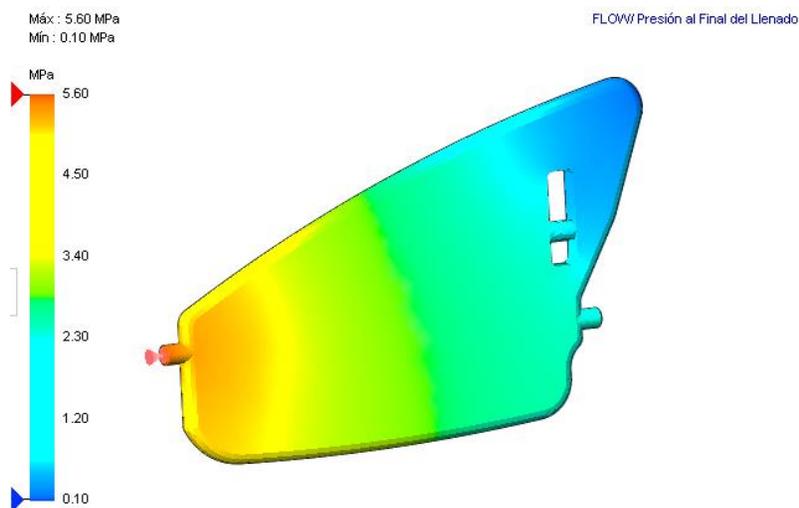


Figura 198. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 5.6 MPa (811.85 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

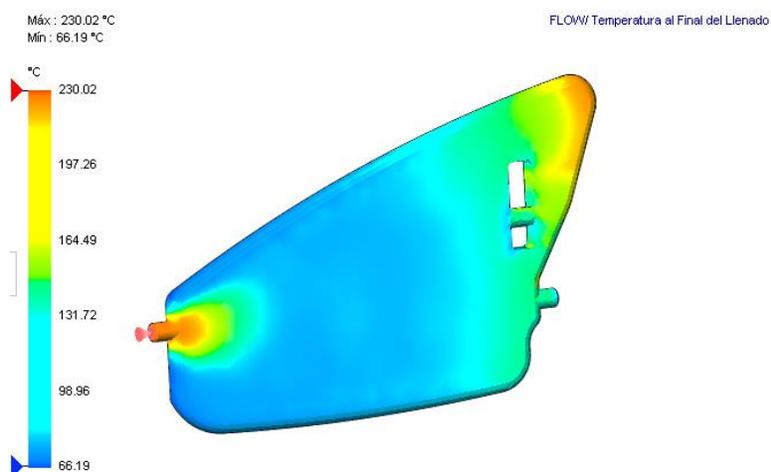


Figura 199. Temperatura al final del llenado

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura del frente de flujo

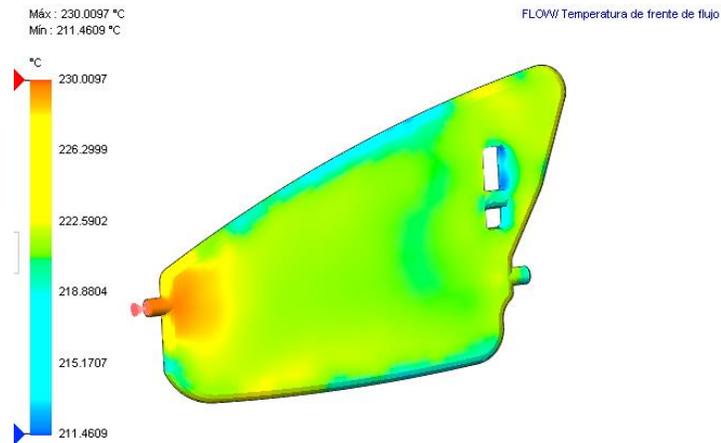


Figura 200. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

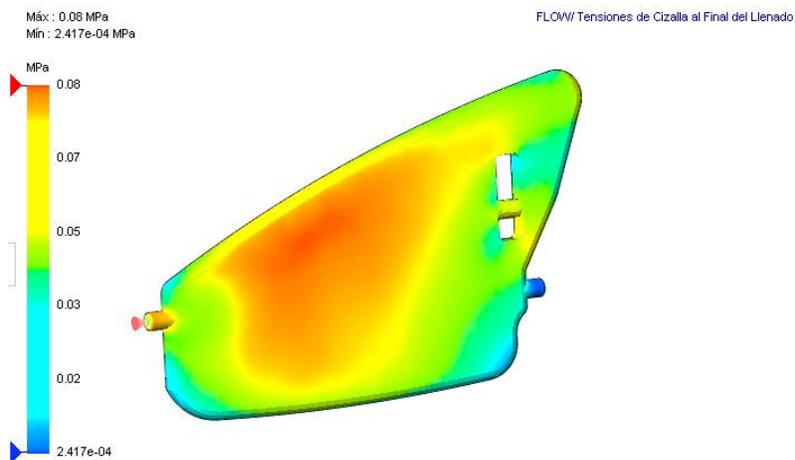


Figura 201. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

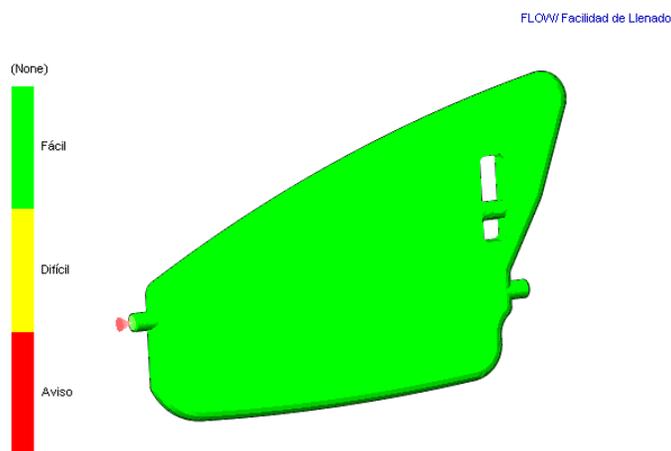


Figura 202. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PP-20% de fibra de bambú.

Simulación cavidad de entrada del aire acondicionado

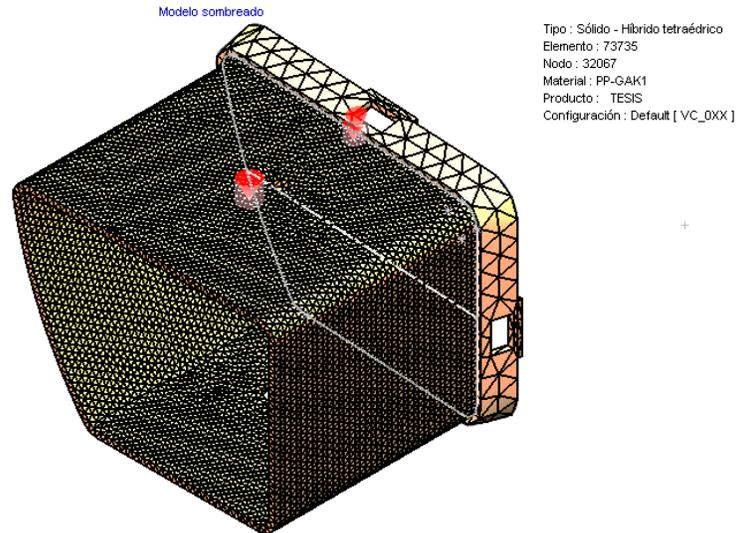


Figura 203. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza que va a la entrada del aire acondicionado.

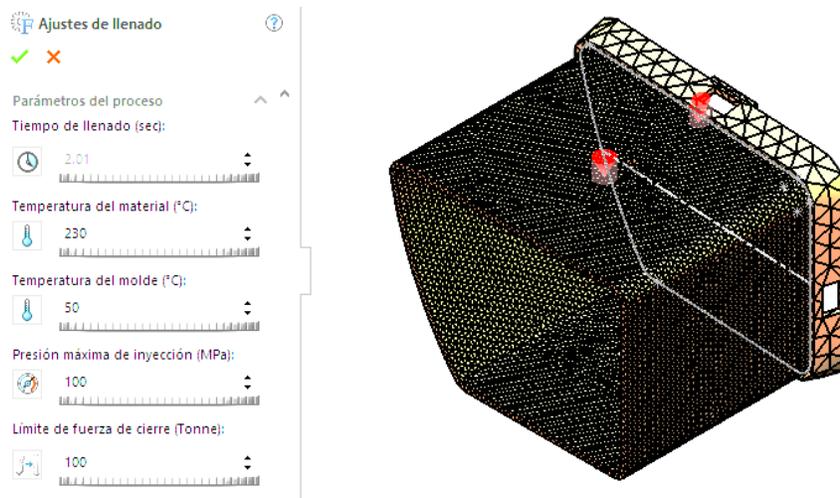


Figura 204. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

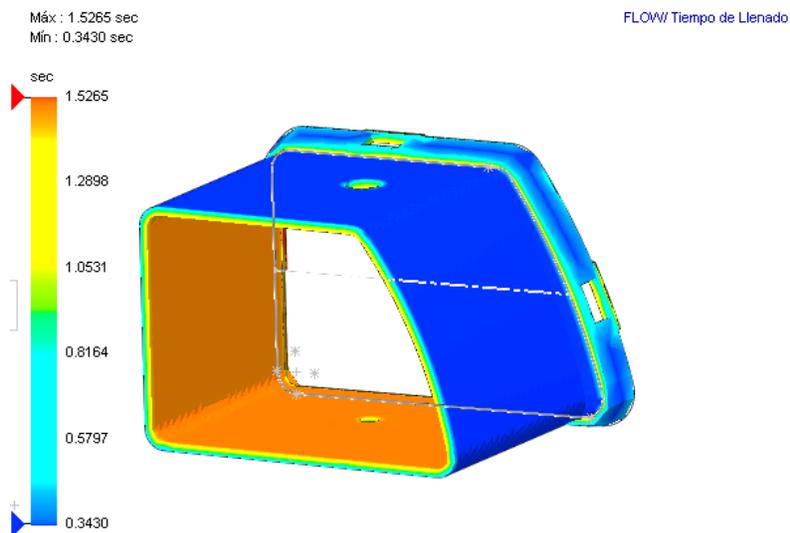


Figura 205. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.5 segundos.

Presión al final del llenado

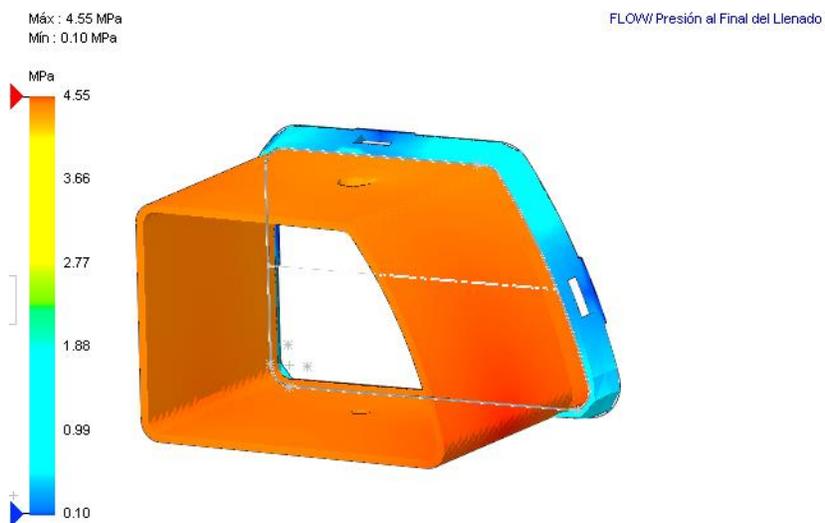


Figura 206. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 4.6 MPa (660.40 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de

inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final del llenado

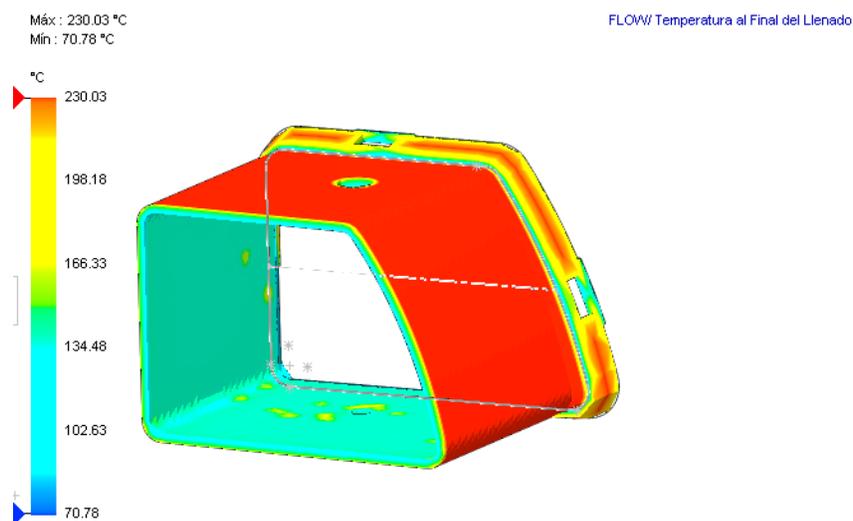


Figura 207. Temperatura al final del llenado.

Puesto que la temperatura máxima al final del llenado se ha mantenido no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

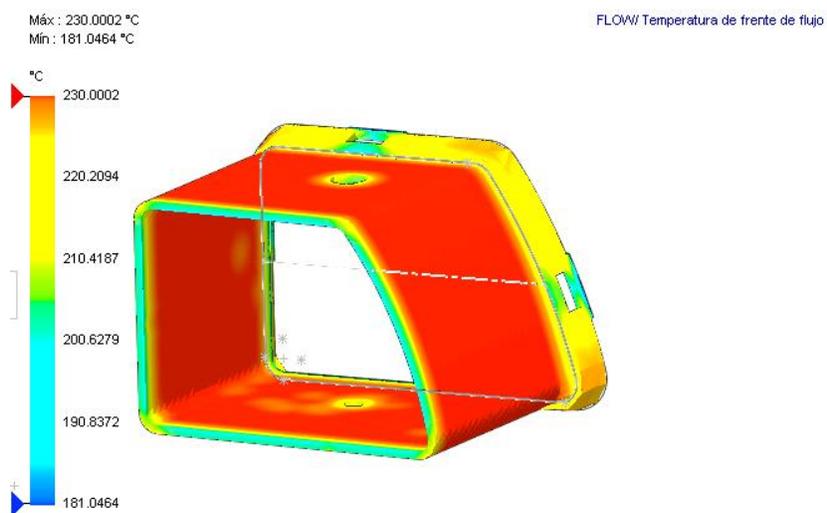


Figura 208. Temperatura de frente de flujo

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

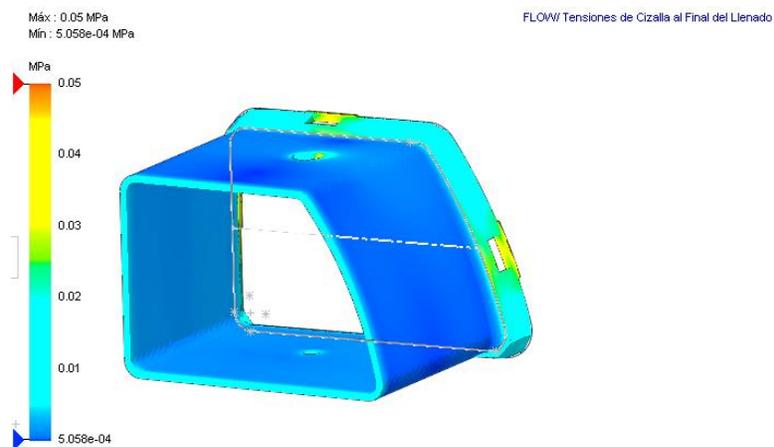


Figura 209. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

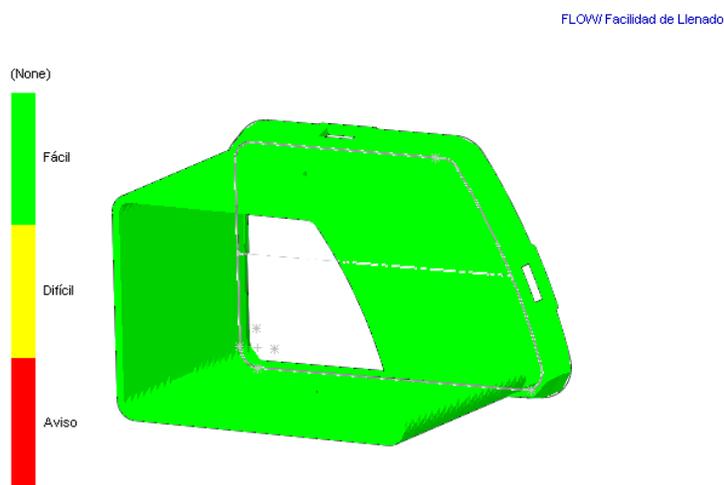


Figura 210. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PP-20% de fibra de bambú.

Simulación de la pieza donde se alojan las aletas que regulan la dirección del aire acondicionado

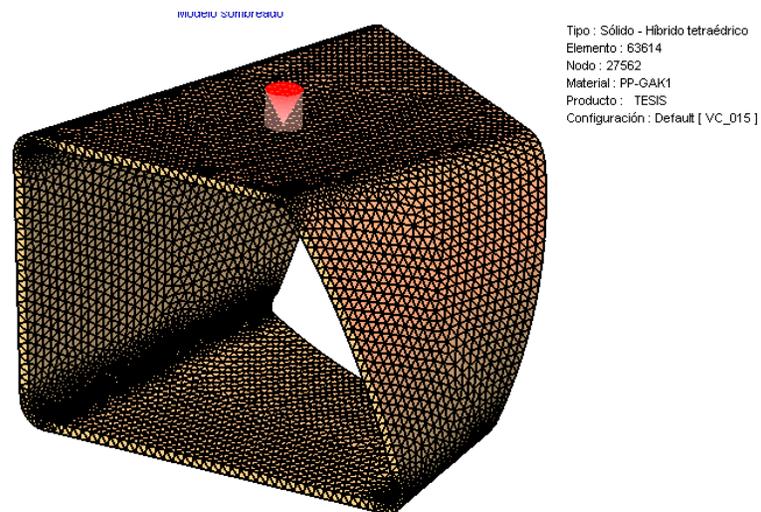


Figura 211. Mallado y punto de ingreso del polímero en estado líquido

Datos para la simulación del llenado del polímero de la pieza en la que se van a alojar las aletas que regulan la dirección a la salida del aire acondicionado.

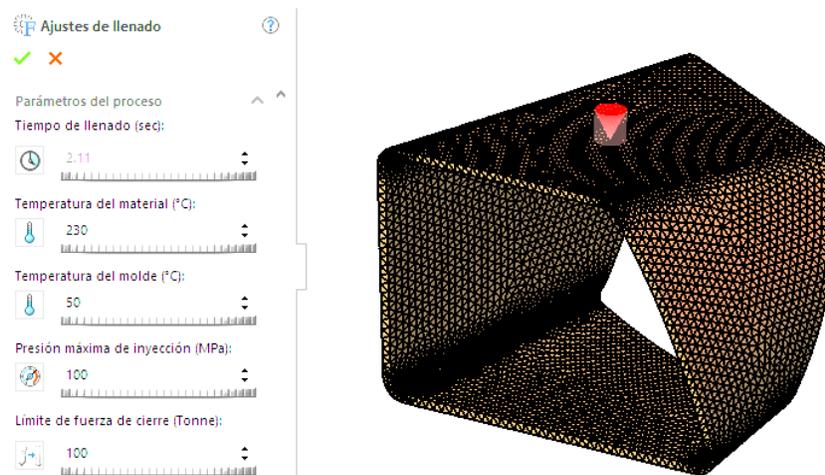


Figura 212. Ajustes de llenado

Tiempo de llenado

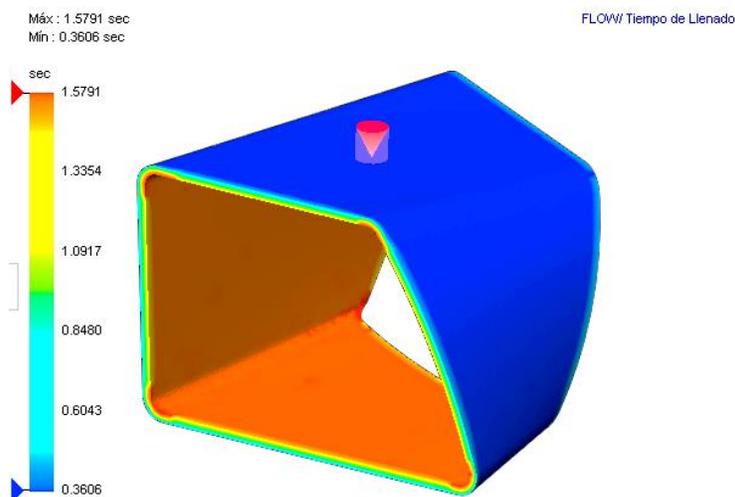


Figura 213. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado para esta pieza es de 1.6 segundos.

Presión al final del llenado

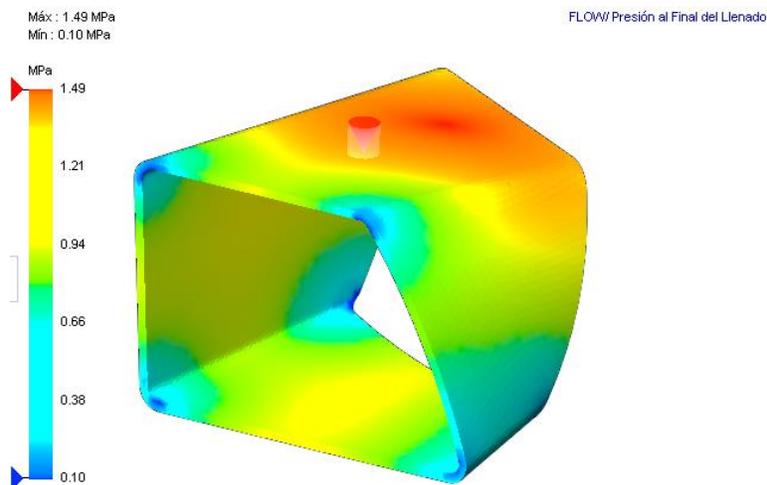


Figura 214. Presión al final del llenado

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 1.5 MPa (216.55 psi). La presión de inyección necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

Temperatura al final de llenado

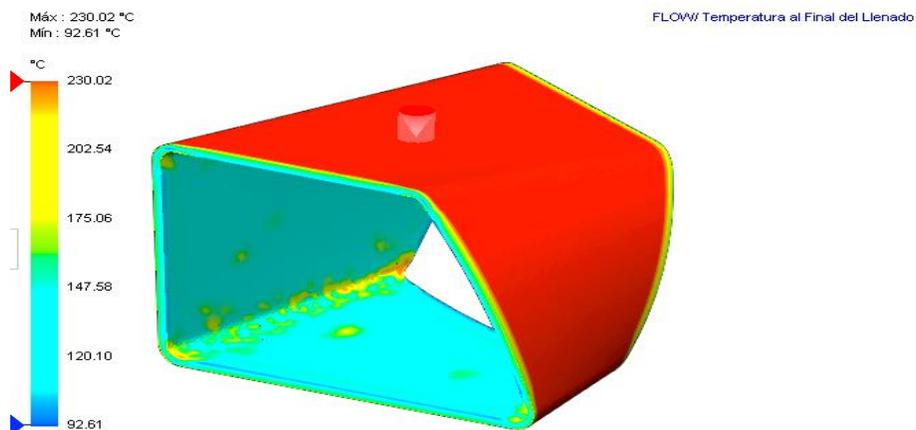


Figura 215. Temperatura al final del llenado

La temperatura máxima al final del llenado no ha superado los 10 grados Celsius de la temperatura de material inicial, existe un riesgo bajo o nulo de degradación del plástico.

Temperatura de frente de flujo

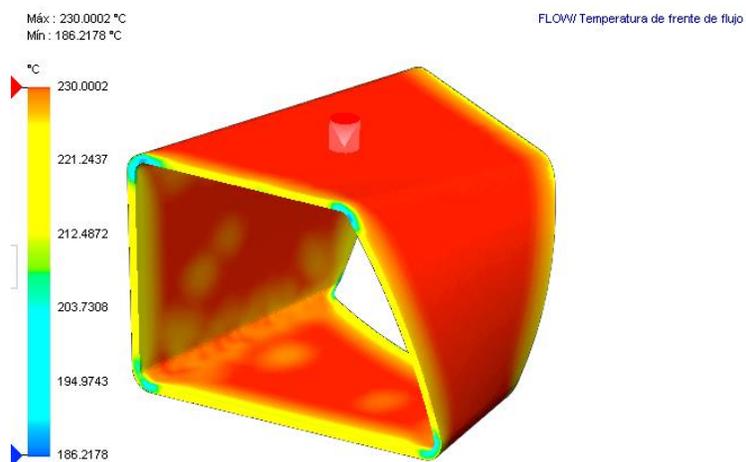


Figura 216. Temperatura de frente de flujo

La temperatura de material de frente de flujo se encuentra dentro del intervalo de aceptable de +/- 10 grados Celsius respecto a la temperatura de material inicial. Gracias a esto, el llenado y el empaquetado de molde se realizan correctamente, las necesidades de presión de la inyección se

reducen al mínimo, se consigue una buena apariencia e integración de las líneas de soldadura y se obtienen las mayores garantías de fabricación de piezas con propiedades óptimas.

Fuerza de cizallamiento al final del llenado

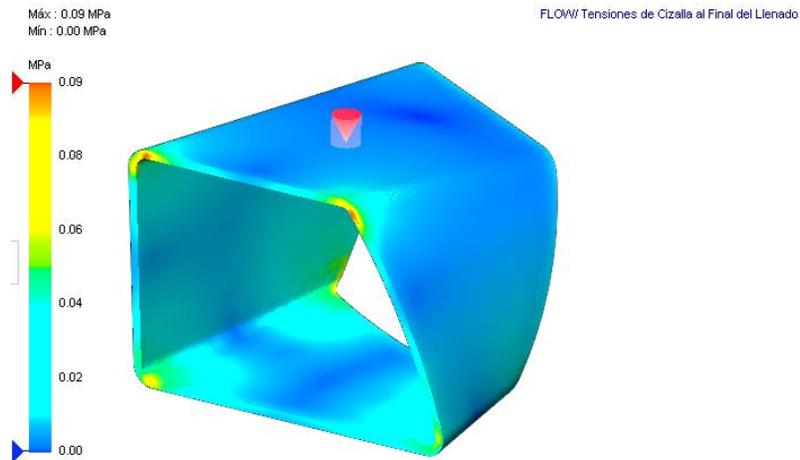


Figura 217. Cizallamiento al final del llenado

La fuerza de cizallamiento es menor que la que soporta el material por lo que no tendremos problemas al obtener la pieza final.

Facilidad de llenado

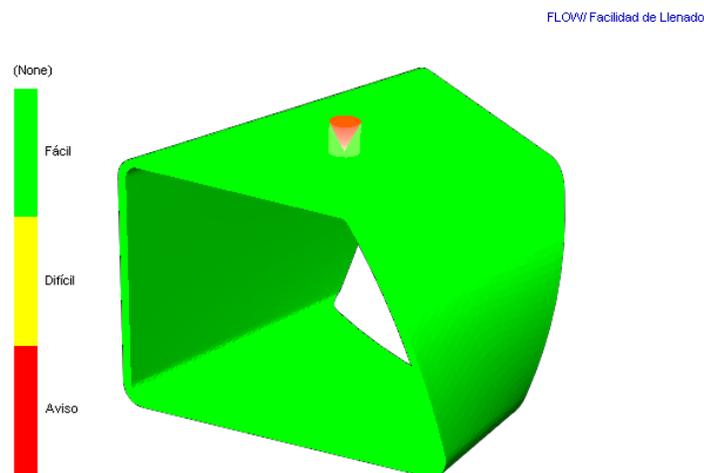


Figura 218. Facilidad del llenado

Para el modelo de esta aleta el llenado es fácil con el polímero PP-20% de fibra de bambú

Resultados

A continuación, se presentan los resultados en función a cada pieza de la mascarilla de ventilación de Kia Rio.

En la tabla 21 se realiza un análisis de las simulaciones para el elemento de la rejilla de ventilación denominado mascarilla de protección.

Tabla 21.

Comparación simulación mascarilla de protección

Mascarilla de Protección de la rejilla de ventilación															
Materiales	Temperatura del material	Temperatura del molde	Presión máxima de inyección	Límite de fuerza de cierre	Tiempo de llenado		Presión al final del llenado		Temperatura al final del llenado		Temperatura frente de flujo		Tensión de cizallamiento al final del llenado		Facilidad del llenado
	°C	°C	Mpa	Tonne	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
ABS - PC	260	70	100	100	1.698	0.0240	29.10	0.10	260.37	117.29	259.17	245.823	2,71	0.06	Fácil
PBT -30% Fibra de vidrio	260	90	100	100	1.0554	0.0101	48.55	0.10	260.08	120.55	259.37	249.08	0.81	0.04	Fácil
PP - 20% BAMBU	230	50	100	100	2.507	0.0241	10.32	0.10	230	73.53	229.10	209.08	0.09	0	Fácil

En la figura 219 se observa cual es el tiempo de llenado para material con la siguiente codificación: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

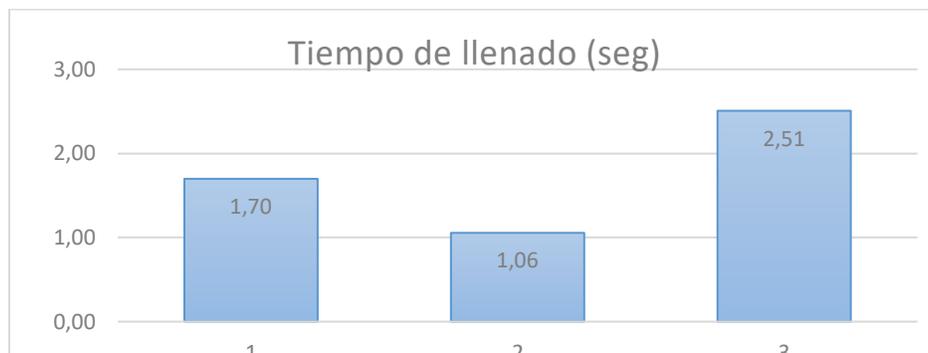


Figura 219. Tiempo de llenado

En la figura 220 se observa cual es la presión al final del llenado para material con la siguiente codificación: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.



Figura 220. Presión al final del llenado

En la figura 221 se observa cual es la temperatura al final del llenado para cada material con la siguiente codificación: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.



Figura 221. Temperatura al final del llenado

En la figura 222 se observa cual es la temperatura al final del llenado para material con la siguiente codificación: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

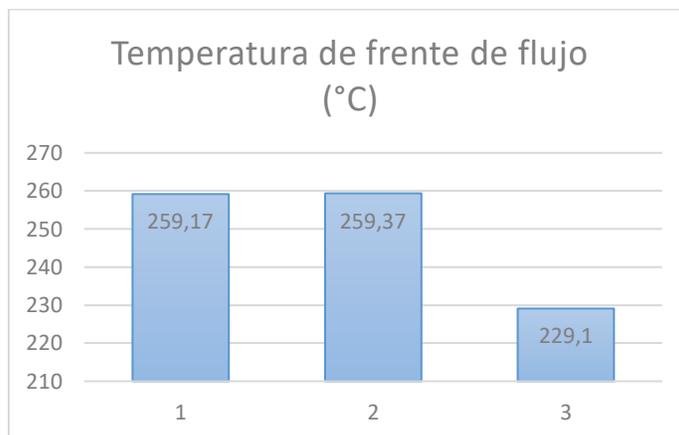


Figura 222. Temperatura de frente de flujo.

En la figura 223 se observa cual la temperatura al final del llenado para cada uno de los materiales con la siguiente codificación: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

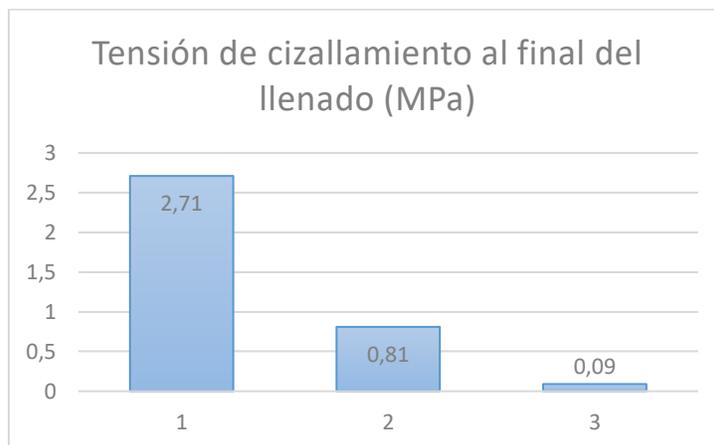


Figura 223. Tensión de cizallamiento al final del llenado.

En la tabla 22 se realiza un análisis de las simulaciones para el elemento de la rejilla de ventilación denominado aleta de regulación del paso del aire acondicionado.

Tabla 22.
Comparación simulación aleta de regulación del paso del aire acondicionado

Aleta de regulación del paso de aire acondicionado															
Materiales	Temperatura del material °C	Temperatura del molde °C	Presión máxima de inyección Mpa	Límite de fuerza de cierre Tonne	Tiempo de llenado segundos		Presión al final del llenado Mpa		Temperatura al final del llenado °C		Temperatura frente de flujo °C		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		Facilidad del llenado
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
ABS - PC	260	70	100	100	1.57	0.0051	87.68	0.11	264.30	92.20	259.60	182.73	12.67	0.01	Fácil
PBT -30% Fibra de vidrio	260	90	100	100	0.9924	0.0054	100.10	0.42	260	104	259.6	164.32	6.31	0	Fácil
PP - 20% BAMBU	230	50	100	100	2.146	0.0074	8.08	0.10	230	61.20	229.10	94	0.15	0	Fácil

En la figura 224 tenemos el tiempo de llenado del elemento aleta de regulación del paso del aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu



Figura 224. Tiempo de llenado.

En la figura 225 se observa cual es la presión al final del elemento aleta de regulación del paso del aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.



Figura 225. Presión al final del llenado.

En la figura 226 se observa cual es la temperatura al final del llenado del elemento aleta de regulación del paso del aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

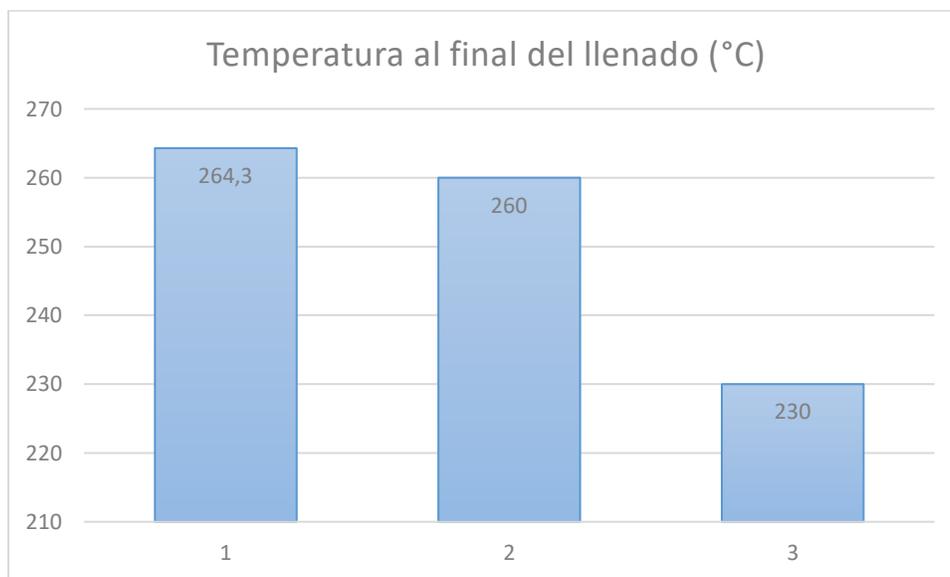


Figura 226. Presión al final del llenado.

En la figura 227 se observa cual es la temperatura de frente de flujo del elemento aleta de regulación del paso del aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

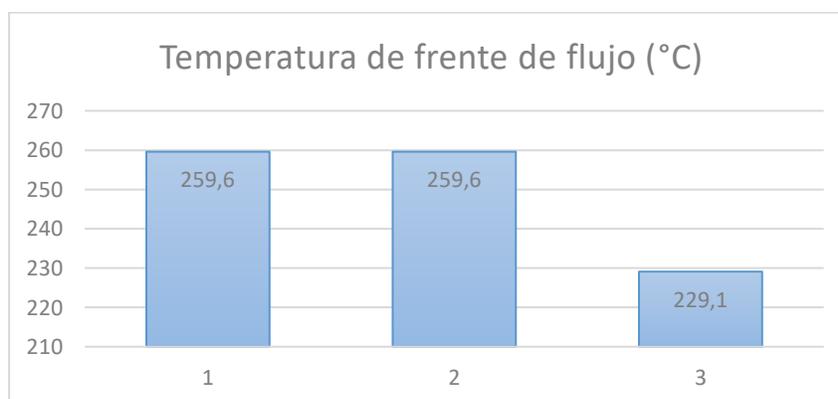


Figura 227. Temperatura de frente de flujo.

En la figura 228 se observa cual es la temperatura de frente de flujo del elemento aleta de regulación del paso del aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

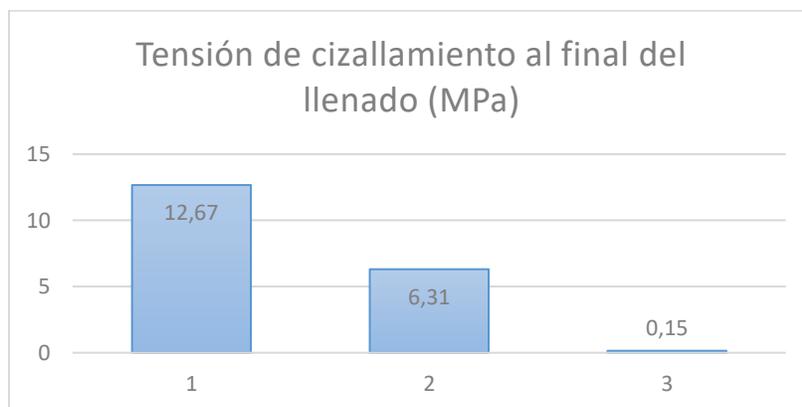


Figura 228. Tensión de cizallamiento al final del llenado.

En la tabla 23 se realiza un análisis de las simulaciones para el elemento de la rejilla de ventilación denominado aleta geometría 1.

Tabla 23.

Comparación simulación aleta geometría 1

Materiales	Temperatura del material °C	Temperatura del molde °C	Presión máxima de inyección Mpa	Límite de fuerza de cierre Tonne	Aleta geometría 1										Facilidad del llenado
					Tiempo de llenado segundos		Presión al final del llenado Mpa		Temperatura al final del llenado °C		Temperatura frente de flujo °C		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
ABS - PC	260	70	100	100	1.18	7.84e-05	21.45	0.10	260.37	96.48	260.47	242.92	4.17	0	Fácil
PBT -30% Fibra de vidrio	260	90	100	100	0.826	5.47e-05	17.23	0.10	260.53	110.73	260.64	245.17	0.36	0	Fácil
PP - 20% BAMBU	230	50	100	100	1.791	1,15E-01	6.07	0.10	230.02	66.67	230	206	0.08	2.20e-04	Fácil

En la figura 229 tenemos el tiempo de llenado del elemento aleta geometría 1 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.



Figura 229. Tiempo de llenado.

En la figura 230 tenemos la presión al final del llenado de la aleta geometría 1 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.



Figura 230. Presión al final del llenado.

En la figura 231 tenemos la temperatura al final del llenado elemento aleta geometría 1 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

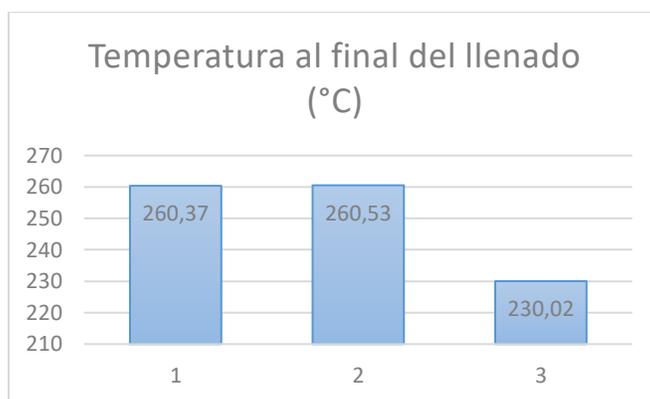


Figura 231. Temperatura al final del llenado.

En la figura 232 tenemos la temperatura de frente de flujo del elemento aleta geometría 1 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

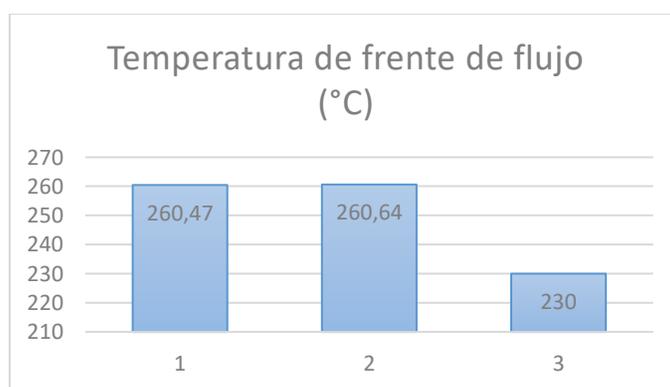


Figura 232. Temperatura de frente de flujo.

En la figura 233 tenemos la tensión de cizallamiento del elemento aleta geometría 1 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

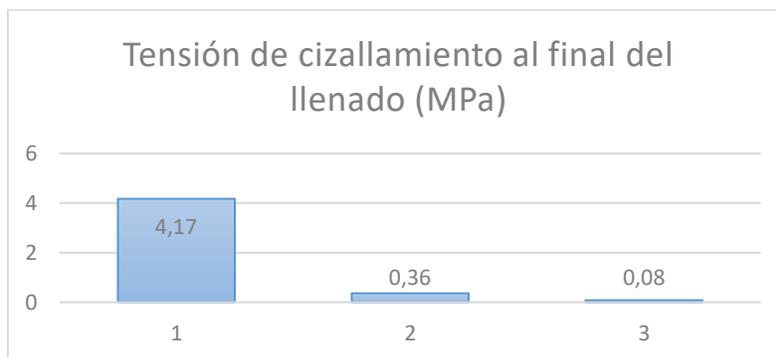


Figura 233. Tensión de cizallamiento al final del llenado.

En la tabla 24 se realiza un análisis de las simulaciones para el elemento de la rejilla de ventilación denominado aleta geometría 2

Tabla 24.

Comparación simulación aleta geometría 2

Aleta geometría 2															
Materiales	Temperatura del material °C	Temperatura del molde °C	Presión máxima de inyección Mpa	Límite de fuerza de cierre Tonne	Tiempo de llenado segundos		Presión al final del llenado Mpa		Temperatura al final del llenado °C		Temperatura frente de flujo °C		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		Facilidad del llenado
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
ABS - PC	260	70	100	100	0.905	1.07e-4	23.81	0.11	261.3	81.05	260.68	228.86	6.23	0	Fácil
PBT -30% Fibra de vidrio	260	90	100	100	0.65	7.56e-04	26.40	0.10	260.51	90.51	260	214	0.85	0	Fácil
PP - 20% BAMBU	230	50	100	100	1.35	1.59e-04	8.36	0.10	230.01	54,38	230	160.9	0.15	5.759e-03	Fácil

En la figura 234 tenemos el tiempo de llenado del elemento aleta geometría 2 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu



Figura 234. Tiempo de llenado.

En la figura 235 tenemos la presión al final del llenado de la aleta geometría 2 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu



Figura 235. Presión al final del llenado.

En la figura 236 tenemos la temperatura al final del llenado elemento aleta geometría 2 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

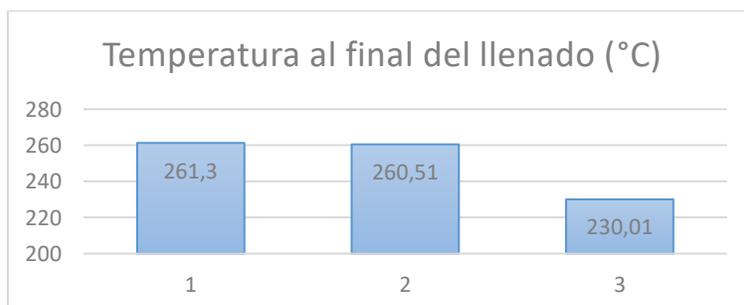


Figura 236. Temperatura al final del llenado.

En la figura 237 tenemos la temperatura de frente de flujo del elemento aleta geometría 2 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

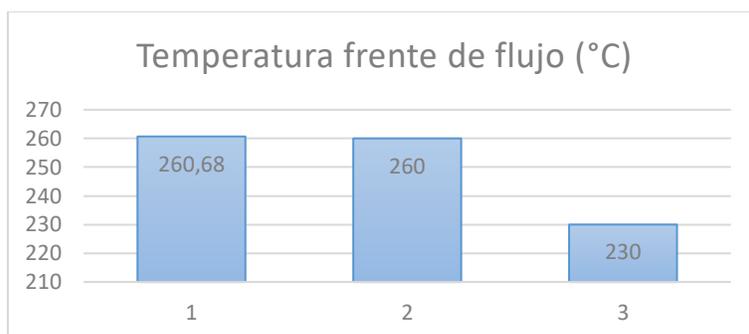


Figura 237. Temperatura de frente de flujo.

En la figura 238 tenemos la tensión de cizallamiento del elemento aleta geometría 2 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

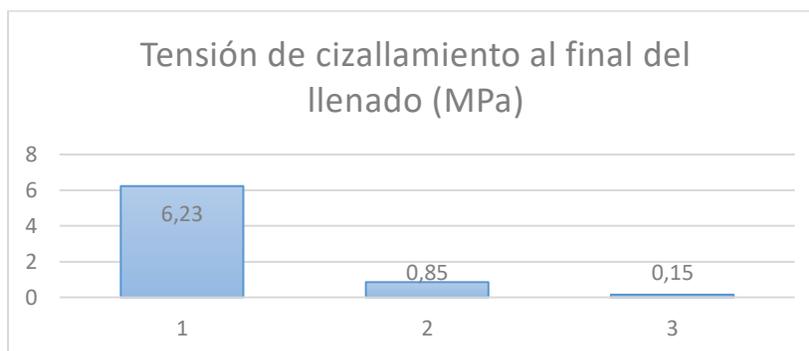


Figura 238. Tensión de cizallamiento al final del llenado.

En la tabla 25 se realiza un análisis de las simulaciones para el elemento de la rejilla de ventilación denominado aleta geometría 3

Tabla 25.

Comparación simulación aleta geometría 3

Materiales	Temperatura del material °C	Temperatura del molde °C	Presión máxima de inyección Mpa	Límite de fuerza de cierre Tonne	Aleta geometría 3										Facilidad del llenado
					Tiempo de llenado segundos		Presión al final del llenado Mpa		Temperatura al final del llenado °C		Temperatura frente de flujo °C		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
ABS - PC	260	70	100	100	1.16	8.31e-05	20.08	0.10	260.41	96.13	260.46	247.6	3.62	0	Fácil
PBT -30% Fibra de vidrio	260	90	100	100	0.81	5.83e-05	15.82	0.10	260.57	109.94	260.61	249.61	0.36	3.56-04	Fácil
PP - 20% BAMBU	230	50	100	100	1.71	1.21e-04	5.60	0.10	230.02	66.19	230	211.46	0.08	0	Fácil

En la figura 239 tenemos el tiempo de llenado del elemento aleta geometría 3 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu



Figura 239. Tiempo de llenado.

En la figura 240 tenemos la presión al final del llenado de la aleta geometría 3 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

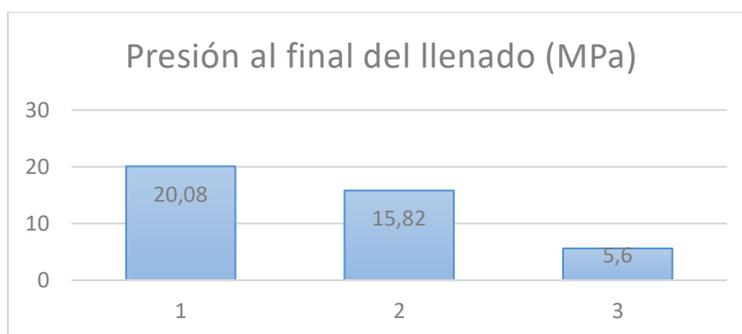


Figura 240. Presión al final del llenado.

En la figura 241 tenemos la temperatura al final del llenado elemento aleta geometría 3 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

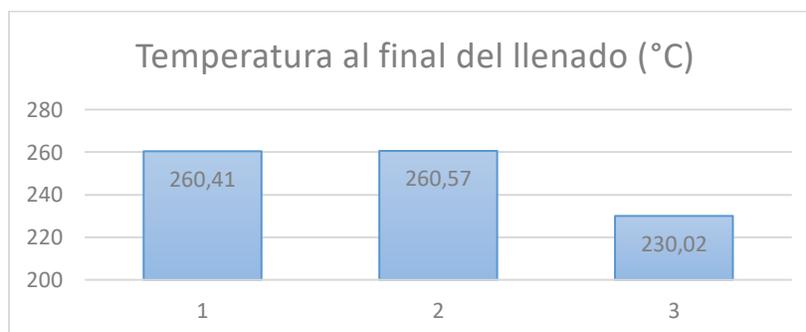


Figura 241. Temperatura al final del llenado.

En la figura 242 tenemos la temperatura de frente de flujo del elemento aleta geometría 3 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

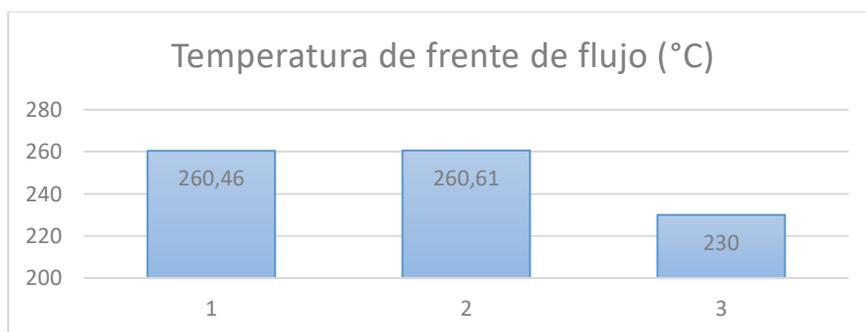


Figura 242. Temperatura de frente de flujo.

En la figura 243 tenemos la tensión de cizallamiento del elemento aleta geometría 3 con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

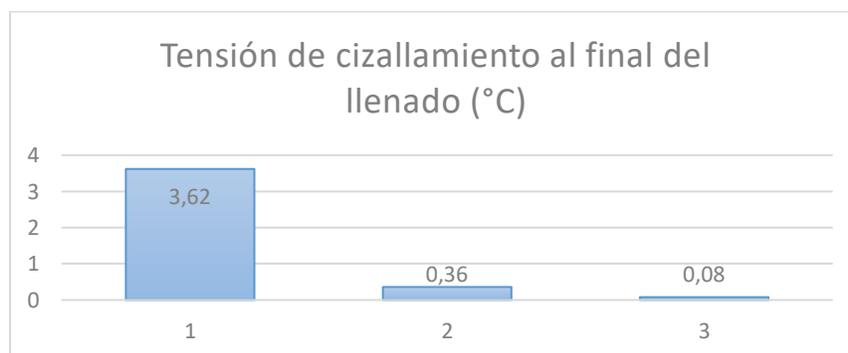


Figura 243. Tensión de cizallamiento al final del llenado.

En la tabla 26 se realiza un análisis de las simulaciones para el elemento de la rejilla de ventilación denominado cavidad entrada de aire acondicionado

Tabla 26.
Comparación simulación cavidad entrada aire acondicionado

Cavidad entrada de aire acondicionado															
Materiales	Temperatura del material	Temperatura del molde	Presión máxima de inyección	Límite de fuerza de cierre	Tiempo de llenado		Presión al final del llenado		Temperatura al final del llenado		Temperatura frente de flujo		Tensión de cizallamiento al final del llenado		Facilidad del llenado
	°C	°C	Mpa	Tonne	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
ABS - PC	260	70	100	100	0.98	0.17	6.23	0.10	260	128.79	260	224.31	8.24	0	Fácil
PBT -30% Fibra de vidrio	260	90	100	100	0.6	0.1	4.53	0.10	260.12	145.44	260	230	7.07	0	Fácil
PP - 20% BAMBU	230	50	100	100	1.52	0.34	4.55	0.10	230.03	70.78	230	182.04	0.05	5.05e-04	Fácil

En la figura 244 tenemos el tiempo de llenado del elemento cavidad entrada de aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

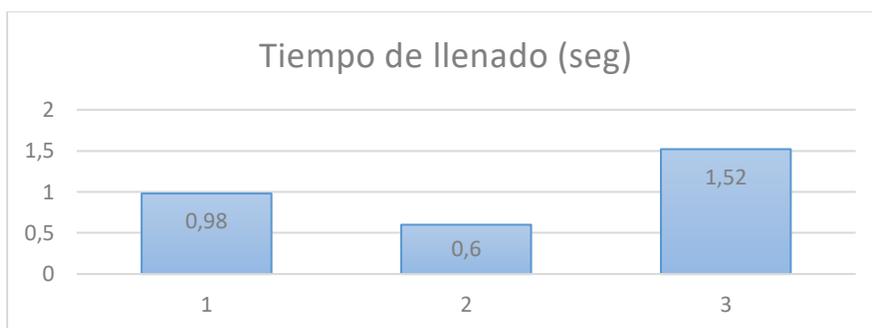


Figura 244. Tiempo de llenado.

En la figura 245 tenemos la presión al final del llenado del elemento cavidad entrada de aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

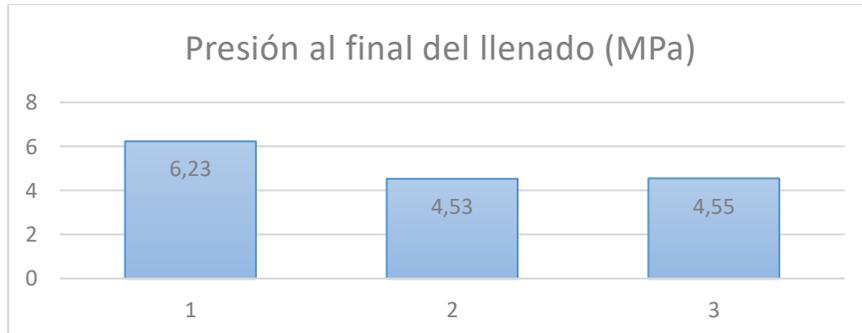


Figura 245. Presión al final del llenado.

En la figura 246 tenemos la temperatura al final del llenado del elemento cavidad entrada de aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

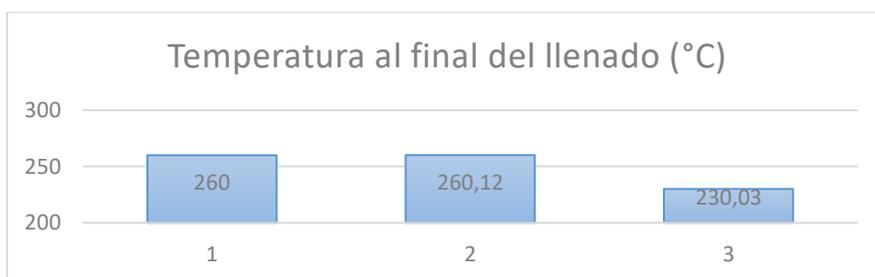


Figura 246. Temperatura al final del llenado.

En la figura 247 tenemos la temperatura de frente de flujo del elemento cavidad entrada de aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20% Bambu



Figura 247. Temperatura de frente de flujo.

En la figura 248 tenemos la tensión de cizallamiento del elemento cavidad entrada de aire acondicionado con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20% Bambu

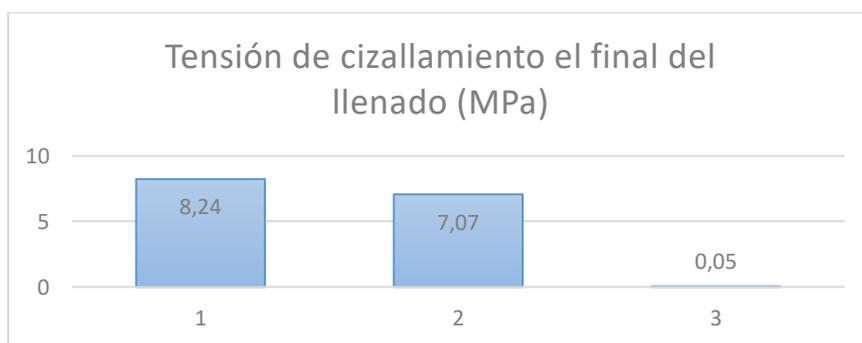


Figura 248. Tensión de cizallamiento al final del llenado.

En la tabla 27 se realiza un análisis de las simulaciones para el elemento de la rejilla de ventilación denominado cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación.

Tabla 27.

Comparación simulación cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación

Materiales	Temperatura del material °C	Temperatura del molde °C	Presión máxima de inyección Mpa	Límite de fuerza de cierre Tonne	Cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación										Facilidad del llenado
					Tiempo de llenado segundos		Presión al final del llenado Mpa		Temperatura al final del llenado °C		Temperatura frente de flujo °C		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
ABS - PC	260	70	100	100	1.06	0.247	4.35	0.10	260.14	134.26	260	241.7	8.43	0	Fácil
PBT -30% Fibra de vidrio	260	90	100	100	0.66	0.1521	4.04	0.10	260.18	133.25	260	237.78	3.85	0	Fácil
PP - 20% BAMBU	230	50	100	100	1.57	0.36	1.49	0.10	230	92.61	230	186.21	0.09	0	Fácil

En la figura 249 tenemos el tiempo de llenado del elemento cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

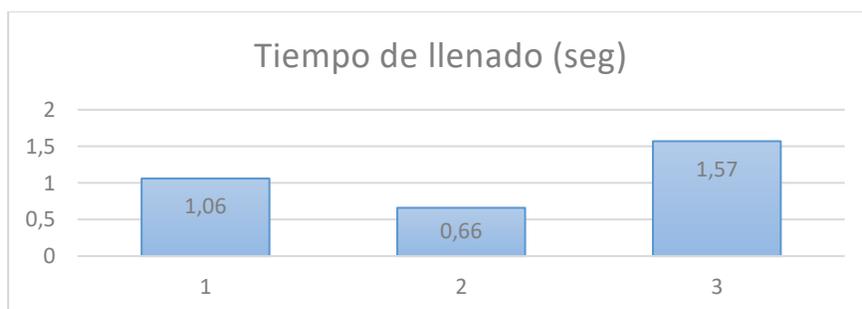


Figura 249. Tiempo de llenado.

En la figura 250 tenemos la presión al final del llenado del elemento cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

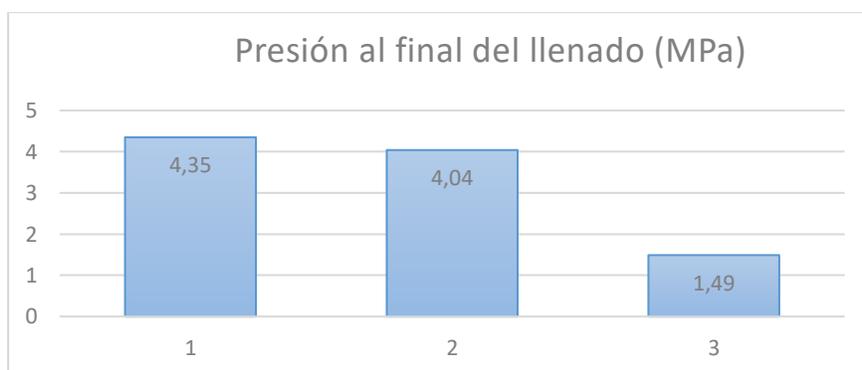


Figura 250. Presión al final del llenado.

En la figura 251 tenemos la temperatura al final del llenado del elemento cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu.

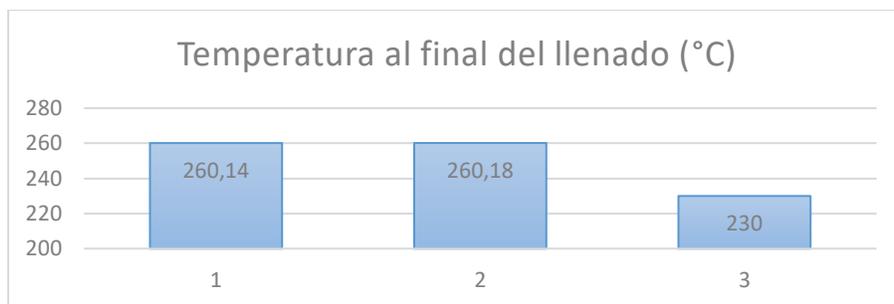


Figura 251. Temperatura al final del llenado.

En la figura 252 tenemos la temperatura de frente de flujo del elemento cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

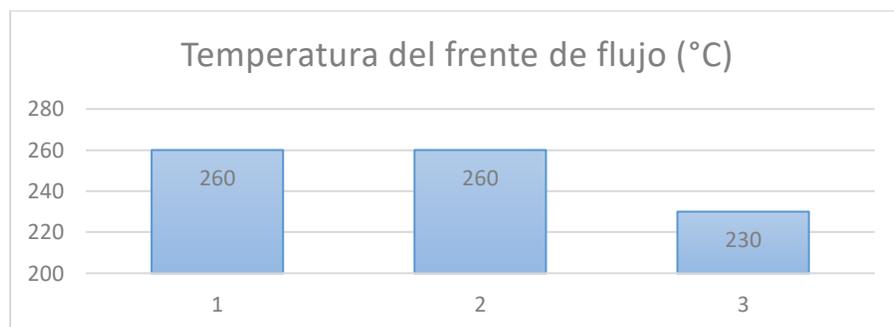


Figura 252. Temperatura de frente de flujo.

En la figura 253 tenemos la tensión de cizallamiento del elemento cavidad donde se alojan las aletas de la rejilla de ventilación con la siguiente codificación de materiales: 1 PC-ABS, 2 PBT-20%Fibra de vidrio y 3 PP-20%Bambu

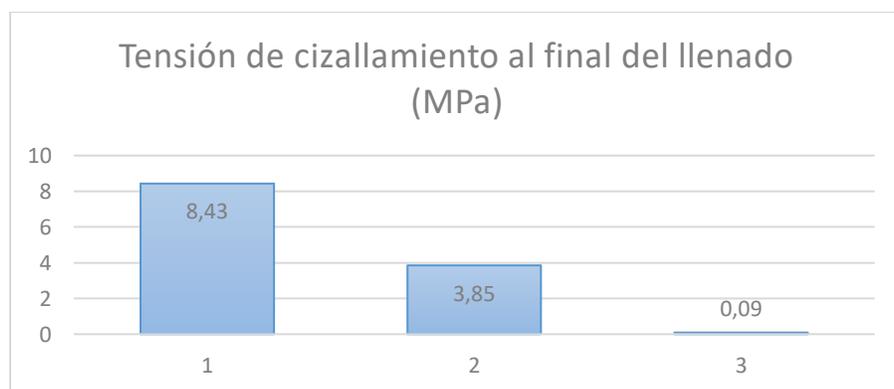


Figura 253. Tensión de cizallamiento al final del llenado.

Discusión de Resultados

Para el estudio realizado se planea la elección de un material compuesto alternativo para la fabricación de la rejilla de ventilación del Kia Rio 2018, sobre la cual de manera investigativa se analizan muchas opciones de variables para decidir el candidato idóneo de una variedad de materiales compuesto con diferentes materias primas como elemento base y diferentes materiales de aporte que se puedan conseguir en el medio local, es por esto que se planifica una metodología de investigación para el correcto análisis e inicio de la selección de materiales, definiendo las características que los materiales candidatos deberán cumplir como mínimo para ser parte del análisis.

“Con el avance de los enfoques interdisciplinarios en la ingeniería moderna actual, los esfuerzos actuales en el diseño óptimo de compuestos incluyen la búsqueda de protocolos de selección de materiales que puedan considerar simultáneamente una serie de criterios de costos mecánicos / eléctricos / químicos sobre un conjunto de opciones de materiales alternativos, y tener muy en cuenta los aspectos medioambientales de los productos finales, incluido el reciclaje y las opciones de eliminación al final de su vida útil”(Milani et al., 2011), todo esto haciendo uso de MCDM para obtener la selección óptima que mejor resuelva los conflictos que se puedan dar en función a las diferentes variables que se analicen para los diferentes materiales.

En función a lo planificado en el estudio se establecen varios candidatos para su análisis de acuerdo a sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas, costos, disponibilidad en el medio local y ser un material compuesto, las características antes mencionadas serán la variables de estudio y serán también con las que se analizaran a los materiales candidatos, para este caso los materiales postulantes son Polipropileno con 20 de fibra de Vidrio, Tereftalato de polibutileno con 20% de

fibra de vidrio y Polipropileno con 20 de fibra de Bambú, de los que se seleccionará al material ideal para sustituir al original.

La primera herramienta de uso que se propone es la toma de decisiones por el método de multicriterios, pero antes de aplicar el MCDM, los materiales candidatos tienen que ser evaluados como pesos de ponderación para cada una de sus características, es por esta razón que se ha utilizado el método de desviación estándar, ya que ofrece información más notoria de los resultados en comparación a los otros métodos de ponderación de pesos como son la entropía y la variación estándar. Por lo que se utilizó los resultados de la desviación estándar para el análisis por MCDM.

Obtenidos los valores de la ponderación para cada una de las variables y como menciona (Martínez Gómez et al., 2018) la selección por el método multicriterio da la importancia a cada una de las variables de análisis siendo una opción muy valiosa para la adecuada selección del material debido a que considera las alternativas de manera más crítica permitiéndonos obtener el mejor resultado.

Obtenidos los pesos de las variables por el método de ponderación de la desviación estándar aplicaremos para el estudio la selección del material por el método multicriterio COPRAS, en el cual se realiza una valoración sobre 100% donde el ganador es el que obtiene este valor, para este caso el material que consiguió el valor máximo fue el Polipropileno con 20% de fibra de Bambú seguido por el Polipropileno con fibra de vidrio obteniendo 82.62% y finalmente el Tereftalato de polibutileno con 20% de fibra de vidrio obteniendo un 66,04% los mismos que se encuentran en la tabla 19.

En la figura 254 tenemos la comparación de los materiales en función a su ranking obtenido por el método compras con la siguiente denominación M1 - Polipropilenos con fibra de vidrio, M2 - Tereftalato de polibutileno y M3 Polipropileno con 20% de fibra de bambu. Como se menciona anteriormente el material que se presenta como ganador es el M3.

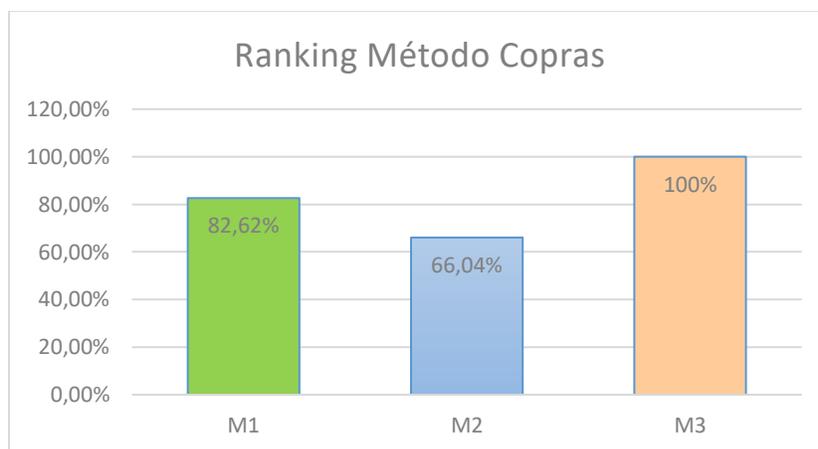


Figura 254. Ranking Método Copras.

Comparación de resultados Simulación

Los resultados de la simulación de la inyección de plástico se presentan a continuación para cada uno de los elementos.

En la tabla 28 se expresa los valores de la simulación para todos los elementos de la rejilla de ventilación en función a la variable tiempo de llenado obteniendo como se observa en la figura 251 el mejor tiempo de llenado promedio tiene el material PBT-20% de vidrio con un llenado promedio de 1 segundo, pero los tiempos no varían demasiado con los demás siendo el que presenta mayor tiempo de llenado el PP-20% de fibra de bambú con un valor promedio 1.8 segundos

Tabla 28
Tiempo de llenado

Materiales	Mascarilla de protección		Aleta regulación		Aleta geometría 1		Aleta geometría 2		Aleta geometría 3		Cavidad aletas	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
ABS - PC	1.698	0.0240	1,57	0.0051	1,18	7.84e-05	0,905	1.07e-4	1,16	8.31e-05	0,98	0.17
PBT - 30% Fibra de vidrio	1.0554	0.0101	0,9924	0.0054	0,826	5.47e-05	0,65	7.56e-04	0,81	5.83e-05	0,6	0.1
PP - 20% BAMBU	2.507	0.0241	2,15	0.0074	1,79	1,15E-01	1,35	1.59e-04	1,71	1.21e-04	1,52	0.34

En la figura 255 se representa los valores máximos del tiempo de llenado de la tabla 28

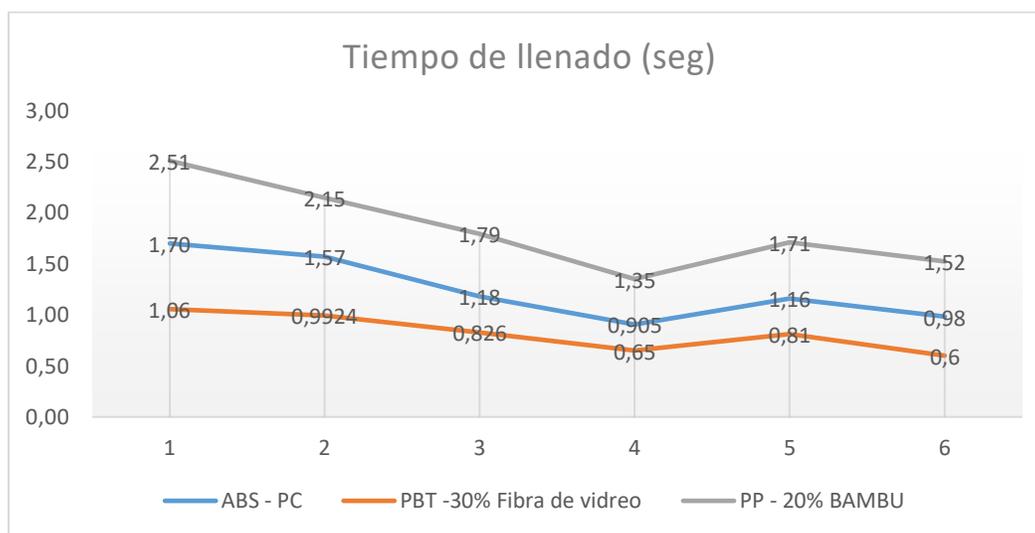


Figura 255. Ranking Tiempo de llenado.

En la tabla 29 se expresa los valores de la simulación para todos los elementos de la rejilla de ventilación en función a la variable presión al final del llenado obteniendo como se observa en la figura 256 que en función a la presión al final del llenado el material Pp-20% de fibra de bambú es el mejor con una presión promedio de 7.2 MPa y el PBT-20% fibra de vidrio es el peor en función a la presión de llenado ya que se necesita más presión para elaborar los mismo elementos

con un promedio de presión de 35.4 MPa que es mayor que la que se necesita para elaborar las misma piezas con el material original con un promedio de 31.4 MPa.

Tabla 29*Presión al final de llenado*

Elementos	Mascarilla de protección		Aleta regulación		Aleta geometría 1		Aleta geometría 2		Aleta geometría 3		Cavidad aletas	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
ABS - PC	29,1	0,10	87,68	0,11	21,45	0,10	23,81	0,11	20,08	0,10	6,23	0,10
PBT - 30% Fibra de vidrio	48,55	0,10	100,1	0,42	17,23	0,10	26,4	0,10	15,82	0,10	4,53	0,10
PP - 20% BAMBU	10,32	0,10	8,08	0,10	6,07	0,10	8,36	0,10	5,6	0,10	4,55	0,10

En la figura 256 se representan los valores máximos de la presión al final del llenado obtenidos de la tabla 29

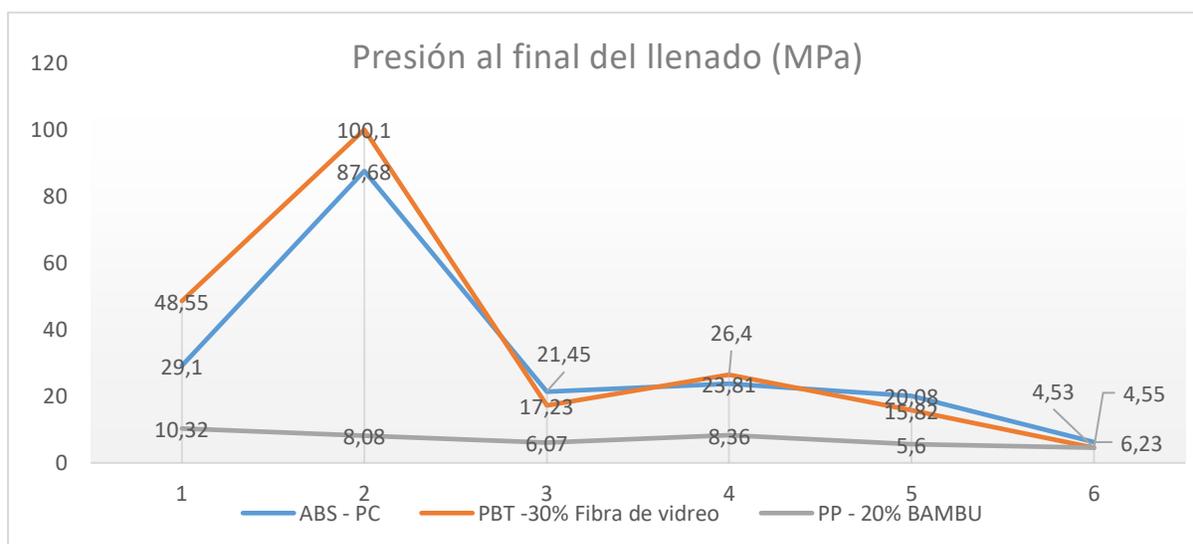


Figura 256. Ranking Presión final del llenado.

En la tabla 30 se expresa los valores de la simulación para todos los elementos de la rejilla de ventilación en función a la variable temperatura al final del llenado obteniendo como se observa en la figura 257, que el que presenta mejor temperatura es el PP-20% fibra de bambú con un valor de 230°C lo que permite un enfriamiento más rápido de los elementos sin recurrir demasiado a un enfriamiento forzado, tanto el material original como el peor de los candidatos tiene una temperatura al final del llenado de 260°C.

Tabla 30
Temperatura al final de llenado

Elementos	Mascarilla de protección		Aleta regulación		Aleta geometría 1		Aleta geometría 2		Aleta geometría 3		Cavidad aletas	
	Temperatura al final del llenado °C											
ABS - PC	Max 260,37 Min 117,29	Max 264,3 Min 92,20	Max 260,37 Min 96,48	Max 261,3 Min 81,05	Max 260,41 Min 96,13	Max 260 Min 128,79						
PBT - 30% Fibra de vidrio	Max 260,08 Min 120,55	Max 260 Min 104	Max 260,53 Min 110,73	Max 260,51 Min 90,51	Max 260,57 Min 109,94	Max 260,12 Min 145,44						
PP - 20% BAMBU	Max 230 Min 73,53	Max 230 Min 61,20	Max 230,02 Min 66,67	Max 230,01 Min 54,38	Max 230,02 Min 66,19	Max 230,03 Min 70,78						

En la figura 257 se representan los valores máximos de la temperatura al final del llenado obtenidos de la tabla 30

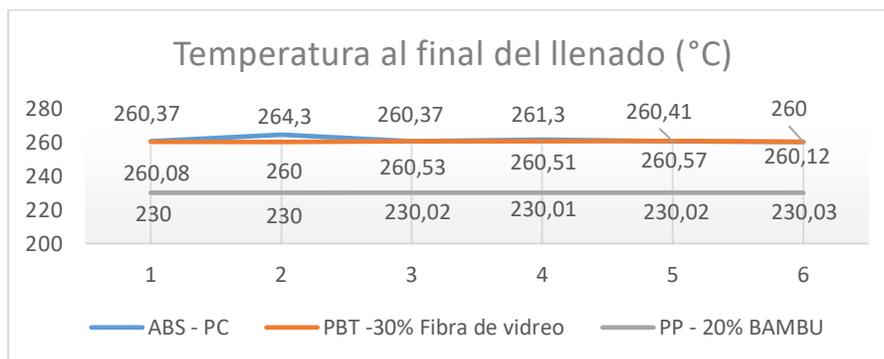


Figura 257. Ranking Temperatura al final del llenado.

En la tabla 31 se expresa los valores de la simulación para todos los elementos de la rejilla de ventilación en función a la variable temperatura de frente de flujo representados en la figura 258, en este punto todos los materiales se comportan bien ya que ninguno sufre durante las simulaciones de la inyección de plásticos variaciones mayores de +/-10 grados centígrados, lo que ocasionaría posibles quemaduras en el material o solidificación temprana.

Tabla 31
Temperatura frente de flujo

Elementos	Mascarilla de protección		Aleta regulación		Aleta geometría 1		Aleta geometría 2		Aleta geometría 3		Cavidad aletas	
	Temperatura frente de flujo		Temperatura frente de flujo		Temperatura frente de flujo		Temperatura frente de flujo		Temperatura frente de flujo		Temperatura frente de flujo	
	°C		°C		°C		°C		°C		°C	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
ABS - PC	259,17	245.823	259,6	182.73	260,47	242.92	260,68	228.86	260,46	247.6	260	224.31
PBT - 30% Fibra de vidrio	259,37	249.08	259,6	164.32	260,64	245.17	260	214	260,61	249.61	260	230
PP - 20% BAMBU	229,1	209.08	229,1	94	230	206	230	160.9	230	211.46	230	182.04

En la figura 258 se representan los valores máximos de la temperatura del frente de flujo obtenidos de la tabla 31

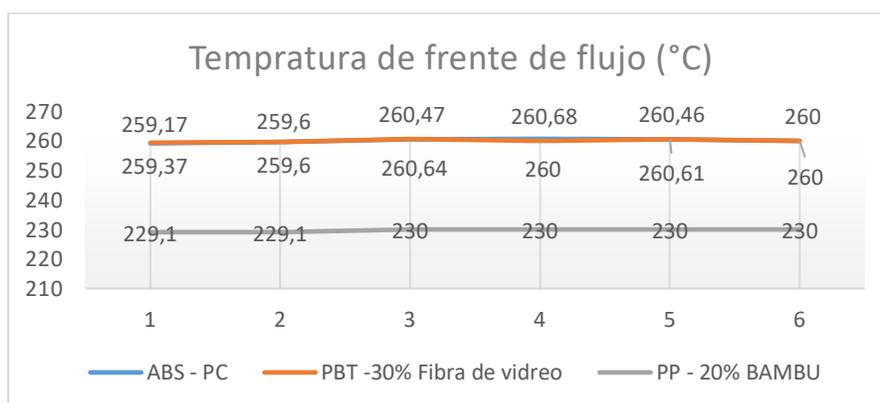


Figura 258. Ranking Temperatura del frente de flujo.

En la tabla 32 se expresa los valores de la simulación para todos los elementos de la rejilla de ventilación en función a la variable tensión de cizallamiento al final del llenado representados en la figura 259, se observa que el PP-20% fibra de bambú tiene la menor tensión de cizallamiento al final del llenado lo que lo coloca con el mejor material de los tres para esta variable con un promedio de tensión de cizallamiento de 0.1 MPa y el peor de los tres es el material original con un promedio de tensión de cizallamiento de 6.27 MPa.

Tabla 32*Tensión de cizallamiento al final del llenado*

Elementos	Mascarilla de protección		Aleta regulación		Aleta geometría 1		Aleta geometría 2		Aleta geometría 3		Cavidad aletas	
	Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa		Tensión de cizallamiento al final del llenado Mpa	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
ABS – PC	2,71	0.06	12,67	0.01	4,17	0	6,23	0	3,62	0	8,24	0
PBT - 30% Fibra de vidrio	0,81	0.04	6,31	0	0,36	0	0,85	0	0,36	3.56-04	7,07	0
PP – 20% BAMBU	0,09	0	0,15	0	0,08	2.20e-04	0,15	5.759	0,08	0	0,05	5.05e-04

En la figura 259 se representan los valores máximos de la tensión de cizallamiento al final del llenado obtenidos de la tabla 32

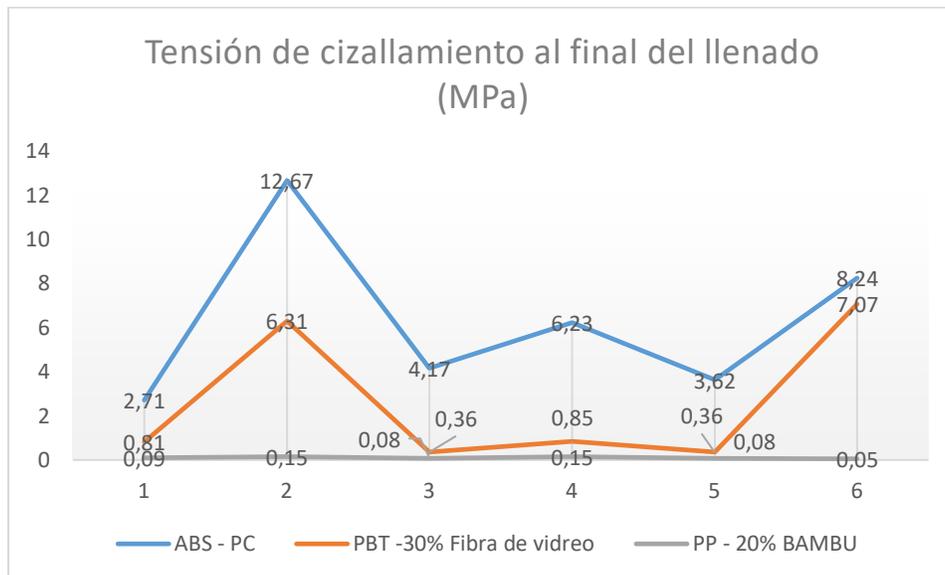


Figura 259. Ranking Tensión de cizallamiento.

Como se observa en la mayoría de las simulaciones el material ganador es el PP-20% de fibra de bambú, corroborando el resultado obtenido del MCDM.

Conclusiones

El uso del método multicriterio COPRAS permitió obtener el candidato ideal para reemplazar el material original gracias al análisis desde varios puntos de vista señalando como ganador el de mayor valor con un máximo de 100%, obteniéndose que el Polipropileno con 20% de fibra de bambú es el material ideal para reemplazar el original.

El PP-20% fibra de bambú es una oportunidad de reemplazo ideal debido a que la fibra de bambú se puede conseguir en el país en varias provincias del Ecuador, lo que evitará la importación de materias primas que no se obtienen en el medio local.

El uso del software SolidWorks se constituyó en una herramienta muy útil que permitió obtener el modelado 3D de la rejilla de ventilación y a su vez cada uno de los elementos que forman la misma para su posterior análisis plástico.

La simulación del proceso de modelado por inyección de plástico realizado a los diferentes elementos con el material original, el material de reemplazo ideal y el menos ideal corroboró en la mayoría de variables de estudio que el material PP-20 fibra de bambú es el candidato ideal para reemplazar el original.

El método de multicriterio Copras y la simulación de inyección de plásticos evidenciaron que el PP-20% fibra de Bambú es el material ideal para la elaboración de la rejilla de ventilación como reemplazo del ABS-PC, demostrando que el MCDM es una herramienta ideal para escoger un candidato idóneo entre varias alternativas.

Recomendaciones

Los materiales que se seleccionaron para la investigación demostraron que todos tiene potencial para ser utilizados en la fabricación de accesorios plásticos en la industria automotriz, se recomienda realizar investigaciones futuras con dichos materiales con la adaptación de otras fibras naturales en su base polimérica.

Se recomienda también en base a la investigación realizar una comparación entre los procesos de manufactura de inyección por plástico y el proceso de manufactura aditiva para la fabricación de autopartes que no necesiten producción en masa.

Referencias bibliográficas

- AEADE. (2020). SECTOR AUTOMOTOR. *Sector Automotor En Cifras*, 42(42), 15.
- Ahmed Ali, B. A., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., & Othman, M. (2015). Implementation of the expert decision system for environmental assessment in composite materials selection for automotive components. *Journal of Cleaner Production*, 107, 557–567.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.084>
- Alaaeddin, M. H., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Zainudin, E. S., & Oqla, F. M. A.-. (2019). Polymer matrix materials selection for short sugar palm composites using integrated multi criteria evaluation method. *Composites Part B*, 176(July), 107342.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107342>
- Albert Seldon, P., & Abilash, N. (2020). Appraisal on Varied Natural and Artificial Fiber Reinforced Polymeric Composites. *Materials Today: Proceedings*, 22, 3213–3219.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.459>
- Andrade, A. E. (2019). *Universidad Internacional SEK*.
- Ap, C. H. (2017). Chapter 3 - Composite Materials. In *Composite Materials* (Vol. 72). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802507-9/00003-9>
- Begum, S. A., Rane, A. V., & Kanny, K. (2019). Applications of compatibilized polymer blends in automobile industry. In *Compatibilization of Polymer Blends: Micro and Nano Scale Phase Morphologies, Interphase Characterization, and Properties*. Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816006-0.00020-7>
- Beltrán, A., & Marcilla, M. (n.d.). *Tema 1. estructura y propiedades de los polímeros 1*. (pp. 1–

42).

Beltrán Rico, M., & Marcilla, A. (2011). Inyección. *Tecnología de Polímeros, Ciencias*, 276.

Bi, Z. (2018). Decomposition 2.1. In *Aplicaciones de análisis de elementos finitos* (pp. 31–60).

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809952-0.00002-9>

Bledzki, A., & Sperber, V. (2007). Comportamientos Recientes y Aplicaciones de Polímeros

Rellenos de Fibra Natural. *8 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, May*, 1–9.

https://www.researchgate.net/profile/Andrzej_Bledzki2/publication/242208717_Comportamientos_Recientes_y_Aplicaciones_de_Polimeros_Rellenos_de_Fibra_Natural/links/555ef89b08ae86c06b5f6239.pdf

Bubna, P., Humbert, M. P., Wiseman, M., & Manes, E. (2018). *Barriers to Entry in Automotive Production and Opportunities with Emerging Additive Manufacturing Techniques. Table 1.*

<https://doi.org/10.4271/2016-01-0329>. Copyright

Candal, M. V. (2005). Integración CAD/CAE/CAM-PR en la optimización del diseño de productos plásticos: caso de estudio Plastic products design optimization using integration between CAD/CAE/CAM and PR: study case. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 26(3).

<http://www.redalyc.org/pdf/5075/507550775005.pdf>

Chatterjee, P., & Chakraborty, S. (2012). Material selection using preferential ranking methods.

Materials and Design, 35, 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.09.027>

Chegdani, F., Takabi, B., El Mansori, M., Tai, B. L., & Bukkapatnam, S. T. S. (2020). Effect of flax fiber orientation on machining behavior and surface finish of natural fiber reinforced polymer composites. *Journal of Manufacturing Processes*, 54(November 2018), 337–346.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.03.025>

Chen, C. P., Chuang, M. T., Hsiao, Y. H., Yang, Y. K., & Tsai, C. H. (2009). Simulation and experimental study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis. *Expert Systems with Applications*, 36(7), 10752–10759. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.017>

Coreño, J. A., & Teresa, M. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación Química*, 21(4), 291–299.

Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*.

Delgado, A. I. (2018). *Estudio de la factibilidad técnica de remplazar poliestireno de alto impacto (PAI) por un compuesto bio-basado reforzado con fibra natural (PP-GAK) en la inyección de bridas de cordón de seguridad incorporadas en refrigeradoras domésticas*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16255/1/UPS-CT007905.pdf>

Devnani, G. L., & Sinha, S. (2019). Effect of nanofillers on the properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 18, 647–654. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.460>

Estrada García, J. M., & Meza Puesto, J. H. (2002). *Asignación De Pesos No Subjetivos, Para La Valuación*. 2024306, 35–45.

Gómez González, S. (2017). *Mallado y simulación CFD de automóvil*. 100.

González-Prolongo, M. (1997). *Propiedades químicas y físicas de polímeros INTRODUCCIÓN SOLUBILIDAD DE POLÍMEROS*. 65–95.

Grajales-quintero, A., Serrano-, E. D., & Von-h, C. M. H. (2015). Determinación Del Caudal Ambiental Y Su Relación Con Variables Indicadoras De Calidad Del Recurso Hídrico.

Luna Azul, 40, 285–306. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.2>

Henning, F., Kärger, L., Dörr, D., Schirmaier, F. J., Seuffert, J., & Bernath, A. (2019). Fast processing and continuous simulation of automotive structural composite components.

Composites Science and Technology, 171, 261–279.

<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.12.007>

Hernández, J. (2016). *Universidad tecnológica equinoccial*. Universidad Tecnológica Equinoccial.

Hong, J., Kim, S. K., & Cho, Y. H. (2020). Flow and solidification of semi-crystalline polymer during micro-injection molding. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 153,

119576. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119576>

Kim, Y. K., & Chalivendra, V. (2020). Natural fibre composites (NFCs) for construction and automotive industries. In *Handbook of Natural Fibres* (Issue 2000). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818782-1.00014-6>

Lee, D. C., & Han, C. S. (2009). CAE (computer aided engineering) driven durability model verification for the automotive structure development. *Finite Elements in Analysis and*

Design, 45(5), 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.finel.2008.10.004>

Lucas, V., & Rivero, R. (2018). *Evolución del uso de los materiales plásticos en la industria automotriz* *Evolution of the use of plastic materials in the automotive industry*. 3(12), 17–

27.

- Maghsoudi, K., Jafari, R., Momen, G., & Farzaneh, M. (2017). Micro-nanostructured polymer surfaces using injection molding: A review. *Materials Today Communications*, *13*, 126–143. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.09.013>
- Majewski, T., & Bledzki, A. (2013). Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz. *Ideas En Ciencia*, *52*(222), 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2007.02.029>
- Mansor, M. R., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Nuraini, A. A., & Hambali, A. (2013). Hybrid natural and glass fibers reinforced polymer composites material selection using Analytical Hierarchy Process for automotive brake lever design. *Materials and Design*, *51*, 484–492. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.072>
- Mansor, M. R., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Nuraini, A. A., & Hambali, A. (2014). Conceptual design of kenaf fiber polymer composite automotive parking brake lever using integrated TRIZ-Morphological Chart-Analytic Hierarchy Process method. *Materials and Design*, *54*, 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.064>
- Martínez Gómez, J., Chérrez Troya, M., Llanes Cedeño, E. A., & Peralta Zurita, D. (2018). Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno. *Ingenius*, *20*, 83–95. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.08>
- Mata, F. (2004). Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de automóviles. *Técnica Industrial*, *254*, 43–47. www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/13/40/a40.pdf
- Milani, A. S., Eskicioglu, C., Robles, K., Bujun, K., & Hosseini-Nasab, H. (2011). Multiple

criteria decision making with life cycle assessment for material selection of composites.

Express Polymer Letters, 5(12), 1062–1074.

<https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.104>

Miravete, A. (n.d.). *Materiales Compuestos* (pp. 123–139).

Muñoz Pinto, F. (2014). Procesamiento y propiedades de algunas poliolefinas. *Ehu.Eus*, 13.

<http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/DIC/Fidel.PDF>

Patil, A., Patel, A., & Purohit, R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3807–3815.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278>

Pereira, E. R., Fajardo, L. D. P., Linck, C., Alves, A. L., & Campomanes, R. M. (2016). *Estudio De Las Alteraciones En El Índice De Fluidéz En Muestras De Pead Reciclado De Residuos Plásticos Inyectados, Sometidas a Envejecimiento Natural*.

Polycarbonate-ABS. (n.d.). 245.

Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., & Pruncu, C. I. (2019). Recent progress of reinforcement materials: A comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials*

Research and Technology, 8(6), 6354–6374. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>

Ramos, P. F. (n.d.). *Algunas consideraciones sobre el método de los elementos finitos en la ingeniería mecánica*. (pp. 1–35).

Rocha, M. C., Coutinho, F. M., & Balke, S. (1994). Índice de Fluidéz: Uma Variável de Controle de Processos de Degradação Controlada de Polipropileno por Extrusão Reativa. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, 4(3), 33–37.

- Rwawiire, S., Tomkova, B., Militky, J., Jabbar, A., & Kale, B. M. (2015). Development of a biocomposite based on green epoxy polymer and natural cellulose fabric (bark cloth) for automotive instrument panel applications. *Composites Part B: Engineering*, *81*, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.06.021>
- Saindane, U. V., Soni, S., & Menghani, J. V. (2020). Recent research status on synthesis and characterization of natural fibers reinforced polymer composites and modern friction materials – An overview. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*, 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.334>
- Serban, D., Lamanna, G., & Opran, C. G. (2019). Mixing, conveying and injection molding hybrid system for conductive polymer composites. *Procedia CIRP*, *81*, 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.175>
- Sin, L. T., Rahman, W. A. W. A., Rahmat, A. R., Tee, T. T., Bee, S. T., & Chong-Yu, L. (2012). Computer aided injection moulding process analysis of polyvinyl alcohol-starch green biodegradable polymer compound. *Journal of Manufacturing Processes*, *14*(1), 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2011.06.001>
- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Revista tecnológica. *Revista Tecnológica - ESPOL*, *19*(1), 113–120. <http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/210/153>
- Verma, D., & Senal, I. (2019). Natural fiber-reinforced polymer composites. In *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy: Construction, Biomedical, and other Industrial Applications*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102426-3.00006-0>

Wu, T., Jahan, S. A., Zhang, Y., Zhang, J., Elmounayri, H., & Tovar, A. (2017). Design Optimization of Plastic Injection Tooling for Additive Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, *10*, 923–934. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.082>