

INGENIARITZA MEKANIKOKO GRADUA  
**GRADU AMAIERAKO LANA**

***HONDAR GALDAKETARAKO MOLDE BATEN  
DISEINUA ELEMENTU FINITUEN BITARTEZ***

**Ikaslea:** Eibar, Arambarri, Unai

**Zuzendaria:** Alonso, Pinillos, Unai

**Ikasturtea:** 2020-2021

**Data:** Bilbo, 2021, ekaina, 17

---

## Laburpen hirueleduna (euskara/ gaztelania/ingeleza) + hitz gakoak

**Laburpena:** Hondarreko galdaketak, gehien erabiltzen den galdaketa prozesuak, hondarrezko moldeak erabiltzen ditu ia edozein aleaziotz egin daitezkeen pieza metaliko konplexuak osatzeko. Hondarreko moldea suntsitu behar denez, galdaketa deritzon pieza kentzeko, harea galdatzeak normalean ekoizpen tasa baxua du. Hondar galdaketa prozesuak labe bat, metala, patroia eta harea moldea erabiltzea dakar.

Gratu Amaierako Lan honetan hondar galdaketarako molde baten diseinua egin da elementu finituen metodoan oinarrituta, lehendabizi kalkulu konbentzionalak eginez.

Moldearen diseinua aztertzeko, ondorengo parametroak aztertu dira QuikCAST programaren bidez: Moldearen betetzea, piezaren solidotzea, fluxuaren abiadura moldean zehar eta uzkurdurak piezan.

**Resumen:** La fundición en arena, el proceso de fundición más utilizado, utiliza moldes de arena para formar piezas metálicas complejas que pueden estar hechas de casi cualquier aleación. Debido a que el molde de arena debe destruirse para quitar la pieza, llamada fundición, la fundición en arena generalmente tiene una tasa de producción baja. El proceso de fundición en arena implica el uso de un horno, metal, patrón y molde de arena.

En este Trabajo Fin de Grado se ha realizado el diseño de un molde para fundición de arena basado en el método de elementos finitos, realizando en primer lugar cálculos convencionales.

Para analizar el diseño del molde se han analizado los siguientes parámetros mediante el programa QuikCAST: Llenado del molde, solidificación de la pieza, velocidad del flujo a lo largo del molde y las contracciones en la pieza.

**Summary:** Sand casting, the most widely used casting process, utilizes expendable sand molds to form complex metal parts that can be made of nearly any alloy. Because the sand mold must be destroyed in order to remove the part, called the casting, sand casting typically has a low production rate. The sand casting process involves the use of a furnace, metal, pattern, and sand mold.

In this Final Degree Work the design of a sand casting mold based on the finite element method has been carried out, firstly making conventional calculations.

To analyze the mold design, the following parameters have been analyzed using the QuikCAST program: mold filling, part solidification, flow speed along the mold and contractions in the part.

## Hitz gakoak

Hondar galdaketa; Moldea; Pieza; Mazarota; Elikatzea-sistema; Kanala; Eraso; Diskoa; Polea; QuikCAST; Betetzea; Solidotzea; Abiadura; Uzkurdura.

## AURKIBIDEA

<b>1. SARRERA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. GALDAKETA MOTAK.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. MOLDE APURKORRA .....	2
1.1.2. MOLDE IRAUNKORRA.....	5
<b>1.2. HONDAR BERDEZKO GALDAKETA.....</b>	<b>7</b>
1.2.1. MOLDEAREN ATALAK .....	9
1.2.2. MOLDEAKETAREN URRATSAK.....	10
1.2.3. AKATSAK .....	11
1.2.4. ELIKATZE SISTEMA.....	12
<b>1.3. FLUIDOTASUNA .....</b>	<b>14</b>
1.3.1. FLUIDOTASUNAREN NEURKETA.....	15
1.3.2. FLUIDOTASUNEAN ERAGINA DAUKATEN ALDAGAIK .....	15
<b>1.4. MOLDEAREN EZAUGARRIAK.....</b>	<b>17</b>
<b>2. LANAREN HELBURUAK ETA HEDADURA.....</b>	<b>18</b>
2.1. HELBURUAK .....	18
2.2. HEDADURA .....	18
2.3. LANAREN PLANGINTZA .....	23
<b>3. LANAREN ONURAK .....</b>	<b>24</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. FORMULA ENPIRIKOEN AZALPENA .....</b>	<b>25</b>
4.1.1. MAZAROTAK.....	25
4.1.2. ELIKATZE SISTEMA .....	32
<b>4.2. FORMULA ENPIRIKOEN BALIAGARRITASUNAREN AZTERKETA ETA GALDAKETA     PROZESUAREN DISEINUAREN INFLUENTZIA .....</b>	<b>37</b>
4.2.1. ARAZOAREN AURKEZPENA .....	37
4.2.2. AUREDIMENTSIONAKETA .....	38
4.2.3. SIMULAZIOEN METODOLOGIA.....	49
4.2.4. EGINGO DIREN SIMULAZIOAK.....	49
<b>4.3. PIEZA INDUSTRIAL BATEN DISEINUA.....</b>	<b>51</b>
4.3.1. POLEA.....	51
4.3.2. AUREDIMENTSIONAKETA .....	52
<b>5. EMAITZAK .....</b>	<b>58</b>

---

<b>5.1. DISKOAREN EMAITZAK .....</b>	<b>58</b>
5.1.1. MAILATUAREN ERAGINA.....	58
5.1.2. MAZAROTEN ERAGINA.....	59
5.1.3. BETETZE DENBORA .....	64
5.1.4. KANAL ETA ERASOEN GEOMETRIA .....	67
5.1.5. ERASO KOPURUA.....	70
<b>5.2. PIEZA KOMERTZIALAREN EMAITZAK.....</b>	<b>73</b>
5.2.1. HASIERAKO DISEINUA .....	73
5.2.1. HOZKAILUAK ERABILITA .....	75
<b>6. AURREKONTUA .....</b>	<b>76</b>
6.1. KOSTU ZUZENAK .....	76
6.2. AURREKONTU PARTZIALAK .....	77
6.2.1. KOSTU ZUZENEN AURREKONTUA.....	77
6.2.2. ZEHARKAKO KOSTUAK .....	77
6.3. GRADU AMAIREAKO LANAREN AURREKONTU OSOA .....	78
<b>7. ONDORIOAK .....</b>	<b>78</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>79</b>
<b>9. ERANSKINAK.....</b>	<b>80</b>
9.1. SIMULAZIOEN METODOLOGIA .....	80
9.2. SIMULAZIOAK.....	92
9.3. PLANOAK .....	128

## Taula eta irudien zerrenda

### Taulak

1. Taula: Lanaren plangintza .....	23
2. Taula: F-8110-ren konposizio kimikoa .....	38
3. Taula: F-8110 altzairuaren ezaugarri mekanikoak .....	38
4. Taula: F-8110 altzairuaren ezaugarri termikoak .....	38
5. Taula: Arau internazionalen arteko baliokidetasuna .....	38
6. Taula: Hare berdearen propietateak.....	38
7. Taula: Simulazioak.....	51
8. Taula: Pertsonal gastuak .....	76
9. Taula: Amortizazioak.....	77

### Irudiak

1. Irudia: Galdaketa motak moldearen arabera sailkatuta .....	2
2. Irudia: CO2 bidezko gogortzea [6].....	3
3. Irudia: Kaskaran egindako galdaketa [6] .....	4
4. Irudia: Eredu galduko galdaketa [6] .....	4
5. Irudia: Argizari galduko moldeaketa [6].....	5
6. Irudia: Kamera beroko injekzioa [11] .....	6
7. Irudia: Kamera hotzeko injekzioa [11] .....	7
8. Irudia: Hare motak [6] .....	7
9. Irudia: Galdaketaren automatizazioa [6].....	8
10. Irudia: Zurruntasun eta iragazkortasun erlazioen grafika [6].....	9
11. Irudia: Moldearen zurruntasuna eta hormen mugimenduaren erlazioa [6] .....	9
12. Irudia: Moldearen atalak [6] .....	10
13. Irudia: Galdaketaren urratsak [6].....	10
14. Irudia: Piezaren materialen araberako kontrakzioa [6] .....	11
15. Irudia: Irteera angeluak [6].....	11
16. Irudia: Galdaketan sortutako akatsak [2].....	12
17. Irudia: Elikatze sistema [7] .....	13
18. Irudia: Isurketa zuzena, hondotiko isurketa eta alboko isurketa [12] .....	13
19. Irudia: Isurketa mailakatua [3] .....	14
20. Irudia: Isurketa horizontala [3].....	14
21. Irudia: Fluidotasunaren azterketa [1].....	15
22. Irudia: Gainberotzearen eta fluidotasunaren erlazioa [1] .....	16
23. Irudia: Fluidotasunaren eta konposizioaren arteko erlazioa [1] .....	16
24. Irudia: Gantt-en diagrama.....	24
25. Irudia: Metodologiaren egitura.....	25
26. Irudia: Solidotze prozesuaren uzurtze motak [8] .....	25
27. Irudia: Solidotze denboraren eta geruzaren lodieraren erlazioa [2].....	26
28. Irudia: Eragin erradioa barretan [7] .....	27
29. Irudia: Eragin erradio barretan hozkailuekin [7] .....	28
30. Irudia: Eragin erradioa xafletan [7] .....	28
31. Irudia: Eragin erradioak xafletan hozkailuekin [7] .....	28

32. Irudia: Hozkailuen dimentsionaketa [5] .....	29
33. Irudia: Forma klasikoen hozte-moduluak [3] .....	30
34. Irudia: Caine-ren kurba [7] .....	30
35. Irudia: Bishop kurba [3] .....	31
36. Irudia: Mazarotak kalkulatzeko prozedura .....	32
37. Irudia: Reynolds-en zenbakiaren eragina [7] .....	33
38. Irudia: Betetze denboraren kalkulurako koefizientea [7] .....	33
39. Irudia: Karga galeren koefizientea [7] .....	34
40. Irudia: Isurbidearen puntu desberdinak [3] .....	34
41. Irudia: Altuera barrunbea partizio lerro azpitik dagoenean [9] .....	34
42. Irudia: Altuera barrunbea partizio lerro gainetik dagoenean [9] .....	35
43. Irudia: Puntu desberdinetako altuerak [3] .....	35
44. Irudia: Xurgatze efektua [3] .....	35
45. Irudia: Isurbidearen sekzioaren kalkulua [3] .....	36
46. Irudia: Elikatze sistema kalkulatzeko prozedura .....	36
47. Irudia: Diskoaren dimentsioak .....	37
48. Irudia: Kalkuluak egiteko diskoaren sekzioa .....	39
49. Irudia: Bishop-en kurbako emaitza mazarota birekin .....	39
50. Irudia: Bishop-en kurbako emaitza mazarota batekin .....	40
51. Irudia: Diskoaren moldearen dimentsioa .....	42
52. Irudia: Lehenengo kanalen eta erasoen sekzioa .....	44
53. Irudia: Bigarren kanalen eta erasoen sekzioa .....	45
54. Irudia: Hirugarren kanalen eta erasoen sekzioa .....	46
55. Irudia: Simulazioen metodologia .....	49
56. Irudia: Polearen dimentsioak .....	52
57. Irudia: Polearen kalkuluak egiteko diskoaren sekzioa .....	52
58. Irudia: Lepoen dimentsioa [7] .....	53
59. Irudia: Bishop-en kurbako emaitza mazarota birekin .....	54
60. Irudia: Polearen moldearen dimentsioa .....	55
61. Irudia: Lehenengo kanalen eta erasoen sekzioa .....	57
62. Irudia: Mailatuaren eragina betetzean .....	58
63. Irudia: Mailatuaren eragina abiaduretan (Abiadura m/s-tan) .....	59
64. Irudia: Mailatuaren eragina uzkurduran .....	59
65. Irudia: Mazarota kopuruaren eragina solidotzean (2. simulazioa erabilita) .....	60
66. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina solidotzean (4. simulazioa erabilita) .....	61
67. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina solidotzean (5. simulazioa erabilita) .....	61
68. Irudia: Mazaroten arteko distantziaren eragina solidotzean (6. simulazioa erabilita) .....	62
69. Irudia: Mazarota kopuruaren eragina uzkurduran (2. simulazioa erabilita) .....	62
70. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina uzkurduran (4. simulazioa erabilita) .....	63
71. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina uzkurduran (5. simulazioa erabilita) .....	63
72. Irudia: Mazaroten arteko distantziaren eragina uzkurduran (6. simulazioa erabilita) .....	64
73. Irudia: Betetze denboren eragina abiaduretan (7. sim. erabilita)(Abiadura m/s-tan) .....	64
74. Irudia: Betetze denboren eragina abiaduretan (8. sim. erabilita)(Abiadura m/s-tan) .....	65
75. Irudia: Fronteen batzea 8. simulazioan (abiadurak m/s-tan) .....	65
76. Irudia: Zurrunbiloen bilakaera 8. simulazioan (abiadurak m/s-tan) .....	66
77. Irudia: Momentu bakoitzari dagokion betetzea 8. simulazioan .....	67
78. Irudia: Erasoen sekzioen eragina betetzean (9. simulazioa erabilita) .....	68
79. Irudia: Erasoen sekzioen eragina abiaduretan (9. Sim. erabilita)(Abiadura m/s-tan) .....	68

80. Irudia: Erasoen sekzioen eragina betetzean (10. simulazioa erabilia).....	69
81. Irudia: Erasoen sekzioen eragina abiaduretan (10. sim. erabilia)(Abiadura m/s-tan) .....	69
82. Irudia: Sekzioaren eragina abiaduretan eskala berdinarekin (abiadura m/s-tan) .....	70
83. Irudia: Eraso kopuruen eragina betetzean (11. Simulazioa erabilia).....	70
84. Irudia: Eraso kopuruen eragina abiaduretan (11. sim. erabilia)(Abiadura m/s-tan) .....	71
85. Irudia: Eraso kopuruen eragina betetzean (12. Simulazioa erabilia).....	71
86. Irudia: Eraso kopuruen eragina abiaduretan (12. sim. erabilia)(Abiadura m/s-tan) .....	72
87. Irudia: Erasoen eragina eskala berdinekin (abiadurak m/s-tan) .....	72
88. Irudia: Polearen betetzea.....	73
89. Irudia: Polearen solidotzea (4 une desberdinetan).....	73
90. Irudia: Uzkurdura polean .....	74
91. Irudia: Abiadurak polean (bi une desberdinetan) .....	74
92. Irudia: Hozkailuak polean.....	75
93. Irudia: Hozkailuen eragina solidotzean .....	75
94. Irudia: Hozkailuen eragina uzkurduretan.....	76
95. Irudia: Geometriaren inportazioa .....	80
96. Irudia: Sarreraren definizioa .....	81
97. Irudia: Moldearen definizioa .....	81
98. Irudia: Bolumenen sorrera .....	82
99. Irudia: Bolumenen identifikazioa .....	83
100. Irudia: Mailatuaren definizioa .....	84
101. Irudia: Grabitatearen orientazioa .....	85
102. Irudia: Sarrerako fluxua.....	85
103. Irudia: Sarrerako abiadura .....	86
104. Irudia: Iragazkortasuna .....	86
105. Irudia: Eskualdearen zimurtasuna.....	87
106. Irudia: Sarrerako tenperatura .....	87
107. Irudia: Kanpo bero-trukea.....	88
108. Irudia: Kontaktuarekiko erresistentzia.....	88
109. Irudia: Simulazioaren parametroak.....	89
110. Irudia: Simulazioen garapena.....	90
111. Irudia: Emaitzak irekitzea .....	91
112. Irudia: Betetzea/Solidotzea.....	91
113. Irudia: 1. Simulazioko betetzearen irudiak .....	93
114. Irudia: 1. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	93
115. Irudia: 1. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	94
116. Irudia: 1. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	95
117. Irudia: 1. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	95
118. Irudia: 2. Simulazioko betetzearen irudiak .....	96
119. Irudia: 2. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	97
120. Irudia: 2. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	97
121. Irudia: 2. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	98
122. Irudia: 2. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	98
123. Irudia: 3. Simulazioko betetzearen irudiak .....	99
124. Irudia: 3. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	100
125. Irudia: 3. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	100
126. Irudia: 3. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	101
127. Irudia: 3. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	101

128. Irudia: 4. Simulazioko betetzearen irudiak .....	102
129. Irudia: 4. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	103
130. Irudia: 4. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	103
131. Irudia: 4. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	104
132. Irudia: 4. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	104
133. Irudia: 5. Simulazioko betetzearen irudiak .....	105
134. Irudia: 5. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	106
135. Irudia: 5. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	106
136. Irudia: 5. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	107
137. Irudia: 5. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	107
138. Irudia: 6. Simulazioko betetzearen irudiak .....	108
139. Irudia: 6. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	109
140. Irudia: 6. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	109
141. Irudia: 6. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	110
142. Irudia: 6. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	110
143. Irudia: 7. Simulazioko betetzearen irudiak .....	111
144. Irudia: 7. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	112
145. Irudia: 7. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	112
146. Irudia: 7. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	113
147. Irudia: 7. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	113
148. Irudia: 8. Simulazioko betetzearen irudiak .....	114
149. Irudia: 8. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	115
150. Irudia: 8. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	115
151. Irudia: 8. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	116
152. Irudia: 8. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	116
153. Irudia: 9. Simulazioko betetzearen irudiak .....	117
154. Irudia: 9. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	118
155. Irudia: 9. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	118
156. Irudia: 9. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	119
157. Irudia: 9. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	119
158. Irudia: 10. Simulazioko betetzearen irudiak .....	120
159. Irudia: 10. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	121
160. Irudia: 10. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	121
161. Irudia: 10. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	122
162. Irudia: 10. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	122
163. Irudia: 11. Simulazioko betetzearen irudiak .....	123
164. Irudia: 11. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	124
165. Irudia: 11. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	124
166. Irudia: 11. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	125
167. Irudia: 11. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	125
168. Irudia: 12. Simulazioko betetzearen irudiak .....	126
169. Irudia: 12. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan) .....	127
170. Irudia: 12. Simulazioko tenperaturaren irudiak (tenperatura °C-tan) .....	127
171. Irudia: 12. Simulazioko solidotzearen irudiak .....	128
172. Irudia: 12. Simulazioko uzkurduraren irudiak .....	128



## 1. SARRERA

Moldeaketa galdatutako material bat lortu nahi den piezaren forma duen molde batetan isurtzean oinarritzen den fabrikazio prozesu familia bat da. Galdatutako metala moldearen barruan hozten da solidotu arte, nahi den pieza lortuz. Galdaketa prozesua industria mailan oso erabilia den prozesua da ondorengo arrazoiengatik:

- Piezaren porotasun txikiarengatik
- Forma konplexuak lortzeko ahalmenarengatik
- Tamaina ugariko piezak egiteko gaitasunarengatik, aldakortasun handia dauka prozesuak
- Doitasun dimentsional egokiarengatik

Galdaketa-prozesuak oinarritzko urrats hauek ditu: metal urtua molde batean hustu, manufakturu beharrekotako zatiaren formarekin, solidotzen utzi eta moldearen zatia kentzen da. Beste manufaktura-prozesu guztietan bezala, galdaketaren oinarriak ulertzea funtsezkoa da galdaketa ekonomikoak eta kalitate onekoak egiteko. Honen ostean garrantzitsua da moldeak eta praktikak diseinatzeko teknika egokiak ezartzea. Faktore hauek hartu behar dira kontuan galdaketan:

- Metala molde barruan solidotzea eta hoztea.
- Metal urtuaren fluxua moldearen barrunbean.
- Moldearen material motaren eragina.

Galdaketa existitzen den prozesu mekaniko zaharretako bat dela kontsidera daiteke. Izan ere, dagoeneko K.A. 4000 eta 3000 urteen inguruan harrizko zein metalezko moldeak erabiltzen zituzten kobrea urtzeko. Urteak aurrera joan ahala, prozesu hauek garatuz joan dira baldintza desberdinetara egokituz. Gaur egun erabiltzen diren hainbat erraminta eta pieza galdaketa bidez eginak dira, esate baterako, automobilismorako piezak, trenetako piezak, erraminta elektrikoak etab.

Bi faktorek eragin oso garrantzitsua izan dute gaur egungo galdaketan industria mailan: Mekanizazioak eta pieza zehatzen eskariaren hazkundea. Mekanizazioak galdatutako piezen zehatasuna igo dezake pieza oso zehatzak lortuz, eta pieza zehatz hauen eskariak kalitate handiko piezen fabrikazioa areagotu du.

Esan daiteke ezaugarri garrantzitsuetako bat prozesu honek materialekiko duen malgutasuna dela. Izan ere, ia metal guztiak dira prozesu honetarako erabilgarriak. Metal ugari urtu daitezke ondoren nahi den formak lortzeko edo amaierako itxuratik oso gertu dauden formak emateko. Nahiz eta askotan beste prozesu mekaniko batzuek lagundu behar izaten den. Gaitasun honek galdaketa prozesua egoera oso onean uzten du beste zenbait teknologiarekin konparatuz. Esaterako, hain ezagunak diren forja edo estanparekin konparatuz.

Hondarra da galdaketan gehien erabiltzen den materiala moldeak egiteko. Izan ere, material merkea izateaz gain tenperatura altuekiko erresistentzia altua du. Honek, fusio tenperatura desberdineko materialak erabiltzea ahalbideratzen du, esaterako altzairua edo titanioa.

Hala ere, hondarra erabiltzeaz gain igeltsua, zeramika, argizari eta metalak ere erabiltzen dira. Erabilitako materiala galdaketa motaren arabera izango da.

## 1.1. GALDAKETA MOTAK

Galdaketatik lortzen diren piezen aniztasuna oso handia denez, logikoa da pieza hauek fabrikatzeko galdaketa prozesu ugari existitzea. Prozesu desberdin hauek sailkatzeko kontutan hartzen den ezaugarri nagusia moldearen iraunkortasuna da. Bi motatan bana daitezke: Molde iraunkorreko galdaketa eta molde apurkorrekoa.



1. Irudia: Galdaketa motak moldearen arabera sailkatuta

### 1.1.1. MOLDE APURKORRA

Normalean hondarrez, igeltsuz zein zeramikaz osaturiko moldeak dira. Lan honetan, hondarrezko molde apurkorretan sakonduko da gehien bat. Harezko moldeak harearekin, urarekin, aglutinatzaileekin eta beste gehigarriekin (aditiboak) egiten dira eta erregogortasuna, kohesioa, permeabilitatea, plastizitatea eta deformagarritasuna lortzen dute. Beraz, ez dago metalaren fusio puntuarekin kezkatu beharrik. Behin molde barnean metal solidoturik dagoela, moldearen apurtzen da pieza barnetik ateratzeko.

Molde apurkorraren barruan prozesuak bi motatan bana daitezke erabiltzen den ereduaren arabera: Eredu galduko eta eredu iraunkorrekoa.

### 1.1.1.1. EREDU IRAUNKORREKO GALDAKETA

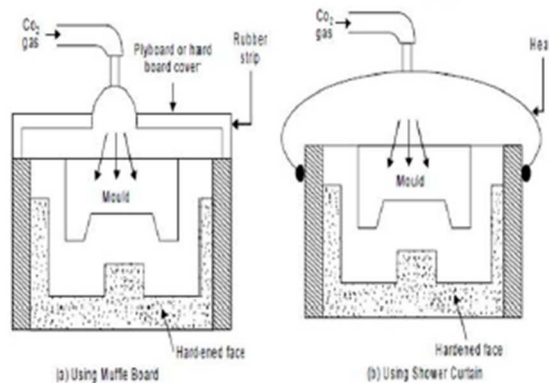
Eredua bukatutako piezaren geometriatik oso gertu dagoen forma duen elementu bat da. Ereduek arezko moldeak fabrikatzeko erabiltzen dira eta kasu honetan berrerabili egingo dira moldeak eraikitzeke orduan. Eredu honek izango duen produktibitatearen arabera eredu material desberdinez egongo da egina: egurra, metala edo material polimerikoak.

- Arezko galdaketa

Fusio puntu altuko piezak moldeatzeko erabiltzen da non moldeak arez egindakoa den, hezetasun pixka batekin normalean. Prozesu honen ezaugarrien artean hauek aurki ditzakegu: Pieza moldetik ateratzean suntsitu egiten da, ia edozein materialeko piezak fabrikatzeko erabili daiteke, malgutasun geometriko oso altua eskaintzen du etab. Aurrerago azalduko da atal hau, bertan sakonduko baita lan hau.

- Lehortze kimikoko teknika

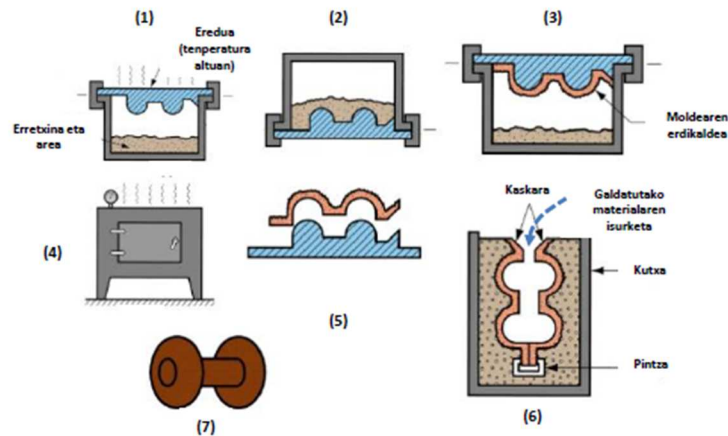
Molde eta arren lehortze termikoa kontrolatutako erreakzio kimikoekin ordezkatzeko datza, era horretan moldeak gogortzeko asmoz. Tamaina erdi-handiko piezetan aplikatzen da. Prozesu honen abantailak ondorengoak dira: denbora aurrezpena lehortze termikoarekin alderatuz, buztinen ezabaketa, beraz kostu eta akatsen murrizketa eta "berdean" fabrikatutako piezak baino doitasun altuagoa. CO<sub>2</sub> bidezko gogortzean adibidez harea silikato sodikoarekin nahasten da, CO<sub>2</sub> gaseko korrante batekin kontaktuan ipintzean gogortu egiten dena.



2. Irudia: CO<sub>2</sub> bidezko gogortzea [6]

- Kaskaran egindako moldeaketa

Arezko molde batetan burututako moldeaketa da, oso zehatza da moldeak eta oskol forma dauka (mm batzuetako lodiera). Aglutinatzaile kimiko bat erabiltzen da (erretxina fenoliko termoegonkorra) beroarekin gogortzen dena. Galdaketa mota honen bidez lortzen diren ezaugarriak: Tolerantzia estuak, zimurtasun baxua, detaileak lortzeko gaitasun ona, edozein materialeko piezak fabrikatzeko, tamaina txikiko piezak fabrikatzeko erabiltzen da. Prozesu hau burutzeko ondoko pausuak jarraitzen dira: eredu estali egiten da (150-300°C-tan) harez eta erretxinaz, milimetro gutxiko geruza lortuz. Ondoren bero bidez gogortzen da ereduak (300°C). Honen ostean, bi zatia batzen dira eta azkenik pieza desmoldatzen da. 3. irudian errazago ikus daiteke.



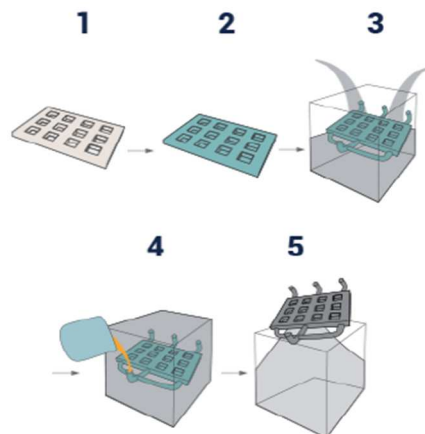
3. Irudia: Kaskaren egindako galdaketa [6]

### 1.1.1.2. EREDU GALDUKO GALDAKETA

Kasu honetan, izenak dion bezala, hondarrezko moldera isurketa egiten den bakoitzean eredia galdu egiten da. Hemen ere hondarrezko moldeak erabiltzen dira, baina ereduak material desberdinez eginak egongo dira. Hauen artean bi mota sailkatzen dira:

- Eredua galdua edo poliestireno hedatua

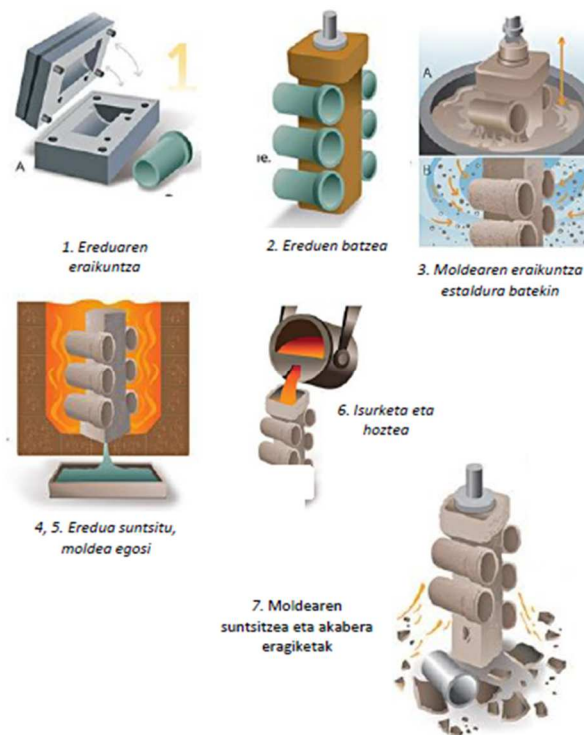
Eredua poliestirenoan fabrikatzen da eta pieza bakoitza sortzean lurrundu egiten da. Aglutinatzaileen erabileraren ezabapenarekin kostuak eta akatsak murrizten dira eta ez da forma murrizketarik egin behar ereduari: ez dira arrak erabili behar, ez irteerarik ez lotura gainazalik, etab. Pieza materialen barietatea oso handia da baina arazoak ager daitezke altzairua galdatzerako orduan. Berdean egindako harezko moldeketaren antzerako kalitateko piezak lortzen dira. Jarraitu beharreko pausuak ondorengoak dira: lehendabizi, eredu eraiki behar da (EPS-ren mekanizazioa eta itsastea); ondoren, eredia material erregogor bat erabiliz estaltzeko. Eredua sortu ostean, moldea eraiki behar da. Horretarako ereduari sakabanaketa kanalak osatzen dituzten elementuak gehitzen dira, eredia harez estali, prentsatu eta fraguatu egiten da eta azkenik moldeak itxi egiten da kutxa egokiak erabiliz. Moldeak prestatu ostean, metala isuri daiteke eta azkenik pieza desmoldatu. Prozesu hau era desberdinetan ezagutzen da: lost foam, EPC, lurrundutako eredia...



4. Irudia: Eredua galduko galdaketa [6]

- Argizari galduko moldeaketa

Harezko molde batetan burutzen den moldeaketa prozesua da, oso zehatza eta oskol formako molde batetan egiten dena. Eredua, argizariz fabrikatzen da, eta isurketa bakoitzean galdu egiten da. Pieza oso zehatzetarako erabiltzen den prozesua da, non edozein materialetako piezak egin al diren. Oso zehatza izateaz gain, geometria konplexuak egiteko gai da, eredu galduko prozesuan bezala, ez dago diseinu murrizketarik ezta ondorengo mekanizaturik behar. Prozesua garestia da eta balio erantsi altuko piezak egiteko erabiltzen da. Prozesu honetan jarraitu beharreko pausuk hauek dira: Lehendabizi argizarizko ereduak eraiki behar dira eta ondoren hauek batu multzo batean. Multzoa material erregogor batez estaltzen da (oskol moduko moldea). Honen ostean moldea gogortu eta ereduak suntsitu egiten da labe batean. Hau bukatzerakoan moldea egosiko da azkenik galdatuko den metala isurtzeko.



5. Irudia: Argizari galduko moldeaketa [6]

### 1.1.2. MOLDE IRAUNKORRA

Molde iraunkorreko galdeketa erabiltzen diren moldeak aldi askotan erabili daitezkeen molde metalikoak dira, mekanizatu egiten direnak hauen konplexutasuna handituz. Ezaugarri mekaniko eta metalurgiko onak izango ditu, hondarrezko galdaketakoa baino hobea. Serie tamaina handiak egin behar dira tresneria eta instalazioen kosteak murrizteko. Horren ondorioz, pieza bakoitzeko fabrikazio denborak eta koste unitario murriztu egiten dira. Moldearen materiala dela eta, galdatze puntu baxuko materialak erabili daitezke piezak egiteko: aluminioa, zinka, magnesioa, kuprea, latoia... Adibidez, latoia 1100°C-tan isurtzen da moldera.

Molde iraunkorreko prozesu motak desberdintzeko isurtzeko era hartuko da kontuan: grabitate bidez edo presio bidez.

- Grabitate bidezko galdaketa

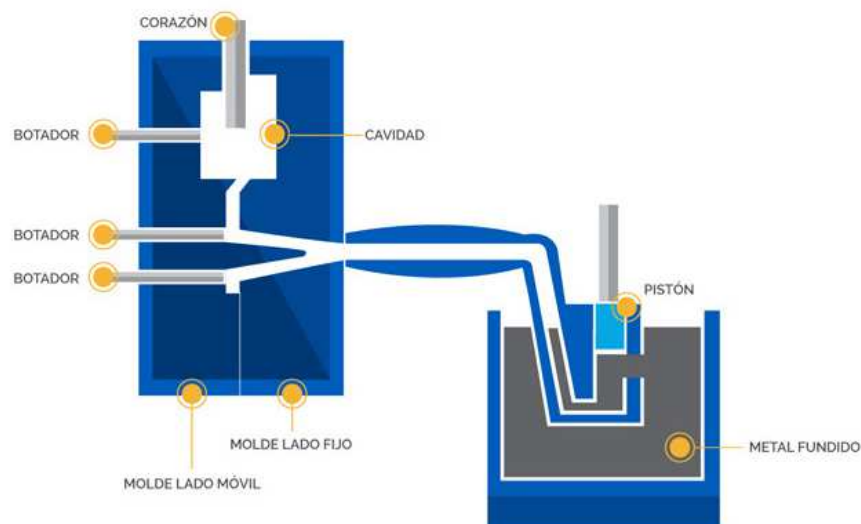
Galdatutako materiala moldean arezko moldaketan bezala isurtzen da. Tamaina txiki eta ertaineko piezen fabrikaziorako erabiltzen da. Moldearen elementuek ere antza handia daukate. Desberdintasun nagusia ziklo kopuruan dago: harezkoak ziklo bakarra dauka eta metalezko moldedunak ziklo iraupen luzeak ditu. Gainera doitasun metalurgiko ona lortzen da. Horrez gain, kasu honetan, partizio azalera bertikala izan ohi da (moldea bi zatitan banatuta egongo da, baina kasu honetan ezkerreko eta eskuineko moldea egongo dira gehienetan).

- Injekzioa

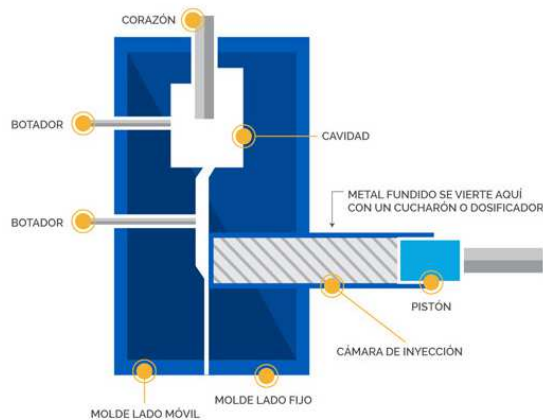
Kasu honetan, galdatutako materiala presiopean sartuko da moldean, betetze denbora txikiekin. Hala ere, galda oso azkar sartzen da, honek moldearen barnean zurrunbiloak sortu ditzake airea barnean atrapatuz. Ondorioz, poroak sor daitezke eta ez da integritate metalurgikoa ziurtatzen. Hala ere, tolerantzia dimentsional zorrotzak eta gainazal akabera onak lortzen dira, konplexutasun geometriko maila altua daukaten piezak zehaztasunez fabrikatuz. Prozesu honen desabantaila nagusia piezaren tamainan dago, presioaren ondorioz egin behar den ixte indarra oso altua delako. Doitasun handiko elementu mugikorrek beharko dira, prozesuaren kostua handiagotuz. Horregatik, tirada altuetarako erabiliko dira. Injekzioaren barruan sailkapen txiki bat egin daiteke materiala injektatzeko eraren arabera: Kamera beroko injekzioa eta kamera hotzekoa.

Kamera beroko injekzioan materialaren galdatze gunea makinaren parte bat da eta orokorrean galdaketa puntu baxuko materialak injektatzeko erabiltzen da (450°C-rainokoak). Injekziorako erabiliko den presioa gehienez 35 MPa-koa izango da eta 0,2 eta 10 segundo artean iraungo du.

Kamera hotzeko galdaketan, metala makinatik kanpo galdatzen da eta 1000°C-rainoko metalak galda daitezke. Injekzio presioak 20 eta 100 MPa tartean aurkituko dira eta betetze denbora kamera beroko injekzioan baino pixka bat txikiagoa izango da.



6. Irudia: Kamera beroko injekzioa [11]



7. Irudia: Kamera hotzeko injekzioa [11]

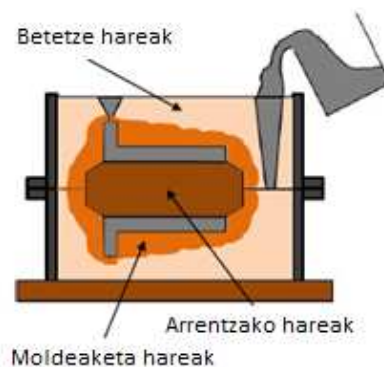
- Presio baxuko moldeaketa

Injekzioaren kontzeptu berbera da baina presio txikiagoak aplikatuz, ziklo denborak handituz eta piezaren tamaina limitatu gabe. Kasu honetan detaileak erreproduzitzeko ahalmena kaxkarra izango da eta arezko arrak erabili daitezke, injekzioan lortzen diren piezak baino konplexuagoak diren piezak lortuz. Azkenik, elikatze sistema sinplea denez errendimendua hobetuko da.

## 1.2. HONDAR BERDEZKO GALDAKETA

Aurretik aipatzen den bezala, lan hau hondar berdezko galdaketaren inguruan zentratuko da. Prozesu hau metal moldaketaren prozesu tradizionala da. Balio erantsi gutxiko aplikazio anitzeko piezak egiteko erabiltzen da, baina industria arloan garrantzi handiko prozesua da.

Hondarrak izango dituen propietateak oso garrantzitsuak izango dira pieza fabrikatzerako orduan. Esaterako, moldeak egiteko erabiltzen den harearen kohesioa edo mazarotak egiteko hondarraren ezaugarriak. Hauen konposizio nagusia, %90 hondarra, %7 aglutinatzailea (buztina) eta %3 ura izan ohi da. Moldea osatzen duen harea hiru motatan bana dezakegu: moldeaketa harea, betetze harea eta arrentzako harea. Desberdintasun nagusia bakoitzaren ale tamainan eta bakoitzaren funtzioan egongo da. Moldeaketa harea ale tamaina zein forma egokia izan behar du zehaztasuna egokia izan dadin, betetze hareek kohesioa emango diote moldeari eta berrerabiliak izan daitezke eta arrentzako harea ale borobilduko hare extra-silizeoak dira.



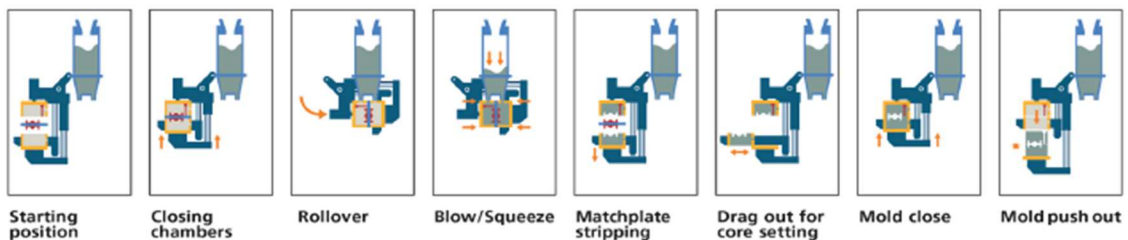
8. Irudia: Hare motak [6]

Ondoren, gehigarriak ere jar daitezke beste propietate mekaniko espezifiko batzuk ere lortu nahi badira. Hauei esker, erregogortasuna, kohesioa, moldagarritasuna, iragazkortasuna, eta abar emango zaio moldeari. Ezaugarri hauek beharrezkoak izango dira galdaketa egokia izan dadin. Adibidez, erregogortasunak piezaren hozketa eta solidotze uniformea bermatuko du, kohesioak bere forma mantentzeko gaitasuna emango dio moldeari prozesua aurrera joan ahala eta permeabilitateak isurketa egiten den heinean harrapatuta geratzen diren gas guztiak era egokian ebakutzeko balioko du. Moldearen materialaren ezaugarriak trakzio, konpresio, tortsio etab. saiakuntza klasikoekin karakterizatu egiten dira. Saiakuntza hauek harezko laginetara adaptatu egin behar dira (DIN eta AFS arauak).

Hezetasuna parametro garrantzitsua izango da, izan ere, hau izango delako hondarrezko galdaketaren barnean dauden bi prozesuak banatuko dituen propietatea. Hondarrari hezetasuna kentzen bazaio hondar berdezko galdaketa izango dugu.

Aldiz, hezetasun hau ezabatzen bada hondar lehorrezko galdaketa izango dugu, honek sendotasuna emango dio moldeari. Galdaketa mota hau automatizatu egin daiteke, non moldeaketa makinak eskuz egindako moldeaketako operazio ziklo osoa edota parte ezberdinak era automatikotan egiten dute.

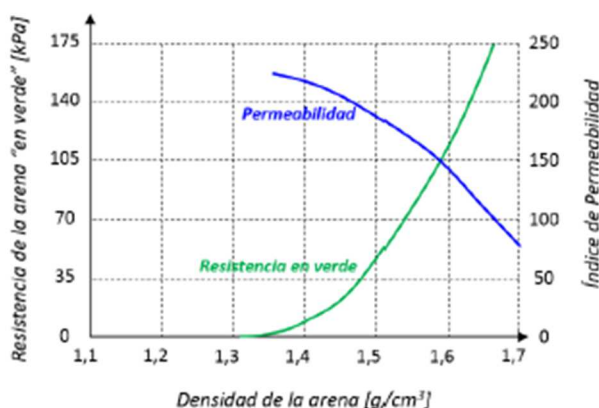
Guztizko automatizazioko kasuetan bi aukera daude: Moldeaketa horizontala (kutxarekin edo kutxarik gabekoa izan daiteke) non partizio lerroa horizontala den eta, normalean, piezaren erdialdean kokatzen den eta moldeaketa bertikala (kutxarik gabekoa) non partizio lerroa bertikala den eta piezaren geometriaren arabera leku batean edo bestean kokatuko den. Hondar berdezko galdaketaren kasuan, Disamatic automatizaziorako makina aurki daiteke.



9. Irudia: Galdaketaren automatizazioa [6]

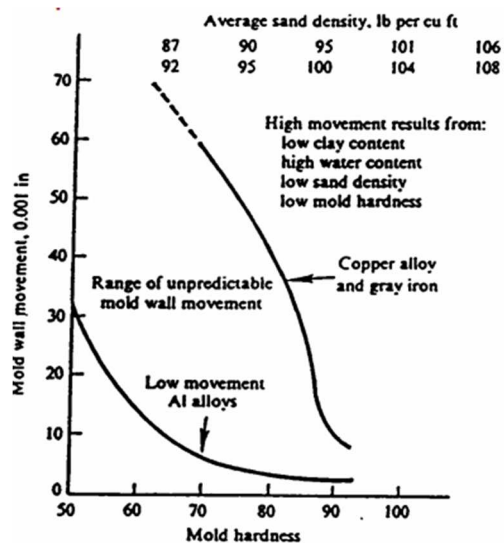
Iragazkortasuna ere kontuan hartu beharreko parametroa izango da. Azpiko grafikan ikus daitekeen bezala, moldearen trinkotasuna handitzeak hondarraren aleen txikitzea ekarriko du, ondorioz beraien arteko distantzia txikitu egingo da iragazkortasuna ere txikituz. Moldearen zurruntasun handitzeak zehaztasun handiagoa emango dio piezari, baina iragazkortasun faltak moldearen barnean hezetasuna handituko du piezan poroak sortuz.





10. Irudia: Zurruntasun eta iragazkortasun erlazioen grafika [6]

Honez gain, piezaren materialak ere zeresan handia izango du. Materialaren dentsitatea altua bada, hau da, moldearen eta materialaren dentsitatea antzekoak badira, piezak indar gehiago eragingo dio moldearen hormari bolumen berean. Honek hormen mugimendua handiagotzea ekarriko du. Hau da, zehaztasuna galduko du piezak. Hau guztia 11.irudian ikus daiteke.



11. Irudia: Moldearen zurruntasuna eta hormen mugimenduaren erlazioa [6]

### 1.2.1. MOLDEAREN ATALAK

Moldearen atalak lau azpitaldetan bana ditzakegu elementu bakoitzaren funtzioaren arabera.

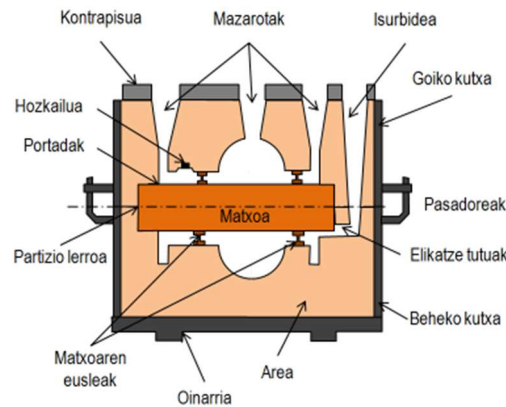
**Elementu egiturak:** moldearen egitura fisikoa osatzen dituzten elementuak dira. Goiko eta beheko kutxak, harea, kontrapisuak, pasadoreak, oinarria, partizio lerroa, etab. Kutxa moldea eusten duen atala da eta bi piezaz dago osatuta, biak banatzen duen lerroa juntura lerroa izanik.

**Mazarotak:** pieza solidotzean jasaten duen bolumen txikitzea konpentsatzeko eta hurrupadurak ekiditeko erabiltzen diren material gehiengoko deposituak dira. Material soberakina jarriz bertan, hurrupadurak (material falta) bertan ematea behartzen da. Honela, piezaren akatsak saihesten dira.

**Elikatze sistema:** moldearen erabilpenaren bitartez erabiltzen diren elementu nagusiak hurrengokoak dira: isurbidea, kanalak, gainezkabidea eta erasoak. Isurbidea metal urtua moldean sartzeko erabiltzen den bidea izango da eta gainezkabidea metala isurtzen den gunea. Azkenik, kanal eta erasoak metal urtua moldearen barnera bideratzen dute, moldearen betetze-abiadura erregulatuz.

**Barne hutsunetarako elementuak:** galdatutako piezen barne hutsuneak egiteko erabiltzen diren elementuak dira. Hau ezin da ereduarekin zuzen egin, ereduak kentzean moldearen apurtuko litzatekeelako. Hurrengokoak dira: arrak, portadak, euskarriak, hozkailuak, etab. Hozkailuak piezen solidotze egokia bermatu behar dute.

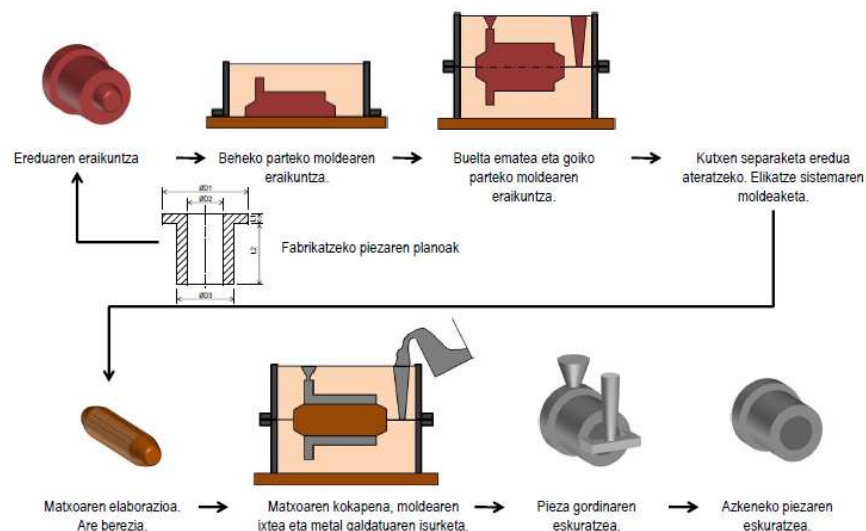
Piezen produktiorako atal bakoitzak dimentsio egokiak izan beharko ditu. Hala ere, hau ez da lan erraza eta, ondorioz, urteetan zehar esperientzian oinarritutako kontzeptu eta formula enpirikoak erabili izan dira atalen aurre-dimentsionaketarako. Aurrerago azalduko dira hauen aurre-dimentsionaketarako proiektu honetan oinarritzat hartu diren kontzeptuak.



12. Irudia: Moldearen atalak [6]

### 1.2.2. MOLDEAKETAREN URRATSAK

Piezen fabrikazioa egokia izan dadin ondorengo urratsak jarraitu beharko dira.



13. Irudia: Galdaketaren urratsak [6]

1. Urratsa: eredia eta arrak sortu behar dira ondorengo pausuan moldearen sortzeko. Eredua pieza bako bako %1-%2 handiagoa izan behar da uzkurdura kontuan hartzeko.

Materiala	Tolerantzia
Fundizio grisa	% 0,85-1,3
Altzairua	% 2-2,6
Kobrea, zink, beruna eta eztainuko aleazioak	% 1- 1,6
Aluminiozko aleazioak	% 1,3
Magnesiozko aleazioak	% 1,3

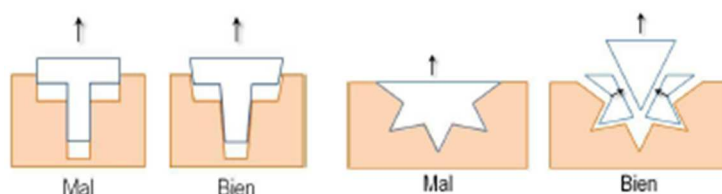
14. Irudia: Piezaren materialen arabera kontrakzioa [6]

2. Urratsa: moldearen prestatu beharra dago eta horretarako ereduaren beheko parte eredu-plaka gainean kokatzen da, beheko kutxan. Ondoren hondarra eredu-plakaren inguruan trinkotzen da dentsitate uniforme lortzeko. Honekin bukatu ostean, moldearen beheko parteari buelta ematen zaio, ereduaren goiko parte eredu-plakaren beste erdian utziz. Azkenik, hondarra trinkotzen da goiko kutxan. Molde honen dimentsioak piezaren bako handiagoak izan behar dira solidotzean ematen diren uzkurdurak eta ondoren egingo diren mekanizazioetan material ezabapena konpentsatzeko.

3. Urratsa: behin moldearen prestatu dagoenean, eredia moldetik kendu (eredu galduko bada ez da beharrezkoa) egiten da galdak egiteko erdia isuri dadin moldearen betetzeko. Are berdearen kasuan gainezkabidean isuriko da.

4. Urratsa: isuri ostean itxaron beharra dago bakarrik solidotzea eman dadin. Urrats hau oso garrantzitsua da amaierako piezaren hurrupadurarik eman ez dadin.

5. Urratsa: behin pieza guztiz solidotu eta hoztu denean, pieza desmoldatuko da gure pieza lortuz. Urrats honetan garrantzitsua izango da aurretik irteera angelu egokiak diseinatu izana, bestela arazoak izango ditugu moldearen erdibanatzeko. Irteera angelu hau 1-3°-koa izango da egurrezko ereduentzako eta 0'5-1° eredu metalikoentzako.



15. Irudia: Irteera angeluak [6]

### 1.2.3. AKATSAK

Materialen, piezaren diseinuaren eta prozesatze-tekniken arabera manufaktura-prozesuetan hainbat akats egin daitezke. Akats batzuek itxuran baino ez dute eragiten, eta beste batzuek, berriz, egiturazko osotasunean ondorio kaltegarriak izan ditzakete.

Galdaketan ere zenbait akats egin daitezke. Iraganen izen desberdinak erabili zirenez akats bera deskribatzeko, International Committee of Foundry Technical Associations elkarteak nomenklatura estandarizatu bat sortu zuen. Nomenklatura horrek burdinurtuzko akatsen oinarritzko zazpi kategoria ditu, letra larri eta lodiz identifikatuak:

**A: Proiekzio metalikoak:** hegatsak, bizarrak edo proiektzioak dira, hala nola anpuluak eta gainazal zimurtsuak.

**B: Barrunbeak:** barrunbe biribilduak edo zimurtsuak dira, barnekoak edo agerikoak, puztea, orratz-puntak eta uzkurdua bidezko barrunbeak.

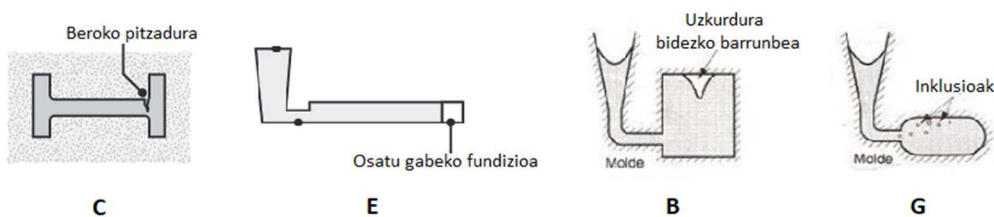
**C: Etenak:** pitzadurak, hotzeko edo beroko urradurak eta puntu hotzak. Solidotzean metala libreki uzkurtzea onartzen ez bada, arrakalak eta urradurak ager daitezke. Zenbait faktorek eragiten duten arren, alearen tamaina handiak eta alearen mugetan urtze-puntu txikiak banantzeak (intergranularrak) handitu egiten dute beroan urratzeko joera. Puntu hotza burdinurtu baten interfazea da, eta ez da erabat urtzen, bi uhate desberdinetatik datozen metal likidozko hatz korronteak elkartzen direlako.

**D: Gainazal akastuna:** tolesturak, traslapeak eta azaleko orbainak, hare itsatsiko geruzak eta oxido ezkatat.

**E: Osatu gabeko fundizioa:** failak bezala (garaiz aurreko solidotzearen ondorioz), hustutako metalaren bolumen eskasa eta ihesak (hustu ondoren moldearen metala galdu delako). Metal urtuaren oso tenperatura baxuak edota hustuketa geldoak galdaketa osatugabea ekar dezakete.

**F: Neurri edo forma desegokiak:** zenbait faktore direla medio, hala nola uzkurtzeko tolerantzia desegokia, modeloaren muntaketa akatsa, uzkurdua irregularra, eredu deformatua edo alabedun galdaketa.

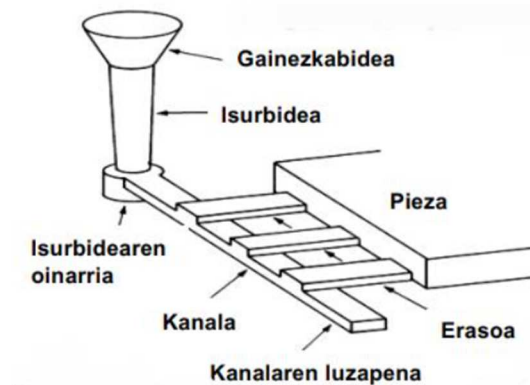
**G: Inklusioak:** urtzean, solidotzean eta moldaketan sortzen dira eta orokorrean ez-metalikoak dira. Kaltegarriak dira, esfortzuak biderkatzen dituztelako eta, beraz, galdaketaren erresistentzia murrizten dutelako. Metal urtua isurtzean, 30 nanometroko partikula txikiak iragaz daitezke. Inklusioak fusioan sor daitezke, metal urtuak ingurunearekin (oxigenoarekin, normalean) edo arragoarekin edo moldearen materialarekin erreakzionatzen duenean; metal urtuaren osagaien arteko erreakzio kimikoengatik; edo metal urtuaren harrapatutako material arrotzetatik eta zepatik abiatuta. Moldearen gainazaleko eta arren ezpalek ere inklusioak eragin dezakete, moldearen kalitatearen eta haien mantentzearen garrantzia nabarmenak eginez.



16. Irudia: Galdaketan sortutako akatsak [2]

#### 1.2.4. ELIKATZE SISTEMA

Betetze sistemaren helburu nagusia material urtua molde barnean sartzea izango da. Arazorik sortu ez dadin derrigorrezkoa izango da elikatze sistema egokia diseinatzea. Elikatze sistemak isurbide bat edo gehiago izan ditzake. Normalean, horizontalki jartzen dira moldearen goiko erdialdean, banaketa-planoaren gainetik, eta gainezkabideek sekzio trapezoidala edo trianguluarra izaten dute. Isurbidearen helburua metala gainezkabidetik erasoetaraino garraiatzea izango da. Erasoak moldearen behealdean daude. Betetze sistema ondorengo elementuez osaturik dago:



17. Irudia: Elikatze sistema [7]

Betetzea egokia izan dadin, galdaren abiadura kontrolatzea faktore oso garrantzitsua izango da. Abiaduraz gain, isurketa puntua eta isurtzeko era garrantzitsua izango dira. Hau dela eta, isurtzeko hainbat era existitzen dira, ondoren ikus daitekeen bezala.

- Isurketa zuzena, erorketa edo jaitsiera

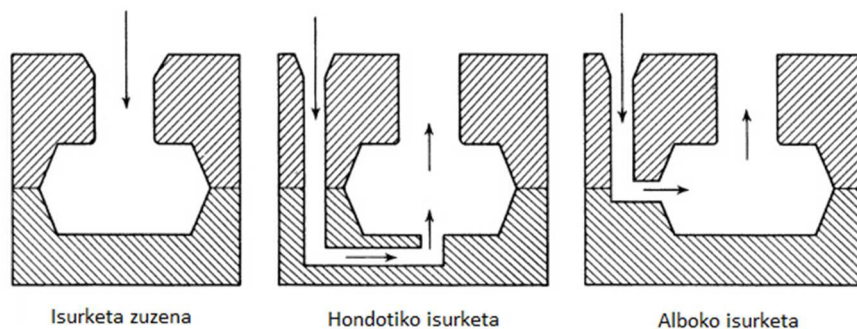
Isurketa mota hau metala moldearen goiko aldetik sartzen denean gertatzen da. Altuera txikiko moldeetan baino ez da gomendagarria; izan ere, handia bada, metala moldearen hondoarekin talka egitean higatu egin dezake, eta, gainera, tanta hotzak sor daitezke.

- Hondotik isurtzea, iturrian edo sifoiari

Erasoak moldearen beheko aldean daudenean gertatzen da isurketa mota hau. Isurketa mota honen abantaila nagusia materiala moldean turbulenziaz gabe sartzen dago, eta gainera higadura oso txikia da. Eragozpen nagusia metalaren hozketan dago, igotzean hoztu egiten delako. Gainera baliteke moldearen erabat ez betetzea. Horretarako, alboko mazarotak jarri beharko lirarteke, zuzenean metal berokatuaren direnak.

- Partizio lerrotik isurtzea edo alboko isurketa

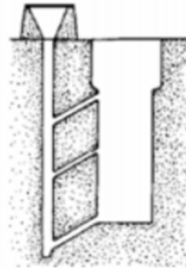
Isurketa mota hau aurreko bien arteko konponbidea da eta moldaketarako erraztasunagatik erabiltzen da bakarrik. Metalaren turbulenzia sarreran minimora murriztu dezake, galdaketa-sistema egokia diseinatuz abiadura asko murriztuz eta galda paretetan labaintzea lortuz.



18. Irudia: Isurketa zuzena, hondotiko isurketa eta alboko isurketa [12]

- Isurketa mailakatua, eskalonatua edo sifoi gainjarriekin

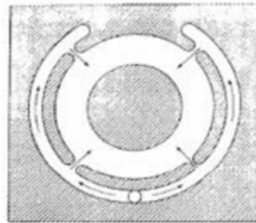
Galdaketa mota honek hondoko galdaketaren ezaugarri txarrak zuzentzen ditu eta bere abantailak mantentzen ditu. Metala hondotik sartzen hasten da moldean eta altuera jakin batera iristen denean, hurrengo sarreratik sartzen da eta horrela hurrenez hurren. Horrela metal beroa beti moldearen goiko aldean jartzea lortzen da eta erabat betetzeko zailtasunik gabe.



19. Irudia: Isurketa mailakatua [3]

- Isurketa horizontala

Kasu honetan, erasoak barrunbearen inguruan erradialki banaturik egongo dira. Hau dela eta, eraso eta kanal gehiago izango ditu.



20. Irudia: Isurketa horizontala [3]

- Molde birakaridun isurketa

Isurketa mota hau metal beroaren goiko elikadurarekin bateragarria izan daiteke. Horretarako moldearen inklinazioa alda daiteke, galdaketa egin ondoren edo bestela moldea guztiz alderantzikatuz metala isuri ondoren. Metal beroena goiko aldean geratuko da, mazarotan, pieza elikatuz.

### 1.3. FLUIDOTASUNA

Metal urtua moldean isurtzea da galdaketaren urrats kritikoetako bat, likidoaren portaerak eta ondoren solidotu eta hozteak zehazten baitute urtutako forma behar bezala, barrutik osasuntsu eta akatsik gabe eratuko den.

Isurketaren arrakasta, neurri batean, metalaren beraren ezaugarri batzuen arabera da, hala nola haren konposizioa eta temperatura, fluxuan eraginez. Beste alde batetik, moldearen propietateen eta diseinuaren arabera izango da, moldekatzeko materialaren izaera eta moldearen barrunbean metala sartzeko erabiltzen den isurtze teknika barne. Metala likido-egoeran dagoen bitartean, kontutan hartu behar dira moldean eragiten dituen indarrak eta solidotze-temperaturan hoztean gertatzen diren bolumen-uzkurdurak. Aipatutako faktore hauek berezita aztertuko dira, galdaketak baldintzatutako metal likidoaren fluxuaren propietateekin hasita.

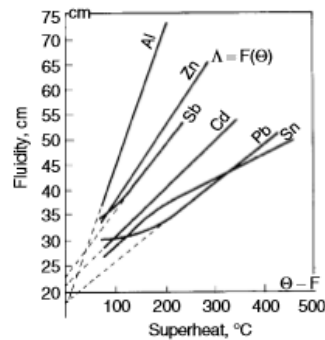


### 1.3.2. FLUIDOTASUNEAN ERAGINA DAUKATEN ALDAGAIK

Fluidotasunean nagusiki eragin handia izango dute tenperatura eta konposizioak, eta maila txikiago baten kanalaren diametroak eta gainazal tentsioak.

- Tenperatura

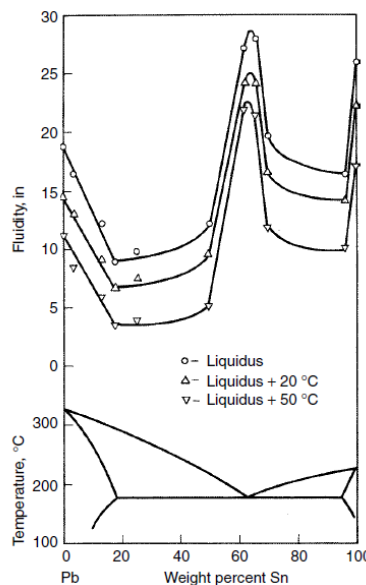
Metalaren hasierako tenperatura frogatu da [1] oso faktore garrantzitsua dela, hainbat ikerlarik aleazio baten fluidotasuna gainberotzearekin zuzenean erlazionatuta dagoela erakutsi dutelako hain zuzen ere. Honen arrazoa fluxuaren kontrolaren ondoriozko metalaren solidotzean egongo litzateke, gainberotzeak solidotzea aurretik xahutu behar den bero kantitatea adierazten duelako.



22. Irudia: Gainberotzearen eta fluidotasunaren erlazioa [1]

- Konposizioa

Kontutan hartu beharreko beste aldagaia konposizioa da. Aleazio desberdinen konparaketa oso egonkorra egin daiteke gainberotze konstantepean, erlazio zehatzak lortuz konposizioaren eta fluidotasunaren artean. Orokorrean fluidotasun ona metal puruekin eta konposizio eutektikoko aleazioekin erlazionatzen da eta emaitza solidoak lortzen dituzten aleazioak aldiz, bereziki hozte tarte handikoak, fluidotasun txarra erakutsi ohi dute. Portevin eta Bastien-ek [1] alderantzizko erlaziopean batu zituzten fluidotasuna eta solidotze tarteak. Berandugo Floreen eta Ragonek [1] baieztatu zuten aluminiozko aleazioen ikerketa bidez.



23. Irudia: Fluidotasunaren eta konposizioaren arteko erlazioa [1]





Nahiz eta konposizioa eta hozteko era garrantzitsuak izan aleazioen desberdintasunak sailkatzeko orduan, fluidotasunaren azterketa egiteko beste faktore osagarri batzuk aztertu behar dira. Hozteko antzeko moduak dituzten aleazioen kasuan ere, ez dira berdinak fluidotasun/gainberotze erlazioak.

Konposizio orokorraz gain, fluidotasunean eragina daukaten beste ezaugarri batzuk daude, hala nola gas disolbatuen presentzia eta ez metalen inklusioa likidoan.

- Kanalaren diametroa

Ragone-k [1] aurretik aipatutako azterketak erabiliz, ezta inu urtuaren fluidotasuna aztertu zuen 3 mm baino txikiagoko diametroko kanaletan, diametroaren eta aztertutako fluidotasunaren arteko erlazio sinple bat eratuz. Hala ere, ez da argi geratzen moldearen kanal oso estuetan erlazio honek eragin ona lortuko duen.

- Gainazal tentsioa

Sekzio txikiko kanaletan, ertz biziak eta gainazal detaile onak lortzeko gainazalaren fenomenoaz aztertzea oso garrantzitsua izango da. Gainazal tentsioaren eta fluidotasunaren arteko erlazioa sekzio txikietan demostratu zuten Hoar eta Attertonek [1], gainazal tentsioaren eta metal likidoaren trinkozko moldeetan sartzeko beharrezkoa den presioaren arteko erlazio zuzena lortuz. Baieztapen orokortu bat dago gainazal tentsioaren inguruan, zuzenki gainazal tentsioa kontutan hartu beharra dagoela 0,5 eta 5 mm bitarteko kanal sekzioetan.

#### 1.4. MOLDEAREN EZAUGARRIAK

Fluidotasuna metalaren ezaugarri bezala aztertu behar izan arren, kontutan hartu behar da ere moldearen izaera metala presiopean sartzeko orduan. Fluidotasuna solidotzearekin erlazionatuta dagoenez, moldearen ezaugarriek eragina izan dezakete fluxuaren iraupenean baldintza termiko eta zinetikoengatik. Guzti hau ondo kontrolatzeko, hainbat faktore aztertuko dira.

- Moldearen propietate termikoak

Moldaketa materialaren difusibitate termikoak zehazten du, neurri handi batean, hozte tasa.

$D = (kc\rho)^{1/2}$  non  $k$  eroankortasun termikoa izango den,  $c$  bero espezifikoa eta  $\rho$  dentsitatea.

Kasu batzuetan hozte tasak eragin handiago izango du moldearen osagai batzuen lurrunketa bero sorraren xurgapenagatik. Hare berdeko moldeen gainazaleko geruzetako ura lurruntzean ere hozte prozesua bizkortu egiten da: efektu honek metalaren fluxua sekzio meheetan geldotzea eragiten du eta horregatik hobesten dira hare lehorreko teknikak galdaketa oso meheetan.

- Moldearen gainazala

Moldearen kanalek fluxua murriztu egiten dute moldearen gainazalaren zimurtasunaren menpeko marruskadura indarra dela eta. Zimurtasun hau moldearen materialaren ale tamainarekin erlazionatuta dago, argi utziz zergatik nahiago den ale txikiko materialez egindako moldea.

Fluxu distantzia bezala irudikatzen den itxurazko fluidotasuna proba molde batean asko handitzen da moldearen estalduren arabera. Fluxua handitzeko gainazalaren marruskadura murriztu daiteke (gainazal leunagoak erabiliz) edo estaldura erreaktiboak erabil metal/molde interfazean hezetze ezaugarriak hobetzeko.

- Airearen presioaren eragina

Metala moldean sartu ahala, aire molde barrunbetik atera behar da. Horretarako hodi, oholtza irekiak eta moldearen materialaren egitura iragazkorra erabiltzen dira. Ez bada diseinu egokia egiten, aireak presioa eragin dezake barrunbean likidoaren abiadura murriztuz eta fluidotasunaren itxurazko galera ekarriz. Moldearen efektu ugari estandarizazio zorrotza behar dute moldearen baldintzetan fluidotasun azterketak egiteko.

Laburbilduz, metalaren fluxua moldearen barrunbean metalaren eta moldearen ezaugarriek zehazten dute.

## 2. LANAREN HELBURUAK ETA HEDADURA

### 2.1. HELBURUAK

Lan honen helburu nagusia bibliografian teorikoki aurkeztu diren eredu eta metodologia teoriko-esperimentalen emaitzak simulazioaren bitartez frogatu eta hauen analisi kritiko bat egitea da.

Helburu nagusi hori lortzeko lehenik beste zenbait helburu partzial finkatuko dira, horien artean:

- Bibliografiaren analisi bat egin hondarrezko galdaketaren prozesuan izan ditzaketen faktoreak aztertzeko eta beste galdaketa prozesuekin konparatzeko (H1).
- Hondarrezko moldearen aurre-dimentsionaketan mazaroten eta elikatze-kanalen dimentsionaketa burutzeko proposatu diren eredu enpirikoen informazioa batu (H2).
- Galdaketaren simulazioa egitea ahalbidetzen duen programa informatiko batean (QuikCAST) formatzea (H3).
- Eredu teoriko-enpirikoen baliotasuna frogatzeko, QuikCAST programarekin galdaketa simulazioak burutzea (H4).
- Galdaketa prozesuan garrantzia duten zenbait faktoreen influentzia aztertu simulazioen bitartez (betetze abiadura edo mazaroten bolumena kasu) (H5).
- Pieza industrial baten aurre-diseinua egitea metodologia teoriko-enpirikoetan oinarrituta eta honen simulazioa egin QuikCAST programa erabiliz (H6).

### 2.2. HEDADURA

Atal honetan proiektuaren helburu bakoitza lortzeko jarraitu beharreko pausuak deskribatzen dira. Honela, zehatz-mehatz jarraitutako prozedimendua azaldu eta bertan parte hartu duten atalak zehaztuko dira. Azalpen honen helburu nagusia atal bakoitza argiago azaltzea eta bertan harturiko denbora adieraztea izango da. Gainera, hau baliagarria izango da lanaren plangintza aurkezterako orduan.

---

**1. HELBURUA (H1):** bibliografiaren analisi bat egin hondarrezko galdaketaren prozesuan izan ditzaketen faktoreak aztertzeko eta beste galdaketa prozesuekin konparatzeko.

- **H1.1 ATAZA:** galdaketa prozesuen inguruko informazio bilatu.

Ataza honetan galdaketa prozesu orokorraren inguruko informazioaren bilaketa egingo da. Honetarako hainbat artikulua zientifiko eta txostenetako informazioa pilatuko da. Hauetatik informazioa garrantzitsuenak bilduko dira.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Microsoft Office.

**Iraupena:** bi aste.

- **H1.2 ATAZA:** hondarrezko galdaketa prozesuaren informazioa bildu eta idatzi.

Atal honetan dagoeneko hondarrezko galdaketan sakondu da. Galdaketa prozesuak orokorrean ondo ulertu ondoren gainontzeko prozesuekin alderatzeko informazioa nahikoa jasoko da. Informazioa esanguratsuenak hautatu ondoren hondarrezko galdaketaren inguruko ezaugarri nagusiak jasoko dira.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Microsoft Office.

**Iraupena:** bi aste.

**2. HELBURUA (H2):** hondarrezko moldearen aurre dimentsionaketan mazaroten eta elikatze-kanalen dimentsionaketa burutzeko proposatu diren eredu enpirikoen informazioa batu.

- **H2.1 ATAZA:** mazarotaren dimentsionaketarako formula enpirikoak batu.

Ataza honetan mazarotaren dimentsionaketarako mazarotaren forma, kokapen eta bolumenaren kalkulurako formula enpirikoak aztertu eta jasoko dira.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Microsoft Office.

**Iraupena:** bi aste.

- **H2.2 ATAZA:** elikatze-kanalen aurre-diseinurako formula enpirikoak batu.  
Kasu honetan, elikatzen kanalen dimentsionaketarako parametroak jasoko dira. Lehenik, hauen eginkizuna ondo ulertu beharko da eta bertan aplikatzen diren printzipioak. Behin ideia hauek garbi izanda, formula esanguratsuenak gordeko dira.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Microsoft Office.

**Iraupena:** aste bat.

### 3. HELBURUA (H3): galdaketaren simulazioa egitea ahalbidetzen duen programa informatiko batean (QuikCAST) formatzea.

- **H3.1 ATAZA:** QuikCAST simulazio programaren tutoriala ondo ulertzea.  
QuikCAST programaren erabilera egokirako simuladorearen funtzionamendua aztertuko da. Piezaren simulazioa egiteko jarraitu beharreko pausuak eta zehaztapenak jasoko dira programari buruzko tutorialen bidez.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta QuikCAST.

**Iraupena:** aste bat.

- **H3.2 ATAZA:** Autodesk Inventor programa egoki menperatzea.  
Autodesk Inventor programa menperatzea ezinbestekoa da simulazioak aurrera eramateko. Izan ere, QuikCAST programara CAD artxiboa esportatzeko erabiliko den programa izango delako.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Autodesk Inventor.

**Iraupena:** aste bat.

### 4. HELBURUA (H4): eredu teoriko-enpirikoen baliotasuna frogatzeko, QuikCAST programarekin galdaketa simulazioak burutzea.

- **H4.1 ATAZA:** pieza bat aukeratu eta formula teoriko-enpiriko bidez mazarotak kalkulatu.  
Pieza bat aukeratu eta honen mazaroten diseinua egingo da hauen bolumen eta kokapenerako.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Microsoft Office.

**Iraupena:** aste bat.

- **H4.2 ATAZA:** eredu enpirikoetan oinarrituta, elikatze-kanalen diseinua egin.  
Aurreko atazan aukeratuko piezaren geometriarentzat elikatze kanalak ere diseinatuko dira.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Microsoft Office.

**Iraupena:** aste bat.

- **H4.3 ATAZA:** simulatuko diren kasu ezberdinen moldeen eredu geometrikoak egin.  
Ataza honetan, behin pieza, mazarota eta elikatze kanalak diseinaturik daudela kasu bakoitzerako, moldeen eredu geometrikoak egingo dira izan behar dituen atal guztiak kontuan hartuz.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Autodesk Inventor.

**Iraupena:** aste bat.

- **H4.4 ATAZA:** kalkulaturako eredu geometrikoaren simulazioa egitea.  
Helburu honen azken atazan, diseinatu den moldearen simulazioa egitean oinarrituko da. Aurretik jasotako informazioa guztia praktikan jarriko da. Bertatik jasotako informazioarekin hainbat ondorioak atera ahalko dira.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta QuikCAST.

**Iraupena:** bi aste.

**5. HELBURUA (H5):** galdaketa prozesuan garrantzia duten zenbait faktoreen influentzia aztertu simulazioen bitartez (betetze abiadura edo mazaroten bolumena kasu).

- **H5.1 ATAZA:** aukeratutako piezan simulatuko diren mazaroten diseinu ezberdinak planteatu.  
Kalkulatutako mazaroten distantzia eta bolumenetan aldaketa ugari egingo dira CAD fitxategian hauen influentzia aztertzeko aukeratutako piezaren betetze eta solidotzean simulazio berriak eginez.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua, Autodesk Inventor eta QuikCAST.

**Iraupena:** aste bat.

- **H5.2 ATAZA:** betetze denboraren eragina aldatuz, simulazio berriak egin.

Ataza hau bete dadin 3 simulazio egingo dira formula teoriko-enpirikoak erabilia eta egokia dirudien beste betetze denbora bat aukeratuta.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua, Autodesk Inventor eta QuikCAST.

**Iraupena:** aste bat.

- **H5.3 ATAZA:** kalkulaturako elikatze-sisteman konbinazio desberdinak diseinatu, eraiki eta simulatu.

Azkenik, elikatze-sisteman interesgarriak izan daitezkeen konbinazio berriak diseinatuko dira simulazio gehiago eginez eta ondorio gehiago lortuz.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua, Autodesk Inventor eta QuikCAST.

**Iraupena:** aste bat.

**6. HELBURUA (H6):** pieza industrial baten aurre-diseinua egitea metodologia teoriko-enpirikoetan oinarrituta eta honen simulazioa egin QuikCAST programa erabiliz.

- **H6.1 ATAZA:** aurreko piezatik lortutako ezagutza eta formula teoriko-enpirikoak erabiliz pieza komertzial baten diseinua egitea.

Aurreko atazetan egindako simulazioak aztertu ondoren pieza komertzial batentzako mazaroten eta elikatze-sistemaren diseinua egingo da, lortutako ezaguera erabiliz beharrezkoak izan daitezkeen aldatetarako aplikatuz.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua eta Microsoft Office.

**Iraupena:** aste bat.

- **H6.2 ATAZA:** pieza komertzialaren eredua eraiki eta simulazioa egin.

Diseinua egin ostean Autodesk Inventor bidez ereduaren CAD fitxategia eraikiko da QuikCAST programan azken simulazioa egiteko eta eredua balioztatzeko.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua, Autodesk Inventor eta QuikCAST.

**Iraupena:** aste bat.

**ZEHARKAKO ATAZA:** memoria idaztea.

Proiektuaren azalpen eta pausu guztiak memorian idatzi beharko dira zeharkako eginkizun honetan.

**Giza baliabideak:** ingeniari Juniorra eta Ingeniari Seniorra.

**Baliabide teknikoak:** ordenagailua, Microsoft Office.

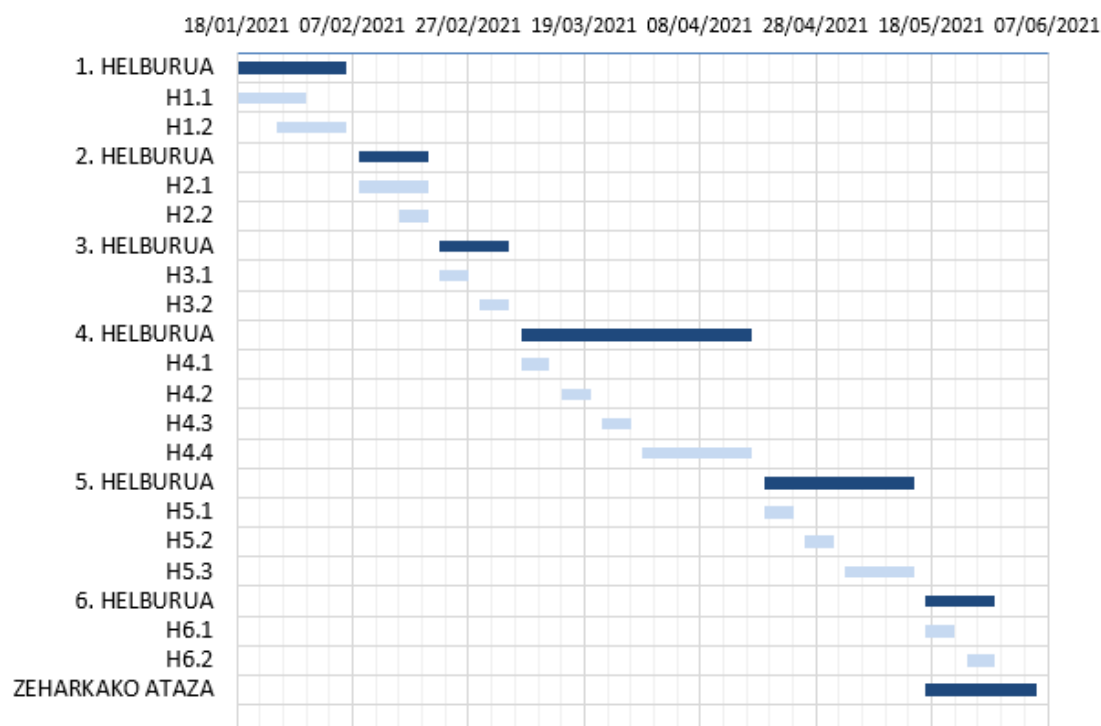
**Iraupena:** hiru aste.

### 2.3. LANAREN PLANGINTZA

Azkenik, lanaren atal honekin bukatzeko, lanaren plangintza azalduko da Gantt-en diagrama bidez. Diagrama honen bidez lanaren helburu ezberdinak betetzeko jarraitutako etapen iraupena finkatzen da. Azpiko taulan ikus daitekeen bezala, helburu eta ataza bakoitzaren hasiera, iraupen eta amaiera zehazten dira 24. irudian Gantt-en diagrama bidez errazago ulertzen direnak.

HELBURU/ATAZAK	HASIERA	IRAUPENA (ASTE)	AMAIERA
<b>1. HELBURUA</b>	18/01/2021	3	05/02/2021
H1.1	18/01/2021	2	29/01/2021
H1.2	25/01/2021	2	05/02/2021
<b>2. HELBURUA</b>	08/02/2021	2	19/02/2021
H2.1	08/02/2021	2	19/02/2021
H2.2	15/02/2021	1	19/02/2021
<b>3. HELBURUA</b>	22/02/2021	2	05/03/2021
H3.1	22/02/2021	1	26/02/2021
H3.2	01/03/2021	1	05/03/2021
<b>4. HELBURUA</b>	08/03/2021	6	16/04/2021
H4.1	08/03/2021	1	12/03/2021
H4.2	15/03/2021	1	19/03/2021
H4.3	22/03/2021	1	26/03/2021
H4.4	29/03/2021	3	16/04/2021
<b>5. HELBURUA</b>	19/04/2021	4	14/05/2021
H5.1	19/04/2021	1	23/04/2021
H5.2	26/04/2021	1	30/04/2021
H5.3	03/05/2021	2	14/05/2021
<b>6. HELBURUA</b>	17/05/2021	2	28/05/2021
H6.1	17/05/2021	1	21/05/2021
H6.2	24/05/2021	1	28/05/2021
<b>ZEHARKAKO ATAZA</b>	17/05/2021	3	04/06/2021

1. Taula: Lanaren plangintza



24. Irudia: Gantt-en diagrama

### 3. LANAREN ONURAK

Hare berdezko galdaketan ez dago egokia den emaitza bakarrik eta gainera formula eta adierazpenak ez dira guztiz zehatzak. Bi faktore hauen ondorioz, esperientziak dakartzan ezagutzak eta galdaketan eragina daukaten parametroen ezagutzak izugarritzko garrantzia daukate.

Gratu Amaierako Lan honetan piezaren osaketan garrantzia daukaten parametroen azterketa egitea nahi izan da. Industria mailan lan honetan erabilitako softwarearen “anai nagusia” erabiltzen da, ProCAST izenekoa, baina ikerketa arloan aldagai desberdinen azterketa egiteko QuikCAST programa egokia izan da.

Lortutako emaitzetatik abiatuz, aztertutako parametroen influentzia kualifikatu daiteke, ondorengo lan batzuentzako oinarri bezala hartuz eta pieza industrialak diseinatzerako orduan lehenengo diseinu egokiagoak kalkulatzeko.

Laburbilduz, Gradu Amaierako Lan honen bidez hare berdezko galdaketan parte hartzen duten aldagaiak hobeto ezagutuko dira eta gainera balio zientifikoa atxikituz, lortutako ondorioen arabera baliabideak hobeto aprobetxatzen direlarik eta balio ekonomikoaren eraginari buruzko informazioa emanez.

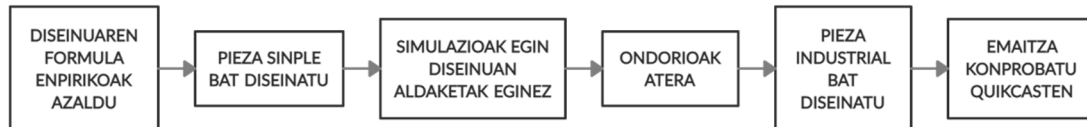
### 4. METODOLOGIA

Atal honetan lana aurrera eramateko jarraituriko metodologia azalduko da. Lana bi multzo handitan banatuta egongo da: Lehenengo zati teorikoago bat eta honen ostean pieza industrial baten diseinua.



Lehenengo zati teoriko honetan pieza bat egiteko beharrezkoak diren mazarota eta elikatze sistema nola diseinatzen diren azalduko da, jarraitu beharreko pausoak azalduz. Teoria ulertu eta azaldu ondoren forma simple batentzako diseinua egingo da honek beharko lukeen ezaugarriak ezarritz. Amaitzeko, simulazio ugari egingo dira diseinuaren teorian azaltzen diren aldagaietan aldaketak eginez, hauek amaierako piezan daukaten eragina aztertzeko.

Behin diseinuaren teoria ulertuta eta aldagai desberdinak aldatzeak ekar dezakeen ondorioak jakinda pieza industrial konplexuago baten galdaketaren diseinua egingo da eta QuikCAST softwarearen bitartez emaitza egokia lortu dela ziurtatuko da.



25. Irudia: Metodologiaren egitura

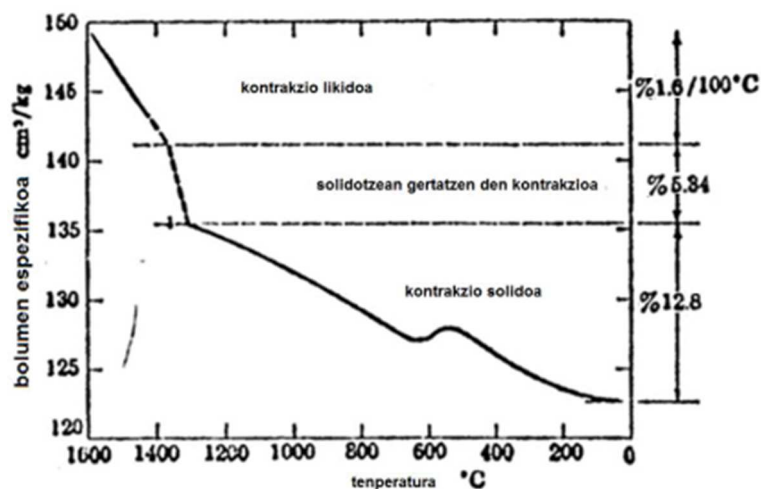
## 4.1. FORMULA ENPIRIKOEN AZALPENA

Galdaketa prozesu batez egindako pieza baten produkzioan mazarotak eta elikatze kanalak moldean izan behar dituen atal oso garrantzitsuak dira. Proiektu honetan hauen kalkuluan bakarrik zentratuko da.

### 4.1.1. MAZAROTAK

Mazarotak kalkulatzeko, solidotzeak eragindako uzkurdurak konpentsatuko dituen metal urtuko erreserbak diseinatu behar dira, piezan hurrupadurak ekiditeko. Behin pieza moldetik ateratzean, mazarota kenduko zaio bertan eman diren akats piezatik ezabatuz.

Bai metalek, bai horien aleazioek, hoztean bolumen-kontrakzioak jasaten dituzte (bismutoak eta antimonioak izan ezik). Burdinurto gris batzuk bolumen-kontrakziorik gabe solidotzen dira eta kasu berezi batzuetan (grafito ehunekoaren arabera) bolumena handitu daiteke. Bolumen-kontrakzioa hiru fasetan gertatzen da: likido-egoerako kontrakzioa, solidotzeko kontrakzioa eta pieza solido dagoela, hoztean gertatzen den kontrakzioa. Hiru fase hauetatik, likido egoeratik solido egoera pasatzean ematen den uzkurdura izango da piezan eragin handiena izango duena.



26. Irudia: Solidotze prozesuaren uzkurte motak [8]

Mazaroten diseinu egokirako bi baldintza bete behar dira:

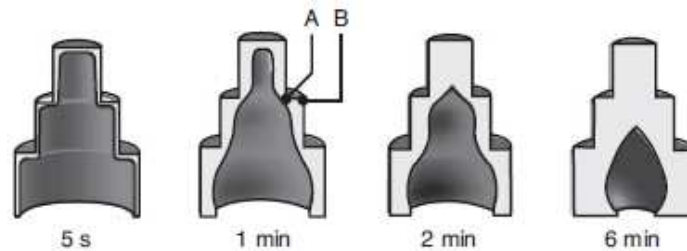
- Hozteak nahikoa motela izan behar du pieza osoaren elikadura bermatzeko, baita norabidezko solidotzea ere.
- Mazarotaren bolumenak nahikoa izan behar du solidotze-uzkurdurak konpentsatzeko.

Horretarako, mazaroten forma, tamaina eta kokapena definitu behar dira.

#### 4.1.1.1. MAZAROTEN FORMA

Solidotzearen hasierako etapetan, gainazaleko geruza mehe bat eratzen hasten da moldearen horma hotzetan solidotua eta denborak aurrera egin ahala, geruzaren lodiera handitu egiten da. Moldeen pareta zuzenekin, lodiera hau denboraren erro karratuarekiko proportzionala izango da. Geruza bikoizten denean, beraz, geruza  $\sqrt{2} = 1,41$  aldiz (edo% 41) lodiagoa bihurtzen da. Solidotze-denbora galdaketaren bolumenaren eta haren gainazal-azaleraren arabera da. Fourier-en bero transmisioaren ekuazioa integratuz, Chvorinov-ek ondoko adierazpena lortu zuen:

$$\text{Solidifikazio denbora} = C \left( \frac{\text{Bolumena}}{\text{Gainazal-azalera}} \right)^n \quad (1)$$



27. Irudia: Solidotze denboraren eta geruzaren lodieraren erlazioa [2]

C moldearen materialaren, metalaren propietateen (bero sorra barne) eta tenperaturaren arabera konstantea da. n-k 1,5 eta 2-ren arteko balioa izan ohi du, bai orokorrean 2 erabiltzen da.

Beraz, esfera solido handi bat esfera solido txiki bat baino askoz abiadura txikiagoan solidotu eta giro-tenperaturan hoztuko da. Horren arrazoia da esfera baten bolumena haren diametroaren kuboarekiko proportzionala dela eta azalera haren diametroaren karratuarekiko proportzionala dela. Era berean, frogatu daiteke metal urtua azkarrago solidotzen dela kubo formako molde batean bolumen bereko esferiko batean baino, ondoren azalduko den bezala.

Forma desberdinak aztertuko dira: kubo bat eta zilindro bat.  $n=2$  suposatuko da eta bolumenak berdinak direnez unitatea bezala adieraziko da. (1) adierazpena beraz:

$$\text{Solidifikazio denbora} = C \left( \frac{1}{\text{Gainazal} - \text{azalera}} \right)^2 \quad (2)$$

$$V_1 = V_2 \rightarrow r_1^3 = 2r_2 \cdot \Pi r_2^2 \rightarrow r_2 = r_1 \cdot \sqrt[3]{1/2\Pi} = 0,542r_1 \quad (3)$$

Behin radioak ezagunak direla, gainazal-azalera kalkulatuko dira (3) erabiliz:

$$\text{Kuboa: } A_k = 6r_1^2 \quad (4)$$

$$\text{Zilindroa: } A_z = 2\Pi r_2^2 + 2\Pi r_2 h = 2\Pi r_2^2 + 4\Pi r_2^2 = 6\Pi r_2^2 = 5,54r_1^2 \quad (5)$$

(4) eta (5) (2)-n erabiliz solidotze denborak lortuko dira:

$$\text{Kuboa: Solidifikazio denbora} = C \left( \frac{1}{6r_1^2} \right)^2 = 0,0278 \left( \frac{C}{r_1^4} \right)$$

$$\text{Zilindroa: Solidifikazio denbora} = C \left( \frac{1}{5,54r_1^2} \right)^2 = 0,03263 \left( \frac{C}{r_1^4} \right)$$

Ikus daiteke nola zilindroaren kasuan gehiago tardatuko duen solidotzen, erradioa eta C koefizientea berdinak direlako. Beraz, ondorioztatu daiteke mazarotaren formarentzako egokiagoa izango dela zilindrikoa izatea, horrela materiala ahalik eta denbora luzeenean mantendu daiteke likido egoeran.

#### 4.1.1.2. MAZAROTEN KOKAPENA

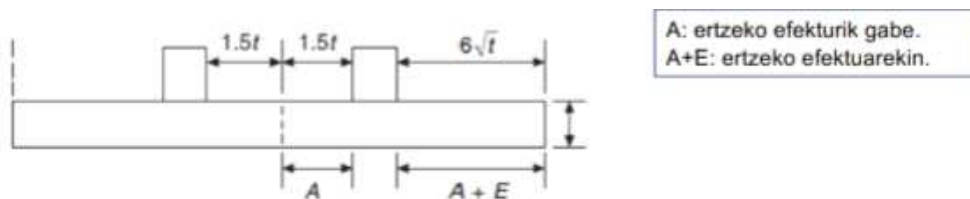
Pieza elikatzeke, mazarota bat baino gehiago behar izaten da, mazarotaren eragin-erradioa mugatua dela kontuan hartu beharko baita. Kasu gehienetan mazaroten tamaina kalkulatu baino lehenago, zenbat mazarota eta non kokatu behar diren aztertu beharko da.

Gehienetan mazarotak elikadura zaileko ataletan jartzen dira (masa handiko ataletan batez ere) mazarotak solidotzen azkenak direla bermatzeko (solidotzea piezatik mazarotara izateari solidotze zuzendua esaten zaio). Garrantzitsua da bestalde solidotutakoan mazarotak kentzea erraza izatea; gune laueta gune kurbatueta baino errazago kentzen dira, esate baterako. Barrak direnean, eragin-eremua mazarotaren albo bietara dagoen barraren luzeraren araberkoa da eta xaflak direnean, eragin-eremua zirkularra da. Piezak orokorrean idealizatu egiten dira (oso sinpleak ez badira) aurreko bi kasuetara jotzeko.

Influentzia edo eragin erradioa kalkulatzeko hainbat formula enpiriko erabili izan dira. Altzairu urtu, burdinurtu xaflagarrietan eta hondar berdean egindako burdinurtuetarako ondorengo formulak erabiltzen dira, piezaren dimentsio desberdinen erlazioen arabera:

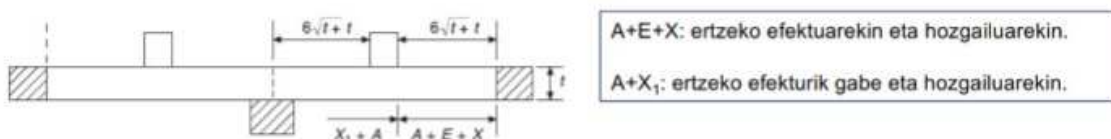
- Zabalera/Lodiera < 5

Kasu hau barretarako aztertzen da eta mazarotak izango duen eragin erradioa 28. irudikoa da.



28. Irudia: Eragin erradioa barretan [7]

Ikus daitekeenez, mazarota bat ondoan izateak edo ertzean egoteak ez dauka eragin berdina. Ertzetik gertu dagoen aldearen eragina handiagoa izango da. Kasu honi ertzeko efektua deritzo. Orain aipatutako baldintzez gain, hozkailuak jartzen badira eragin erradio desberdina lortuko da.

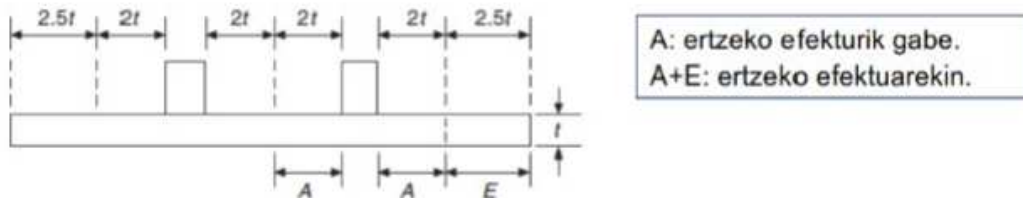


29. Irudia: Eragin erradio barretan hozkailuekin [7]

Hozkailuak pieza ugaritan mazaroten osagarri bezala erabili ohi diren elementuak dira. Hauei esker, influentzia erradioa handitzea lortzen dela argi ikus daiteke.

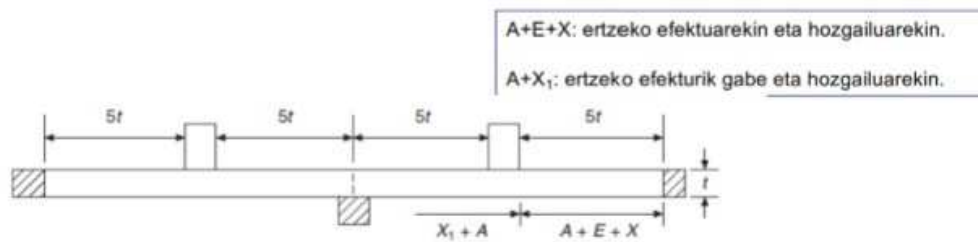
- Zabalera/Lodiera > 5

Garrantzitsua da berriz ere azpimarratzea altzairu urtu, burdinurtu xaflagarrietan eta hondar berdean egindako burdinurtuetarako bakarrik erabil daitezkeela aurreko adierazpenak. Xaflen kasua izango da hau eta eragin erradioak desberdinak direla ikusiko da, hain zuzen ere 30. irudikoak.



30. Irudia: Eragin erradioa xaflatan [7]

Aurretik ikusi bezala, hozkailuak jartzen badira eragin erradioak aldatu egiten dira.

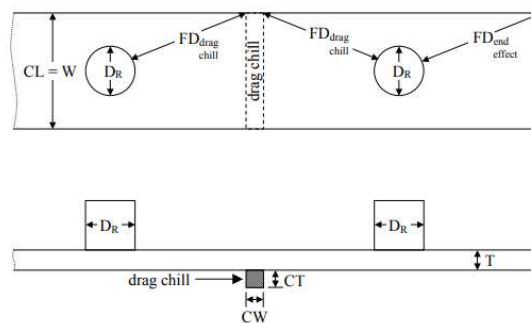


31. Irudia: Eragin erradioak xaflatan hozkailuekin [7]

Garrantzitsua da berriz ere azpimarratzea altzairu urtu, burdinurtu xaflagarrietan eta hondar berdean egindako burdinurtuetarako bakarrik erabil daitezkeela aurreko adierazpenak.

#### 4.1.1.3. HOZKAILUAK

Aurretik aipatutako hozkailuak dimentsionatzeko, 32. irudian ikus daitezkeen neurriak erabili behar dira. CT (Hozkailuaren lodiera) hozkailuaren kontaktuarekiko perpendikularrean definitzen da  $1/2T$  eta  $2/3T$  (Piezaren lodiera) tartean. Hozkailuaren zabalera, CW, kontaktuarekiko paraleloan definitzen da eta  $1/2 T$  eta  $2/3 T$  tarteko zabalera izan beharko du baita. CT eta CW handiagoek ez dute elikatze distantzia gehiago handituko. Azkenik hozkailuaren luzera (CL) piezaren geometriarekin bat egiteko definitzen da, hau da,  $CL = W$



32. Irudia: Hozkailuen dimentsionaketa [5]

#### 4.1.1.4. MAZAROTEN BOLUMENA

Mazarotaren bolumena kalkulatzeko orduan hainbat metodo enpiriko daude: Caine-ren metodoa, forma faktorearen metodoa (Bishop) eta ezagunena, hozte-moduluaren metodoa (Wlodawer).

- Hozte moduluaren metodoa (Wlodawer)

Hasteko, logikoki, elikatu behar den piezaren zatiaren modulu kalkulatu beharra dago. Piezaren bolumena ( $V_p$ ) eta piezaren azalera ( $A_p$ ) kalkulatu behar dira lehendabizi. Gaur egun CAD sistemek zuzenean ematen dituzten datuak dira horiek, hiru dimentsioko solidotik abiatuta.

$$M = \frac{V_p}{A_p} \quad (6)$$





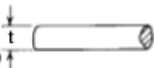

Hozte moduluaren bidez, piezaren solidotzea ematen den ordena iragarriko da. Modulu gero eta handiagoa izan, solidotze denbora ere handiago izango da.

Aurretik ikusi den bezala ((1) ekuazioa erabiliz), geometria desberdina daukaten bi gorputzek modulu berdina badaukate denbora berdina tardatuko dute hozten. Mazarotaren tamaina aukeratzeko orduan materialaren arabera hozte modulu koefiziente batez biderkatuko da.

$$\left(\frac{V_m}{A_m}\right) = 1,2 \cdot \left(\frac{V_p}{A_p}\right) \text{ altzairuetan eta Al eta Cu aleazioetan.} \quad (7)$$

$$\left(\frac{V_m}{A_m}\right) = 0,8 - 1,2 \cdot \left(\frac{V_p}{A_p}\right) \text{ burdinurto gris edo nodularretan.} \quad (8)$$

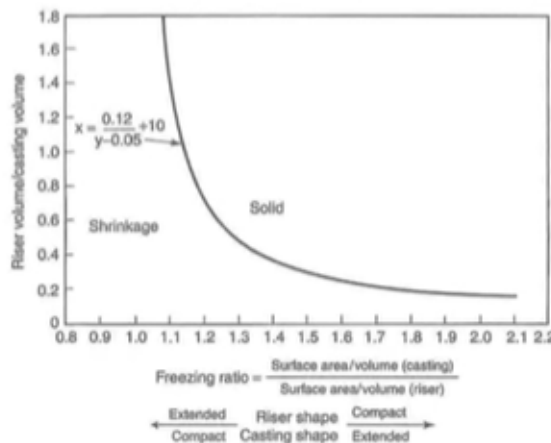
Beraz, aukeratuko piezaren materialaren arabera mazarotaren bolumena ( $V_m$ ) kalkulatu da.

Shape	Volume V	Area A	Modulus $V/A$
Sphere 	$\frac{\pi t^3}{6}$	$\pi t^2$	$\frac{t}{6}$
Cylinder $h = t$ 	$\frac{\pi t^3}{4}$	$\frac{3\pi t^2}{2}$	$\frac{t}{6}$
Cube 	$t^3$	$6t^2$	$\frac{t}{6}$
Bar (square semi infinite) 	$t^2 l$	$4tl$	$\frac{t}{4}$
Bar (Cylindrical semi infinite) 	$\frac{\pi t^2 l}{4}$	$\pi tl$	$\frac{t}{4}$
Plate (semi infinite) 	$At$	$2A$	$\frac{t}{2}$

33. Irudia: Forma klasikoaren hozte-moduluak [3]

- Caine-ren kurba metodoa

Kurba hau oso erabilgarria da forma eta tamainen datuak lortu ahal izateko, bai piezaren ataletakoak eta bai mazarotarenak. Kurbak  $\frac{M_m}{M_p}$  erlazioa handitzean, mazarotaren tamaina txikitzen doala adierazten du. Horretaz gain, bolumen jakineko pieza baterako mazarotaren gutxieneko tamaina badagoela esaten du; bertan, hurrupadura konpentsatzeko behar den gutxieneko bolumena agertzen da (kurbaren eskuinaldeko muga). Caine-ren kurba altzairuaren galdaketarako erabili ohi da. Gaur egun, pieza konplexua denean eta mazarota bat baino gehiago behar denean erabiltzen da. Mazarota bat baino gehiago behar denean, mazarota bakoitzaren tamaina banaka kalkulatzen da. Erabil beharko den moduluak elikatzeke atalarena izan behar du.



34. Irudia: Caine-ren kurba [7]

- Forma faktorearen metodoa (Bishop)

Bishop metodoan forma-faktorearen kontzeptua erabiltzen da aurretik Caine-ren kurban azaldutako hozte moduluen arteko erlazioa ordezkatzeko.

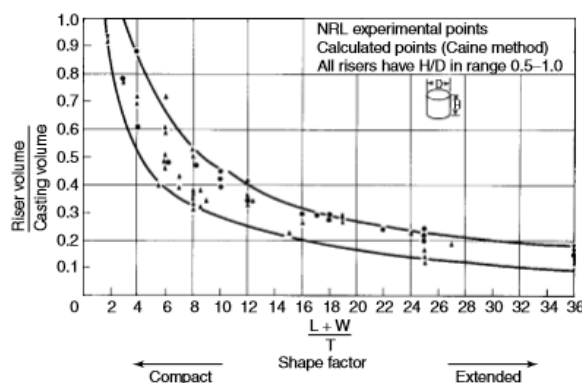
Forma faktorea:  $S=(L+W)/T$  (9)

non L,W eta T elikatutako distantzia, sekzio baliokidearen zabalera eta lodiera izango diren hurrenez hurren. Forma-faktorea lortu ostean, 34. irudiko grafikoan abzisa ardatzean aurkituko da.

Mazarotaren efektuaren luzera kalkulatzeko, influentzia erradioan oinarrituta kalkulatu da. Diametroari mazarotak albo bakoitzera duen influentzia erradioa gehituko zaio (kokapenaren probleman azalduko eran). Aurretik azaldu bezala, hau kalkulatzeko lehenik pieza mota definitu beharko da (barra/xafila), ertzeko efektuak dauden edo ez, hozkailuak erabiliko diren ala ez, eta abar.

Piezaren luzerari dagokionez, mazarotak kokatu nahi ditugun espazioaren luzera izango da. Erabiliko diren mazarota kopurua ezaguna denean forma faktorearen metodoa aplikatu da.

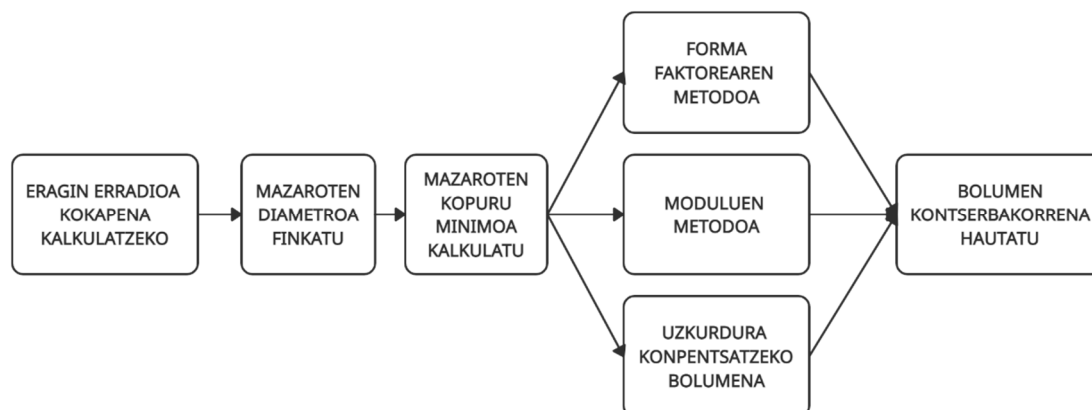
Metodo hau altzairuzko piezen diseinatzeko erabiltzen da. Barrak edo xafalak elikatzeke gai den mazarota zilindrikoaren tamaina minimoa kalkulatzeko baliagarria da. Honek, mazarota elikatuko duen piezaren paralelepipedo zirkunskribatua kontuan hartzen du:



35. Irudia: Bishop kurba [3]

Behin forma-faktorea kalkulatu denean mazarotaren bolumenaren eta piezaren bolumenaren arteko erlazioa lortuko da. Bertatik mazarotaren bolumena isolatuko da honen balio lortzeko, piezaren bolumena ezaguna baita. Aurretik azaldutako metodoetan baino bolumen handiagoak lortzen dira, beraz esan daiteke kontserbakorra dela. Mazarotaren luzera berdina izango denez, honen diametroa handitu egingo da eta honekin batera elikatutako distantzia. Beraz mazarota kopurua gehiago murriztu daitekeen konprobatu beharko da. Mazarota kopurua murriztu denez, forma-faktorearen balio berri bat lortuko da. Diametro berri honekin elikatu beharreko distantzia nahikoa den konprobatu beharko da, ez bada betetzen egindako suposizioak ez du balioko. Bete ezean, aurreko pausuan kalkulaturako mazarota kopurua eta diametroa izango dira zuzenak.

Atal honetan aipaturako pausu guztiak jarraitu badira mazarotaren forma, kokapen eta bolumenaren aurre dimentsionaketa egokia lortuko da.



36. Irudia: Mazarotak kalkulatzeko prozedura

#### 4.1.2. ELIKATZE SISTEMA

Elikatze-sistema egokia diseinatu dadin isurbidearen, elikatze-kanalen eta erasoen aurre dimentsionaketa egokia egitea beharrezkoa da. Atal honetan aipaturako zatien aurre dimentsionaketaren azalpena egingo da, abiaduraren eraginean sakonki sartuz. Fluxu turbulentuak ekidin behar dira poroak sortu ez daitezten.

- Isurbidea

Isurbidea atal oso garrantzitsua izango da, besteen aurrekaria delako eta isurtzean abiadura kontrolatu behar delako. Honen aurre dimentsionaketarako, ondoko adierazpenak erabiliko dira:

$$\text{Bernoulliren teorema: } \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + P = \text{cte} \quad (10)$$

non  $\rho$  dentsitatea den,  $v$  abiadura,  $g$  grabitatea,  $h$  altuera eta  $P$  presioa.

$$\text{Jarraitasun legea: } Q = A \cdot v \quad (11)$$

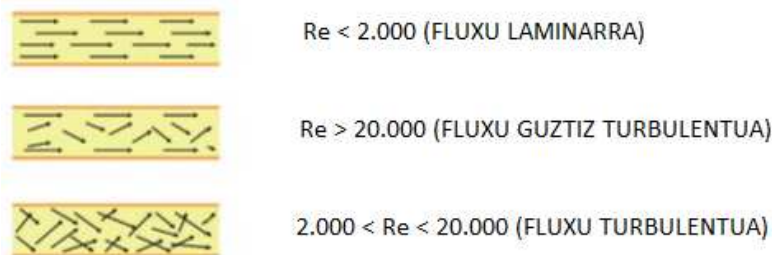
non  $Q$  emaria den,  $A$  zeharkako azalera eta  $v$  abiadura.

$$\text{Reynolds-en zenbakia: } R_e = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (12)$$

non  $R_e$  Reynolds-en zenbakia den,  $V$  abiadura,  $d$  zeharkako sekzioaren dimentsioa eta  $\nu$  biskositatea.

Bernoulli-ren teoremak dioten bezala prozesu osoan zehar energia zinetikoa, energia potentziala eta presio energiaren batura konstante izan beharko da. Honez gain, Jarraitasunaren legea ere bete beharko da. Hau da, une oro galdaren fluxua konstante izan beharko da. Honi esker, sekzio aldaketetan ematen diren abiadura aldaketak kalkulatu ahaliko dira. Hau guztia, Reynolds- zenbakia kontuan hartuz bete beharko da, honek dakartzan ondorioekin.

Reynolds-en zenbakia erabiliz fluxuaren izaera aztertu daiteke, ondoko irizpidea jarraituz:



37. Irudia: Reynolds-en zenbakiaren eragina [7]

Distribuzio sistema diseinatzeko lehenbizi betetze denbora kalkulatu beharko da. Pieza egiteko erabiliko den metalaren fluidotasunaren, gradiente termikoaren, piezaren pisuaren eta geometriaren menpekoea izango da.

Kalkulua egiterako orduan piezan akatsik agertu ez dadin, bi baldintza bete beharko dira.

1. Galdatutako metalak barrunbe osoa bete behar du edozein puntutan solidotzea hasi aurretik.

Beraz betetze denbora maximoa isurketa tenperaturatik solidotze tenperaturara iritsi arteko denbora izango da. Betetze denbora kalkulatzeko hainbat adierazpen daude, esperientziatik sortuak.

$$t = s\sqrt{M} \quad (13)$$

$$t = s\sqrt[3]{\delta M} \quad (14)$$

non  $s$  paretan lodiera kontuan hartzen duen koefizientea den,  $M$  pieza eta mazarotaren masa eta  $\delta$  piezaren lodiera.



Masa (kg)	Pareten lodiera (mm)	s
< 450	2,5-3,5	1,68
	3,5-8	1,85
	8-15	2,2

Masa (kg)	$\delta$ (mm)	s
< 1000 (Altzairuetan bakarrik)	< 10	1
	20	1,35
	40	1,5
	> 80	1,7

38. Irudia: Betetze denboraren kalkulurako koefizientea [7]

2. Bero erradiatzaileak gainazalean akatsak sor aurretik (harearen dilatazioarengatik) bete beharko da barrunbe osoa.

Betetze denbora kalkulatu ostean, (11) adierazpena erabiliz isurbidearen zeharkako sekzioa kalkulatu ahal izango da. Adierazpen honen arabera, emaria konstante mantenduko denez puntu desberdinen arteko abiaduraren eta sekzioaren arteko erlazioa jakin daiteke. Beraz:

$$Q = A \cdot v = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Ala eta guztiz, (10) adierazpenean agertzen ez diren karga galerak kontuan hartu behar dira. Bi adierazpen hauek kontuan hartuz eta karga galerak erabiliz, honela adierazpena iristen da:

$$Q = \frac{A \cdot v}{c} \tag{15}$$

non c karga galerak kontuan hartzen duen koefizientea den.

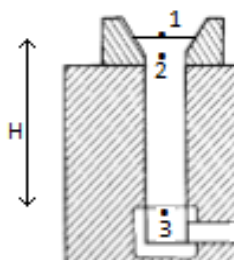
Moldea egiteko prozesua	c
Berdea (Disamatic)	0,35-0,5
Berdea, isurketa horizontala (Pieza normalak H<500)	0,6-0,7
Isurketa kimiko horizontala (Pieza handiak H>500)	0,7-0,8
Moldeaketa kimikoa, isurketa puntu desberdinetatik	0,7

39. Irudia: Karga galeren koefizientea [7]

(10) adierazpena berriz ere kontuan izanda, 40. irudiko 3. puntuan metalak izango duen abiadura jakin daiteke .

$$v_3 = \sqrt{2gH} \tag{16}$$

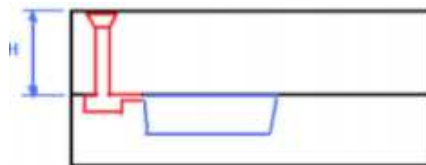
non H 1.puntutik 3.puntura dagoen altuera den.



40. Irudia: Isurbidearen puntu desberdinak [3]

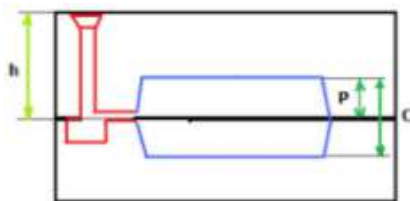
Fluxuak duen energia potentziala energia zinetikoa bihurtzen dela suposatuko da gauzak sinplifikatzeko, beste arazo batzuk aurkituko baitira.

3. puntuan metalak ez du abiadura berdina izango pieza partizio lerrotik bera edo gainetik kokatuta badago. Partizio lerrotik azpitik badago ez da inongo zuzenketarik egin beharko.



41. Irudia: Altuera barrunbea partizio lerro azpitik dagoenean [9]

- Barrunbeak partizio lerroa gainditzen badu, fluxuak partizio lerroa gainditzean 3.puntuan goranzko fluxua egongo da eta zuzenketa bat egin beharko da abiadura egokia kalkulatzeko.



42. Irudia: Altuera barrunbea partizio lerro gainetik dagoenean [9]

Ondorioz, erabili beharreko altuera ondokoa da:

$$H' = H - \frac{P^2}{2C} \quad (17)$$

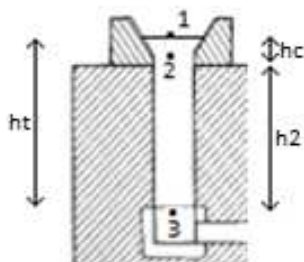
non P eta C 42. irudiko dimentsioak diren.

Behin altuerak kalkulaturik, puntu guztietako abiadurak kalkulatu daitezke. Ikus daitezke nola 3. puntuan abiadura altuena izango den, sekzio txikiena delako.

Isurbidearen aurre dimentsionaketa amaitzeko xurgatze efektua aztertu beharra dago. Xurgatze efektuak airea metal urtuan sartzea dakar, honek dakarren akatsekin batera. (9) adierazpenean kontutan hartzen bada presioa ezin dela izan presio atmosferikoa baino txikiagoa, ondoko erlazioa lortzen da xurgatzea ekiditeko.

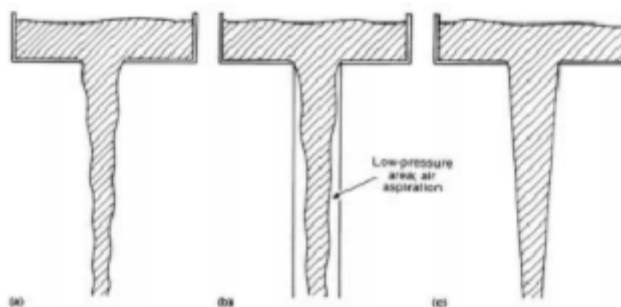
$$\frac{A_3}{A_2} = \sqrt{\frac{h_c}{h_t}} \quad (18)$$

non A puntu desberdinetako azalerak diren eta h 43. irudiko altuerak.



43. Irudia: Puntu desberdinetako altuerak [3]

Beste era batera esanda, isurbidea hiperbolikoa izan beharko litzateke. Erraztasuna dela eta, hiperbolikoa izan ordez forma konikoa ezartzen zaio, (18) adierazpena errespetatuz.



44. Irudia: Xurgatze efektua [3]

#### 4.1.2.1. ERASO ETA KANALAK

Eraso eta kanalak dimentsionatzeko erlazioa definitzen da, isurbidearen, kanalaren eta erasoaren sekzioen arteko erlazioa adierazten duena. Ondorengo moduan adieraz daiteke:

$$1: \frac{A_c}{A_B} : \frac{A_A}{A_B} \quad (19)$$

non  $A_c$  kanalaren zeharkako sekzioaren azalera den,  $A_B$  isurbidearena eta  $A_A$  erasoena.

Erlazio hau aztertuz, bi motatan bana daiteke eraso eta kanalaren dimentsionaketa.

1. Sistema konbergente edo presioa daukatena:  $1 > \frac{A_c}{A_B} > \frac{A_A}{A_B}$

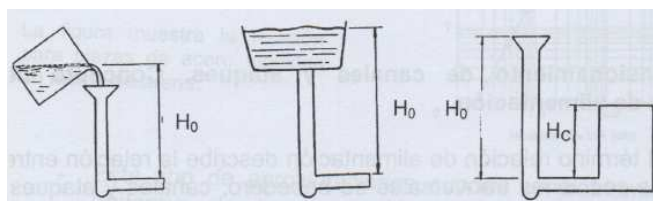
Sistema hauetan eraso eta kanalak beti daude beteta, beraz fluxua eta distribuzioa aurrez ikusteko errazagoak dira. Hala ere, fluxua oso turbulenta da. Sistema hauetan adibidez 4:8:3 erlazioa erabili ohi da.

2. Sistema dibergenteak edo presio gabekoak:  $1 < \frac{A_c}{A_B} < \frac{A_A}{A_B}$

Sistema hauetan ez da ziurtatzen eraso eta kanalak beteta egotea. Honen ondorioz fluxua irregularra izango da eta aire atrapatuta geratzeko joera dago. Sistema hauetan ohikoa da 1:2:2, 1:2:4 eta 1:4:4 erlazioak erabiltzea.

Erabiliko den sistemaren aukeraketa erabiliko den materialaren arabera egiten da. Emaizta egokiena bide guztiak beteta egotea bermatzen duen presioa ziurtatzen duen sistema izango da, baina xurgatze efektua ekidinez.

Erlazioa aplikatzeko, isurbidearen sekzioa jakin beharra dago. Horretarako isuriko den metalaren pisua eta sarrerako abiadura erabiltzen dira.



45. Irudia: Isurbidearen sekzioaren kalkulua [3]

Horretarako bi kasu desberdin aztertuko dira: 45. irudiko ezkerreko eta erdiko kasua alde batetik eta eskuinekoa beste alde batetik.

$$1.\text{kasua: } A_B = \frac{P}{\rho \cdot t \cdot \alpha \cdot \sqrt{2gH_0}} \quad (20)$$

$$2.\text{kasua: } A_B = \frac{2P}{\rho \cdot t \cdot \alpha \cdot \sqrt{2g \cdot (\sqrt{H_0} - \sqrt{H_C})}} \quad (21)$$

non  $A_B$  isubidearen zeharkako sekzioaren azalera den,  $P$  isuriko den metalaren pisua,  $\rho$  dentsitatea,  $t$  betetze denbora,  $\alpha$  karga galeren koefizientea eta  $H$  45. irudiko altuerak.



46. Irudia: Elikatze sistema kalkulatzeko prozedura

## 4.2. FORMULA ENPIRIKOEN BALIAGARRITASUNAREN AZTERKETA ETA GALDAKETA PROZESUAREN DISEINUAREN INFLUENTZIA

### 4.2.1 ARAZOAREN AURKEZPENA

Aurretik azaldutako formula eta metodoak erabiliko dira pieza simple bat diseinatzeko (disko bat), ondoren kasu idealenaren eta beste hainbat kasuren simulazioa egiteko metodoen baliagarritasuna eta hauek betetzeko beharra aztertuko.

Aldagai bakoitza aldatzeak dakartzan ondorioak analizatu ostean konplexuago den beste pieza baten diseinua egingo da (polea bat), diskotik lortutako ezagutzarekin ahalik eta emaitza hobereana lortzen saiatuz. Horretarako, diskoan egingo den bezala, simulazio bidez galdaketaren emaitza eta prozesua aztertuko da.

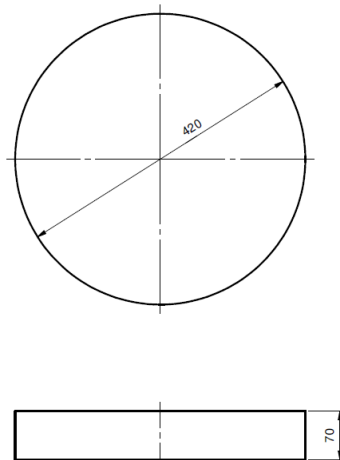
#### 4.2.1.1. DISKOA

Metodologiaren baliagarritasuna konprobatzeko 47. irudiko diskoa erabiliko da, ikus daitezkeen dimentsioz gain ondorengo ezaugarri hauek dituen:

$$\text{Diskoaren bolumena: } V = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot h = \pi \cdot \frac{420^2}{4} \cdot 70 = 9.698.096 \text{ mm}^3$$

$$\text{Sekzio erdiaren azalera: } A = W \cdot H = 70 \cdot 210 = 14.700 \text{ mm}^2 \text{ (Ikusi 44. irudia)}$$

$$\text{Gainazal azalera: } A_p = 2\pi r h + 2\pi r^2 = 2\pi \cdot 210 \cdot 70 + 2\pi \cdot 210^2 = 369.451 \text{ mm}^2$$



47. Irudia: Diskoaren dimentsioak

#### 4.2.1.2. PIEZAREN MATERIALA

Pieza eraikitzeko F-8110 galdaketarako altzairu arrunta aukeratu da.

Elementua	C	Si	Mn	S	P
%Masa	0,45	0,30-0,60	0,40-0,80	max. 0,05	max. 0,05

2. Taula: F-8110-ren konposizio kimikoa

Dentsitatea	7.850 kg/m <sup>3</sup>
Trakzio limitea	600 MPa
Elastikotasun limitea	300 MPa
Gogortasuna	335 HB
Poisson-en koefizientea	0,29
Elastikotasun modulua	196 GPa

3. Taula: F-8110 altzairuaren ezaugarri mekanikoak

Fusio tenperatura	1.480°C
Eroankortasun termikoa	50 W/(m·K)
Bero espezifikoa	460 J/(kg·K)
Dilatazio termikoko koefizientea	1.32E-5 - 1.38E-5 1/K

4. Taula: F-8110 altzairuaren ezaugarri termikoak

UNE	DIN	ASTM	AFNOR	JIS
F-8110 (AM 60 c)	GS-60	A148 80-42	GE300	SCC5/S45C

5. Taula: Arau internazionalen arteko baliokidetasuna

#### 4.2.1.3. MOLDEAREN MATERIALAREN EZAUGARRIAK

Galdaketa egiteko aukeratu den harea hare berdea izan da, lan hau hondar berdeko galdaketa zentratzen baita. Berdea bezala ezagutzen da galdaketa egiten den unean hezetasuna daukalako, beraz ez du aurretiko lehortzerik behar. Hareak kolore argiak ditu baina prozesua aurrera doan heinean iluntzen doa.

Hare berdea hare silikoarekin (SiO<sub>2</sub>), buztinarekin eta urarekin dago osatuta eta hauen edukia gutxi gora behera %90-ekoa, %7-koa eta %3-koa dira hurenez hurren. Buztinak aglomeratzaile bezala jokatzen du, hondarra trinko mantentzen laguntzen duena eta desmuntatzeko lana errazten duena.

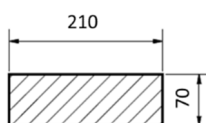
Dentsitatea	1.370 kg/m <sup>3</sup>
Bero espezifikoa	1.030 J/(kg·K)
Eroankortasun termikoa (20°C)	0,4 W/(m·K)
Eroankortasun termikoa (1.300°C)	1,13 W/(m·K)

6. Taula: Hare berdearen propietateak

#### 4.2.2. AUREDIMENTSIONAKETA

##### 4.2.2.1. MAZAROTAK

Kalkuluak egiteko 48. irudiko sekzioa erabiliko da, hau da, piezaren zeharkako sekzio erdia, biraketan eratzten den pieza balitz bezala.



48. Irudia: Kalkuluak egiteko diskoaren sekzioa

- Elikatze distantzia

Forma:  $\frac{W}{T} = \frac{W}{H} = \frac{210}{70} = 3 < 5 \rightarrow$  Barra forma izango du, beraz mazarotek elikatuko duten distantzia 28. irudikoa izango da.

- Mazarotaren diametroa

Inskribatutako zirkuluaren metodoarengatik, mazarotatik behera ez dago sekzio handiagorik aurkitu behar, beraz mazaroten diametroa ondorengoa izango da:

$$\phi_M \geq W \rightarrow \phi_M = 210 \text{ mm}$$

- Mazarota kopuru minimoa

$$N_M = \frac{\text{Piezaren luzera}}{\text{Mazarotaren efektuaren luzera}}$$

$$\text{Piezaren luzera} = \pi \cdot \phi_{\text{batatz-bestekoa}} = \pi \cdot \frac{420+0}{2} = 660 \text{ mm}$$

Mazarotaren efektuaren luzera:

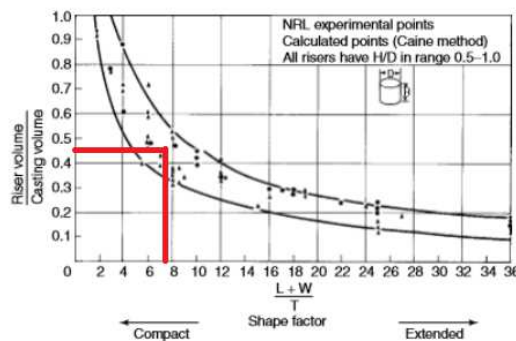
$$L = \phi_M + 2 \cdot (1,5T) = 210 + 2 \cdot (1,5 \cdot 70) = 420 \text{ mm}$$

$$\text{Beraz: } N_M = \frac{660}{420} = 1,57 = 2 \text{ mazarota.}$$

$$\text{Bakoitzak elikatuko duten distantzia: } L = \frac{660}{2} = 330 \text{ mm}$$

- Mazaroten bolumena

$$\text{Forma faktorearen metodoa erabilita: } SF = \frac{L+W}{T} = \frac{330+210}{70} = 7,71$$



49. Irudia: Bishop-en kurbako emaitza mazarota birekin

Bishopen kurbatik (49. irudia):

$$\frac{V_{MT}}{V_P} = 0,45 \rightarrow V_{MT} = 0,45V_P = 0,45 \cdot 9.698.096 = 4.364.143 \text{ mm}^3$$

$$\text{Bi mazarota daudenez: } V_M = \frac{V_M}{2} = \frac{4.364.143}{2} = 2.182.072 \text{ mm}^3$$

$$\text{Mazarotaren bolumena: } V_M = \frac{\pi \phi_M^2}{4} \cdot H_M, \text{ baina } H_M = \phi_M \text{ dela ezarriko da.}$$

$$\text{Mazarotaren diametroa: } V_M = \frac{\pi \phi_M^3}{4} \rightarrow \phi_M = \sqrt[3]{\frac{4V_M}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 2.182.072}{\pi}} = 141 \text{ mm}$$

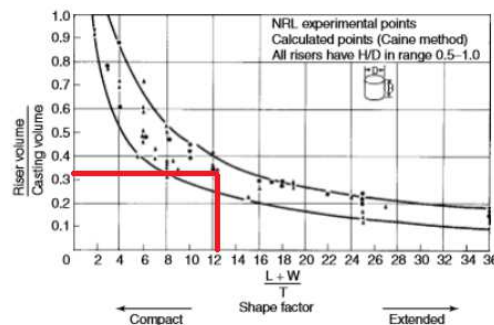
Mazarotak elikatuko duen distantzia:

$$L = \phi_M + 2(1,5T) = 141 + 2(1,5 \cdot 70) = 351 \text{ mm}$$

Bi daudenez guztira elikatuko duten distantzia 702 mm-koa izango da, beraz distantzia osoa beteko dute.

- Mazarota bakarra erabilita

$$\text{Mazarota bakarra ezin dela jarri konprobatzeko: } SF = \frac{L+W}{T} = \frac{660+210}{70} = 12,43$$



50. Irudia: Bishop-en kurbako emaitza mazarota batekin

Bishopen kurbatik (50. irudia):

$$\frac{V_{MT}}{V_P} = 0,33 \rightarrow V_{MT} = 0,33V_P = 0,33 \cdot 9.698.096 = 3.200.372 \text{ mm}^3$$

$$\text{Mazarotaren diametroa: } V_M = \frac{\pi \phi_M^3}{4} \rightarrow \phi_M = \sqrt[3]{\frac{4V_M}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 3.200.372}{\pi}} = 160 \text{ mm}$$

Mazarotak elikatuko duen distantzia:

$$L = \phi_M + 2(1,5T) = 160 + 2(1,5 \cdot 70) = 370 \text{ mm}$$

Ez du distantzia osoa beteko, beraz bi mazarota jarriko dira, aurretik suposatu bezala.

- Uzkuadura konpentsatzeko beharrezko bolumena

Ondorengo hartu behar da kontutan uzkuadura konpentsatzeko:  $V_{MT} = V_P \cdot CS \cdot c$

3 hartuko da segurtasun koefiziente bezala eta kontrakzio bolumetrikoa 0,06 altzairu ez aleatuentzako.

$$V_{MT} = 9.698.096 \cdot 3 \cdot 0,06 = 1.745.657 \text{ mm}^3$$

$$\text{Bi mazarota daudenez: } V_M = \frac{V_M}{2} = \frac{1.745.657}{2} = 872.829 \text{ mm}^3$$

$$\text{Mazarotaren diametroa: } V_M = \frac{\pi \phi_M^3}{4} \rightarrow \phi_M = \sqrt[3]{\frac{4V_M}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 872.829}{\pi}} = 104 \text{ mm}$$

Egindako kalkulu hauetatik, 141 mm-tako diametroa izan da kontserbakorra, 2 mazarotekin.

- Mazarotaren bolumena moduluen metodoa erabilia

$$M_{MT} = 1,2M_P$$

$$\text{non } M_P = \frac{V_P}{A_P} = \frac{9.698.096}{369.451} = 26,25 \text{ mm} \rightarrow M_{MT} = 1,2 \cdot 26,25 = 31,5 \text{ mm}$$

$$M_{MT} = \frac{\pi \phi_M^3 / 4}{2\pi r h} = \frac{\pi \phi_M^3 / 4}{\pi \phi_M^2} = 31,5 \rightarrow \phi_M = 4 \cdot 31,5 = 126 \text{ mm}$$

Piezari mazarotaren ukipen azalera kenduz, piezaren azalera zehatzagoa lor daiteke.

$$A_P = 369.451 - \frac{\pi \phi_M^2}{4} \cdot 2 = 369.451 - \frac{\pi \cdot 126^2}{4} \cdot 2 = 344.513 \text{ mm}^2$$

$$M_{MT} = 1,2 \cdot \frac{9.698.096}{344.513} = 34 \text{ mm}$$

$$M_{MT} = \frac{\pi \phi_M^3 / 4}{2\pi r h} = \frac{\pi \phi_M^3 / 4}{\pi \phi_M^2} = 34 \rightarrow \phi_M = 4 \cdot 34 = 136 \text{ mm}$$

Bishop kontserbakorrakoa dela ikus daiteke lortutako diametroa  $\phi_M = 141 \text{ mm}$ -koa baita. Hau dela eta, diskoaren bi mazarotak 145 mm-tako altuera eta diametroarekin diseinatuko dira borobiltzeko.

#### 4.2.2.2. ELIKATZE-SISTEMA

Mazarota kopurua eta bakoitzaren dimentsioak kalkulatu ostean geratzen den bakarra elikatze sistema diseinatzea da.

Elikatzea goitik, bi kanal eta bakoitza bi erasorekin egingo da. (51. irudia ikusi).

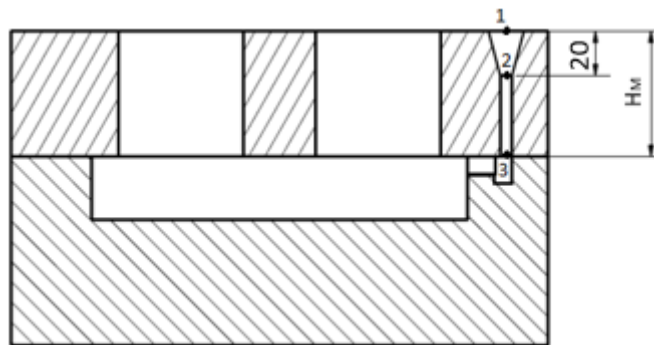
Gainezkabidearen altuera: 2 cm (51. irudian milimetrotan dago)

Sistema konbergentea edo presioduna: 4:3:2

$$H_M = \phi_M = 145 \text{ mm} = 14,5 \text{ cm}$$

$$\text{Piezaren bolumena: } V_P = 9.698.096 \text{ mm}^3 = 0,0968 \text{ m}^3$$

$$\text{Mazaroten bolumena: } V_{MT} = 4.364.143 \text{ mm}^3 = 0,0436 \text{ m}^3$$



51. Irudia: Diskoaren moldearen dimentsioa

- Betetze denbora

$$\text{Piezaren masa: } m_P = V_P \cdot \rho = \frac{9.698.096 \text{ mm}^3}{10^9 \text{ mm}^3/\text{m}^3} \cdot \frac{7850 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 76,13 \text{ kg}$$

$$\text{Mazarotaren masa: } m_m = V_m \cdot \rho = \frac{4.364.143 \text{ mm}^3}{10^9 \text{ mm}^3/\text{m}^3} \cdot \frac{7850 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 34,26 \text{ kg}$$



$$M = m_p + m_m = 76,13 + 34,26 = 110,4 \text{ kg} < 450 \text{ kg}$$

Pareten lodiera:  $\delta=70 \text{ mm} > 15 \text{ mm}$  ; Beraz 37. irudian  $s=2,2$  eta  $s=1,65$  altzairuetan.

$$\text{Betetze denbora: } t_{betetze} = s\sqrt{M} = 2,2 \cdot \sqrt{110,4} = 23 \text{ s}$$

$$\text{Betetze denbora altzairuetan: } t_{betetze} = s^3\sqrt{\delta M} = 1,65 \cdot \sqrt[3]{70 \cdot 110,4} = 33 \text{ s}$$

Betetze denbora hauek ikusita, hiru simulazio egin daitezke betetze denborekin jolastuz, adibidez 10 segundorekin probatuz ere.

- Sekzioen kalkulua

$$\text{Batez besteko emaria izango da: } Q = v_3 \cdot s_3 = \frac{V_P + V_M}{t_{betetze}}$$

$t_{betetze} = t_M + t_P$  dela kontutan hartuz, mazaroten eta piezaren betetze denborak kalkulatu behar dira.

- Piezaren betetze denbora ( $t_P$ )

$$v_3 = \sqrt{2gH_M} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,145} = 1,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = \frac{V_P}{t_P} = v_3 \cdot s_3 \rightarrow t_P = \frac{V_P}{v_3 \cdot s_3} = \frac{9.698.096 \cdot 10^{-9}}{1,69 \cdot s_3} = \frac{0,005739}{s_3}$$

- Mazaroten betetze denbora  $t_M$

$$v_3' = \sqrt{2gH'} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,096} = 1,37 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$H' = H_M - \frac{p^2}{2c} = 0,145 - \frac{0,145^2}{2 \cdot (0,145 + 0,07)} = 0,096 \text{ m} = 96 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{V_M}{t_M} = v_3' \cdot s_3 \rightarrow t_M = \frac{V_M}{v_3' \cdot s_3} = \frac{4.364.143 \cdot 10^{-9}}{1,37 \cdot s_3} = \frac{0,003186}{s_3}$$

- Betetze denbora totala ( $t_{betetze}$ )

$$t_{betetze} = t_M + t_P = \frac{0,005739}{s_3} + \frac{0,003186}{s_3} = \frac{0,008925}{s_3} \rightarrow s_3 = \frac{0,008925}{t_{betetze}}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak ordezkatzu :

$$s_3 = \frac{0,008925}{33} = 0,00027 \text{ m}^2 = 270 \text{ mm}^2 \text{ (33 s erabilia)}$$

$$s_3 = \frac{0,008925}{23} = 0,00039 \text{ m}^2 = 390 \text{ mm}^2 \text{ (23 s erabilia)}$$

$$10 \text{ segundoko betetze denbora ordezkatzu: } s_3 = \frac{0,008925}{10} = 0,000893 \text{ m}^2 = 893 \text{ mm}^2$$

Sekzioaren diametroa betetze denbora enpirikoak erabiliz:

$$s_3 = \frac{\pi \phi_{s_3}^2}{4} \rightarrow \phi_{s_3} = \sqrt{\frac{4s_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 270}{\pi}} = 19 \text{ mm} \text{ (33 s erabilia)}$$

$$s_3 = \frac{\pi \phi_{s3}^2}{4} \rightarrow \phi_{s3} = \sqrt{\frac{4s_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 390}{\pi}} = 22 \text{ mm (23 s erabilita)}$$

Sekzioaren diametroa 10 segundoko betetze denbora erabiliz:

$$s_3 = \frac{\pi \phi_{s3}^2}{4} \rightarrow \phi_{s3} = \sqrt{\frac{4s_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 893}{\pi}} = 34 \text{ mm}$$

- Isurbidearen diseinua

Xurgatze efektua eman ez dadin ondokoa bete behar da:  $\frac{s_3}{s_2} = \sqrt{\frac{H_R}{H_M}}$

Betetze denbora enpirikoak erabiliz:

$$s_2 = s_3 \cdot \sqrt{\frac{H_M}{H_R}} = 270 \cdot \sqrt{\frac{0,145}{0,02}} = 727 \text{ mm}^2 \text{ (33 s erabilita)}$$

$$s_2 = s_3 \cdot \sqrt{\frac{H_M}{H_R}} = 390 \cdot \sqrt{\frac{0,145}{0,02}} = 1.050 \text{ mm}^2 \text{ (23 s erabilita)}$$

10 segundoko betetze denbora erabiliz:

$$s_2 = s_3 \cdot \sqrt{\frac{H_M}{H_R}} = 893 \cdot \sqrt{\frac{0,145}{0,02}} = 2.405 \text{ mm}^2$$

Sekzioaren diametroa kalkulatzeko:  $s_2 = \frac{\pi \phi_{s2}^2}{4} \rightarrow \phi_{s2} = \sqrt{\frac{4s_2}{\pi}}$

Betetze denbora enpirikoak erabiliz:

$$\phi_{s2} = \sqrt{\frac{4s_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 727}{\pi}} = 30 \text{ mm (33 s erabilita)}$$

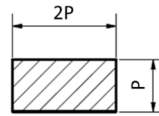
$$\phi_{s2} = \sqrt{\frac{4s_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.050}{\pi}} = 37 \text{ mm (23 s erabilita)}$$

10 segundoko betetze denbora erabiliz:

$$s_2 = \frac{\pi \phi_{s2}^2}{4} \rightarrow \phi_{s2} = \sqrt{\frac{4s_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.405}{\pi}} = 55 \text{ mm}$$

- Kanalen eta erasoen diseinua 2 kanal eta 4 erasorekin.

Erabiliko den isurbide, kanal eta erasoen arteko erlazioa 4:3:2 erlazioa izango da aurretik esan bezala, eta sekzioen geometria 52. irudikoa.



52. Irudia: Lehenengo kanalaren eta erasoaren sekzioa

- Kanalak

$$s_3 = 2s_4 \rightarrow \frac{s_3}{2s_4} = \frac{4}{3} \rightarrow s_4 = \frac{3 \cdot s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 270}{8} = 102 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{102}{2}} = 7 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

$$s_4 = \frac{3 \cdot 390}{8} = 147 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{147}{2}} = 9 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 893}{8} = 335 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{335}{2}} = 13 \text{ mm}$$

Borobilduz, kanalaren dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako: 30X15 mm<sup>2</sup>

- Erasoak

$$s_3 = 4s_5 \rightarrow \frac{s_3}{4s_5} = \frac{4}{2} \rightarrow s_5 = \frac{s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_5 = \frac{270}{8} = 34 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{34}{2}} = 4 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

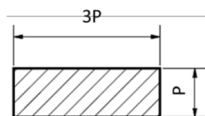
$$s_5 = \frac{390}{8} = 49 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{49}{2}} = 5 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_5 = \frac{893}{8} = 112 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{112}{2}} = 8 \text{ mm}$$

Borobilduz, erasoaren dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako 20X10 mm<sup>2</sup>

Sekzioen geometria 53. irudikora aldatzen bada, ondorengo emaitzak lortzen dira.



53. Irudia: Bigarren kanalaren eta erasoaren sekzioa

- Kanalak

$$s_3 = 2s_4 \rightarrow \frac{s_3}{2s_4} = \frac{4}{3} \rightarrow s_4 = \frac{3 \cdot s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 270}{8} = 102 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{3}} = \sqrt{\frac{102}{3}} = 6 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

$$s_4 = \frac{3 \cdot 390}{8} = 147 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{3}} = \sqrt{\frac{147}{3}} = 7 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 893}{8} = 335 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{3}} = \sqrt{\frac{335}{3}} = 10 \text{ mm}$$

Borobilduz, kanalaren dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako:  $30 \times 10 \text{ mm}^2$

- Erasoak

$$s_3 = 4s_5 \rightarrow \frac{s_3}{4s_5} = \frac{4}{2} \rightarrow s_5 = \frac{s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_5 = \frac{270}{8} = 34 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_5}{3}} = \sqrt{\frac{34}{3}} = 3 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

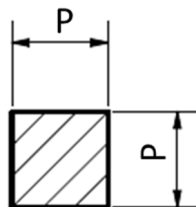
$$s_5 = \frac{390}{8} = 49 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_5}{3}} = \sqrt{\frac{49}{3}} = 4 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_5 = \frac{893}{8} = 112 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_5}{3}} = \sqrt{\frac{112}{3}} = 6 \text{ mm}$$

Borobilduz, erasoen dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako  $18 \times 6 \text{ mm}^2$

Azkenik sekzioen geometria 54. irudikora aldatuz behekoa lortzen da.



54. Irudia: Hirugarren kanalaren eta erasoaren sekzioa

- Kanalak

$$s_3 = 2s_4 \rightarrow \frac{s_3}{2s_4} = \frac{4}{3} \rightarrow s_4 = \frac{3 \cdot s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 270}{8} = 102 \text{ mm}^2; P = \sqrt{s_4} = \sqrt{102} = 10 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

$$s_4 = \frac{3 \cdot 390}{8} = 147 \text{ mm}^2; P = \sqrt{s_4} = \sqrt{147} = 12 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 893}{8} = 335 \text{ mm}^2; P = \sqrt{s_4} = \sqrt{335} = 18 \text{ mm}$$

Borobilduz, kanalaren dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako:  $18 \times 18 \text{ mm}^2$

- Erasoak

$$s_3 = 4s_5 \rightarrow \frac{s_3}{4s_5} = \frac{4}{2} \rightarrow s_5 = \frac{s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_5 = \frac{270}{8} = 34 \text{ mm}^2; P = \sqrt{s_5} = \sqrt{34} = 6 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

$$s_5 = \frac{390}{8} = 49 \text{ mm}^2; P = \sqrt{s_5} = \sqrt{49} = 7 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_5 = \frac{893}{8} = 112 \text{ mm}^2; P = \sqrt{s_5} = \sqrt{112} = 11 \text{ mm}$$

Borobilduz, erasoaren dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako  $12 \times 12 \text{ mm}^2$

- Kanalen eta erasoaren diseinua 2 kanal eta 6 erasorekin eta 52. irudiko sekzioarekin.

- Kanalak

$$s_3 = 2s_4 \rightarrow \frac{s_3}{2s_4} = \frac{4}{3} \rightarrow s_4 = \frac{3 \cdot s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 270}{8} = 102 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{102}{2}} = 7 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

$$s_4 = \frac{3 \cdot 390}{8} = 147 \text{ mm}^2; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{147}{2}} = 9 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 893}{8} = 335 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{335}{2}} = 13 \text{ mm}$$

Borobilduz, kanalaren dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako:  $30 \times 15 \text{ mm}^2$

- Erasoak

$$s_3 = s_5 \rightarrow \frac{s_3}{6s_5} = \frac{4}{2} \rightarrow s_5 = \frac{s_3}{12}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_5 = \frac{270}{12} = 23 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{23}{2}} = 4 \text{ mm} \text{ (33 s erabilia)}$$

$$s_5 = \frac{390}{12} = 33 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{33}{2}} = 4 \text{ mm} \text{ (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_5 = \frac{893}{12} = 75 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{75}{2}} = 6 \text{ mm}$$

Borobilduz, erasoen dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako  $12 \times 6 \text{ mm}^2$

- Kanalen eta erasoen diseinua 2 kanal eta 8 erasorekin eta 50. Irudiko sekzioarekin.

- Kanalak

$$s_3 = 2s_4 \rightarrow \frac{s_3}{2s_4} = \frac{4}{3} \rightarrow s_4 = \frac{3 \cdot s_3}{8}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 270}{8} = 102 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{102}{2}} = 7 \text{ mm} \text{ (33 s erabilia)}$$

$$s_4 = \frac{3 \cdot 390}{8} = 147 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{148}{2}} = 9 \text{ mm} \text{ (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 893}{8} = 335 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{335}{2}} = 13 \text{ mm}$$

Borobilduz, kanalaren dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako:  $30 \times 15 \text{ mm}^2$

- Erasoak

$$s_3 = s_5 \rightarrow \frac{s_3}{8s_5} = \frac{4}{2} \rightarrow s_5 = \frac{s_3}{16}$$

Lortutako betetze denbora enpirikoak erabilia:

$$s_5 = \frac{270}{16} = 17 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{17}{2}} = 3 \text{ mm (33 s erabilia)}$$

$$s_5 = \frac{390}{16} = 25 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{25}{2}} = 4 \text{ mm (23 s erabilia)}$$

10 segundoko betetze denbora erabilia:

$$s_5 = \frac{893}{16} = 56 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{56}{2}} = 6 \text{ mm}$$

Borobilduz, erasoen dimentsioa 10 segundoko betetze denborarako  $12 \times 6 \text{ mm}^2$

### 4.2.3. SIMULAZIOEN METODOLOGIA

Simulazioak egiteko lehendabizi eta logikoki simulatu nahi den geometria inportatu behar da .STL formatuan (CAD programatik lortutako geometria sinplifikatua, informazio gutxiagorekin). Inportatutako geometria honetan diskoaz gain elikatze sistema osoa eta mazarotak ere daude, hau da, solidotu ostean geratuko den gorputz guztia. Honen ostean fluxuaren sarrera kopurua eta kokalekua (kasu honetan sarrera bat isurbidearen sarreran) eta moldearen dimentsioak eta limiteak zehaztu behar dira.

Geometria guztiarekin bukatu ostean, honen gainazalak bolumenetan bihurtu behar dira hauekin lan egiteko, bakoitzari dagokion izena eta materiala ezarriz (moldeari are berdea eta sarrera, elikatze sistema eta piezari aukeratutako metalarena).

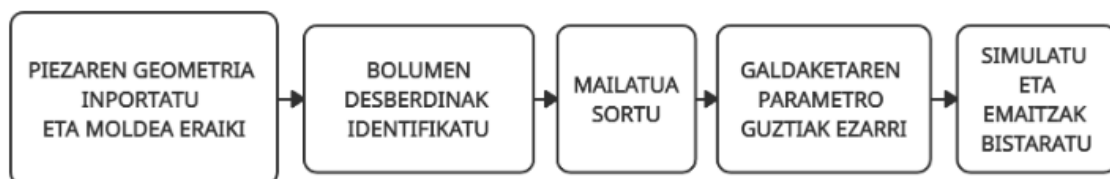
Bolumen guztiak identifikatutakoan mailatua sortu beharko da, elementuen tamaina finkatzen duen hainbat parametro ezarriz (elementuen batez besteko tamaina, tamaina handiena, txikiena...).

Orain galdaketan eragina izango duten baldintzak ezarri behar dira; hala nola sarrerako abiadura, moldearen barne zimurtasuna, emisibitate termikoa, sarrerako tenperatura...

Azkenik, ordenagailuak simulazio egin dezan galdaketak iraungo duen denbora, ordenagailuak simulatu beharko duen denbora eta zer tenperaturatan amaitzen den galdaketa zehaztu behar dira prozesatu aurretik.

Simulazioak eginda daudenean geratzen den bakarra .MCO fitxategia irekitzea da nahi diren parametroen bilakaera bistartzeko, hau da, postprozesua.

Simulazioen metodologia zehatzago ikusteko eta ezarri diren parametroen balioa ezagutzeko eranskinetara jo daiteke, bertan baitago azalpen guztia ondo zehaztuta.



55. Irudia: Simulazioen metodologia

## 4.2.4. EGINGO DIREN SIMULAZIOAK

### 4.2.4.1. DISKOAREN SIMULAZIOAK

Simulazioen bitartez mazarota kopurua, mazaroten bolumena, mazaroten arteko distantzia, betetze denbora eta elikatze sistemaren konfigurazio desberdinak aztertuko dira piezaren eraketan daukaten eragina ikusteko. Piezaren betetzean eragina daukaten parametroak aztertzeaz gain, mailatuan elementuen batz besteko tamaina aldatuko da simulazioaren emaitzetan daukan eragina aztertzeko.

Horretarako ondorengo parametroak aztertuko dira:

- Betetze-tasa (Filling-rate): jariakina betetze sistema, piezaren barrunbe eta mazarotetan zehar nola jariatzen duen aztertuko da, jarraitasunarekin egon daitezkeen arazoak ekiditeko.
- Betetze abiadura (Velocity): eredu osoan zehar (pieza, betetze sistema eta kanal eta erasoak) fluxu turbulenterik ematen ez dela ziurtatzeko.
- Frakzio likidoa (Liquid fraction): denbora igaro ahala likidoa zer norabidetan solidotzen den aztertuko da.
- Temperatura (Temperature): ildo beretik jarraituz, solidotzean temperatura nola txikitzen den aztertuko da aurreko parametroarekin bilatzen den helburu berarekin.
- Uzurdura (Shrinkage): solidotze ostean piezan agertzen den uzurdura aztertuko da piezan arazorik agertzen ez dela ziurtatzeko.

Parametro bakoitza aztertzeko 12 simulazioetan zehar 4 une desberdin aztertuko dira, abiadura eta uzurdura kenduta, momentu bakoitzari dagokion irudiekin. Horrela, betetze zein solidotzean, parametro guztien eragina argiago ikusiko da.

Parametro hauek izan dezaketen eragina aztertzeko, ondorengo konparaketak egingo dira, kasu bakoitzean beharrezkoak diren aldaketak eginda.

1. Mailatuaren eragina: Lehenengo eta bigarren simulazioak egoera berdinetan egingo dira eredu berdinarekin, aldatuko den aldagai bakarria mailatuaren batz besteko tamaina izango da.
2. Mazaroten eragina: Bigarrenetik bostgarrenera mazarota kopurua, mazaroten bolumena eta mazaroten kokapena aldatuko da honek izan dezakeen eragina aztertzeko.
3. Betetze denbora: Bigarren, zazpigarren eta zortzigarren simulazioak erabiliko dira betetze abiaduren eragina zein izan daitekeen hobeto ulertzeko.
4. Kanal eta erasoen geometria: Bigarren, bederatzigarren eta hamargarren simulazioetan kanalen eta sekzioen zeharkako sekzioak betetzean eta solidotzen izan dezakeen desberdintasunak alderatuko dira.
5. Eraso kopurua: Bigarren, hamaikagarren eta hamabigarren simulazioetan eraso kopurua aldatuko da, tamaina aldatu gabe, honek eragin dezakeen aldaketak aztertzeko

Egingo diren simulazioak 7. taulan ikus daitezke bakoitzaren ezaugarriekin.



Sim.	Mazarotaren bolumena	Mazarota kopurua	Betetze denbora (segundo)	Mailatuaren elementuen batezbesteko tamaina	Mazaroten arteko distantzia	Erasoak	Erasoen sekzioa
Sim. 1	V	1	10	0.02	-	4	2XPX
Sim. 2	V	1	10	0.01	-	4	2XPX
Sim. 3	V	2	10	0.01	210 mm	4	2XPX
Sim. 4	V/2	2	10	0.01	210 mm	4	2XPX
Sim. 5	V/4	2	10	0.01	210 mm	4	2XPX
Sim. 6	V	2	10	0.01	260 mm	4	2XPX
Sim. 7	V	2	23	0.01	210 mm	4	2XPX
Sim. 8	V	2	33	0.01	210 mm	4	2XPX
Sim. 9	V	2	10	0.01	210 mm	4	PXP
Sim. 10	V	2	10	0.01	210 mm	4	3XPX
Sim. 11	V	2	10	0.01	210 mm	6	2XPX
Sim. 12	V	2	10	0.01	210 mm	8	2XPX

7. Taula: Simulazioak

Simulazioak egiteko ondoko parametroak definitu dira:

- Piezaren materiala: F-8110 (High carbon steel QuikCast-en)
- Moldearen materiala: Hondar berdea (Silizea)
- Moldearen batezbesteko lodiera: 40 cm
- Moldearen zimurtasuna (Region roughness): 0,05
- Isurketa egiteko unean metalak duen tenperatura: 1.500°C
- Amaierako tenperatura: 200°C
- Moldea eta metal urtuaren arteko erresistentzia termikoa: 0,003 m<sup>2</sup>·K/W
- Emisibitate termikoa: 0,9

Honez gain beharrezkoa izango da jariakinak sarreran izango duen abiadura definitzea:

$$Q = v \cdot S \rightarrow v_2 = \frac{Q}{S_2} = \frac{V_T}{S_2 \cdot t_{\text{Betetzea}}} = \frac{V_P + V_{MT}}{S_2 \cdot t_{\text{Betetzea}}}$$

$$10 \text{ segundotan egiteko: } v_2 = \frac{V_P + V_{MT}}{S_2 \cdot t_{\text{Betetzea}}} = \frac{0,00968 \text{ m}^3 + 0,00436 \text{ m}^3}{(\pi \cdot 0,0275^2) \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ s}} = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Mazaroten bolumen erdiarekin: } v_2 = \frac{V_P + V_{MT}}{S_2 \cdot t_{\text{Betetzea}}} = \frac{0,00968 \text{ m}^3 + 0,00436/2 \text{ m}^3}{(\pi \cdot 0,0275^2) \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ s}} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Mazaroten bolumen laurdenarekin: } v_2 = \frac{V_P + V_{MT}}{S_2 \cdot t_{\text{Betetzea}}} = \frac{0,00968 \text{ m}^3 + 0,00436/4 \text{ m}^3}{(\pi \cdot 0,0275^2) \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ s}} = 0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$23 \text{ segundotan egiteko: } v_2 = \frac{V_P + V_{MT}}{S_2 \cdot t_{\text{Betetzea}}} = \frac{0,00968 \text{ m}^3 + 0,00436 \text{ m}^3}{(\pi \cdot 0,0275^2) \text{ m}^2 \cdot 23 \text{ s}} = 0,26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$33 \text{ segundotan egiteko: } v_2 = \frac{V_P + V_{MT}}{S_2 \cdot t_{\text{Betetzea}}} = \frac{0,00968 \text{ m}^3 + 0,00436 \text{ m}^3}{(\pi \cdot 0,0275^2) \text{ m}^2 \cdot 33 \text{ s}} = 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

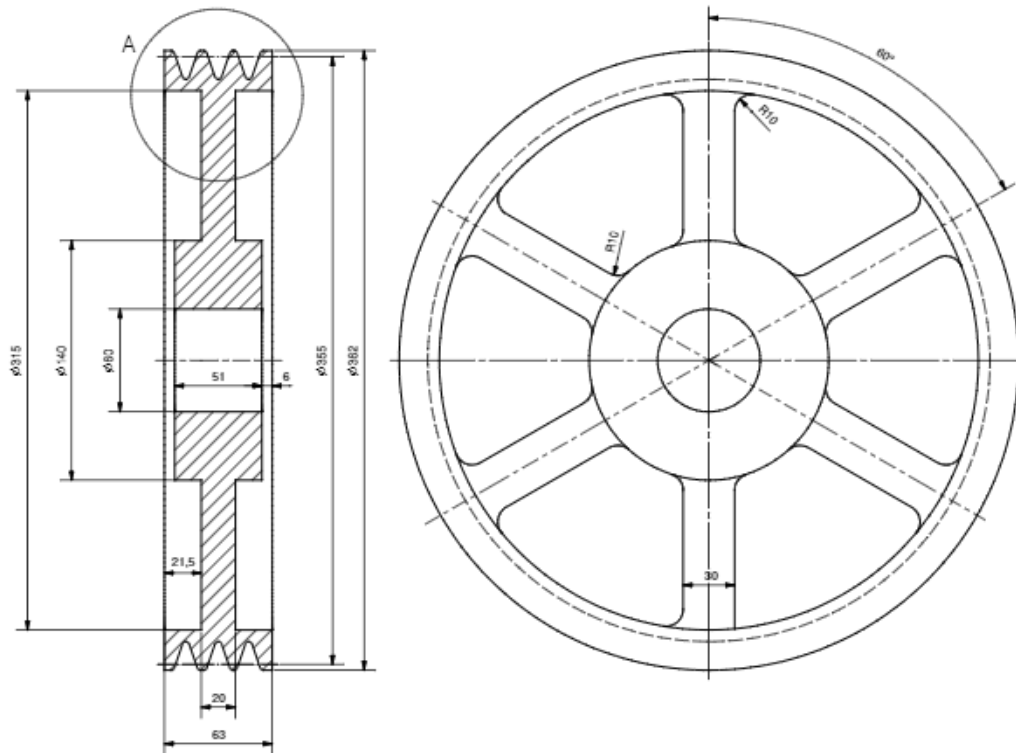
## 4.3. PIEZA INDUSTRIAL BATEN DISEINUA

### 4.3.1. POLEA

Polearen diseinua egiteko ondorengo ezaugarriak dituen pieza erabiliko da. Kontutan hartu behar da geometria ez dela kalkulatzeko erraza, beraz datu guztiak Autodesk Inventor-etik lortu dira.

Polearen bolumena:  $V = 2.064.934 \text{ mm}^3$

Gainazal azalera:  $A_p = 356.032 \text{ mm}^2$



56. Irudia: Polearen dimentsioak

Sekzioaren azalera baliokidea kalkulatzeko polea disko bat balitz bezala kalkulatu behar da, sekzioa ez delako axisimetrikoa uneoro. Horretarako lehendabizi disko honen diametroa kalkulatu da diskoari polearen zabalera emanaz.

$$\text{Diskoaren azalera: } A_{\text{diskoa}} = \frac{V}{H} = \frac{2.064.934}{63} = 32.777 \text{ mm}^2$$

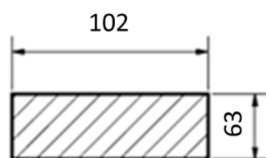
$$\text{Beraz diskoaren diametroa: } \varnothing = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{\text{diskoa}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 32.777}{\pi}} = 204 \text{ mm}$$

$$\text{Sekzioaren azalera baliokidea: } A = 102 \cdot 63 = 6.426 \text{ mm}^2$$

### 4.3.2. AUREDIMENTSIONAKETA

#### 4.3.2.1. MAZAROTAK

Kalkuluak egiteko 57. irudiko gainazala erabiliko da, hau da, piezaren zeharkako sekzio erdia, biraketan eratzen den pieza balitz bezala.



57. Irudia: Polearen kalkuluak egiteko diskoaren sekzioa

- Elikatze distantzia

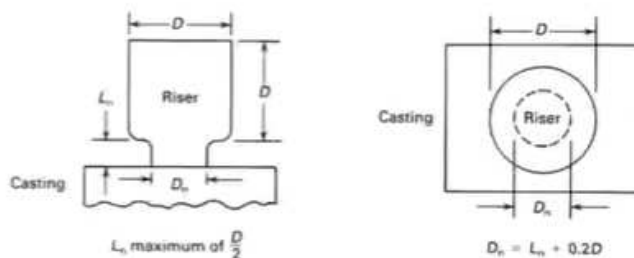
Forma:  $\frac{W}{T} = \frac{W}{H} = \frac{102}{63} = 1,62 < 5 \rightarrow$  Barra forma izango du, beraz mazarotek elikatuko duten distantzia 26. irudikoa izango da.

- Mazarotaren diametroa

Inskribatutako zirkuluaren metodoarengatik, mazarotatik behera ez da sekzio handiagorik aurkitu behar. Mazarotak 56. irudiko erdialdean (besoetan) kokatzen badira diametro hau 30 milimetrotakoa izan beharko litzateke gutxienez, baina beharko den bolumena aurreikusita txikiegia dirudi. Hau dela eta 60 mm-ko diametroa daukaten mazarotak erabiliko dira eta lepoen bidez lotuko dira piezara mekanizatu bidez mazarotak kentzea errazteko (beherago kalkulatuko dira).

$$\phi_M \geq 30 \text{ mm} \rightarrow \phi_M = 60 \text{ mm}$$

- Lepoen dimentsionaketa



58. Irudia: Lepoen dimentsioa [7]

Kalkuluak egiteko goiko irudia erabiliko da  $\phi_M = 60 \text{ mm}$ -ko balioarekin.

$$L_{N\max} = \frac{\phi_M}{2} = 30 \text{ mm} \rightarrow L_N = 15 \text{ mm}$$

$$D_N = L_N + 0,2\phi_M = 15 + 0,2 \cdot 60 = 27 \text{ mm}$$

- Mazarota kopuru minimoa

$$N_M = \frac{\text{Piezaren luzera}}{\text{Mazarotaren efektuaren luzera}}$$

$$\text{Piezaren luzera} = \pi \cdot \phi_{\text{bataz-bestekoa}} = \pi \cdot \frac{362+60}{2} = 663 \text{ mm}$$

Mazarotaren efektuaren luzera:

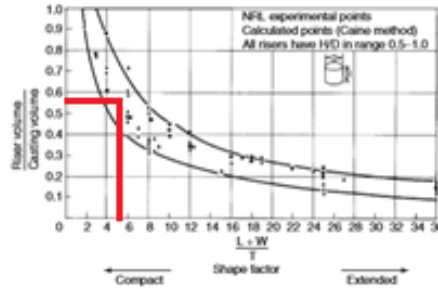
$$L = \phi_M + 2 \cdot (1,5T) = 60 + 2 \cdot (1,5 \cdot 63) = 249 \text{ mm}$$

Beraz:  $N_M = \frac{663}{249} = 2,66 = 3$  mazarota.

Bakoitzak elikatuko duten distantzia:  $L = \frac{663}{3} = 221 \text{ mm}$

- Mazaroten bolumena

Forma faktorearen metodoa erabiltuta:  $SF = \frac{L+W}{T} = \frac{221+102}{63} = 5,1$



59. Irudia: Bishop-en kurbako emaitza mazarota birekin

Bishopen kurbatik (59. irudia):

$$\frac{V_{MT}}{V_P} = 0,55 \rightarrow V_{MT} = 0,55V_P = 0,55 \cdot 2.064.934 = 1.135.714 \text{ mm}^3$$

Hiru mazarota daudenez:  $V_M = \frac{V_M}{3} = \frac{1.135.714}{3} = 378.571 \text{ mm}^3$

Lepoen bolumena kenduz:  $V_M = 378.571 - \frac{\pi \phi_N^2}{4} \cdot L_N = 378.571 - \frac{\pi \cdot 27^2}{4} \cdot 15 = 369.983 \text{ mm}^3$

Mazarotaren bolumena:  $V_M = \frac{\pi \phi_M^2}{4} \cdot H_M$

Mazaroten altuera aurreko adierazpenetik askatuz:  $H_M = \frac{4V_M}{\pi \phi_M^2} = \frac{4 \cdot 369.983}{\pi \cdot 60^2} = 130 \text{ mm}$

Altuera hau handiegia da diametroarekin konparatuz beraz mazarota gehiago jarriko dira hau konpentsatzeko.

6 mazarotarekin probatuz:  $V_M = \frac{V_M}{6} = \frac{1.135.714}{6} = 189.286 \text{ mm}^3$

Lepoen bolumena kenduz:

$$V_M = 189.286 - \frac{\pi \phi_N^2}{4} \cdot L_N = 189.286 - \frac{\pi \cdot 27^2}{4} \cdot 15 = 180.698 \text{ mm}^3$$

Mazaroten altuera:  $H_M = \frac{4V_M}{\pi \phi_M^2} = \frac{4 \cdot 180.698}{\pi \cdot 60^2} = 65 \text{ mm}$

- Uzurdura konpentsatzeko beharrezko bolumena

Ondorengoa hartu behar da kontutan uzurdura konpentsatzeko:  $V_{MT} = V_P \cdot CS \cdot c$

3 hartuko da segurtasun koefiziente bezala eta kontrakzio bolumetrikoa 0,06 altzairu ez aleatuentzako.

$$V_{MT} = 2.064.934 \cdot 3 \cdot 0,06 = 371.591 \text{ mm}^3$$

Uzkurdura konpentsatzeko behar den bolumena aurretik kalkulatutakoa baino askoz txikiagoa da.

- Mazarotaren bolumena moduluen metodoa erabilia

$$M_{MT} = 1,2M_P$$

$$\text{non } M_P = \frac{V_P}{A_P} = \frac{2.064.934}{356.032} = 5,8 \text{ mm} \rightarrow M_{MT} = 1,2 \cdot 5,8 = 6,96 \text{ mm}$$

$$M_{MT} = \frac{\frac{\pi \phi_M^2 h}{4} + \frac{\pi \phi_N^2 L_N}{4}}{\pi \phi_M h + \pi \phi_N L_N} = 6,96$$

$$\text{Aurretik lortutako altuerak ordezkatzuz: } M_{MT} = \frac{\frac{\pi \phi_M^2 \cdot 65}{4} + \frac{\pi \cdot 27^2 \cdot 15}{4}}{\pi \phi_M \cdot 65 + \pi \cdot 27 \cdot 15} = 6,96$$

Bertatik diametroa askatzuz:  $\phi_M = 28 \text{ mm}$

Ikus daiteke lortutako mazaroten diametroa Bishop-en metodoarekin kalkulatutakoa baino txikiagoa dela, beraz kontserbakorra erabiliko da.

Piezari mazarotaren ukipen azalera kenduz, piezaren azalera zehatzagoa lor daiteke baina hain handia da lortutako diametroen arteko diferentzia Bishopena kontserbakorragoa izaten jarraituko duela.

#### 4.3.2.2. ELIKATZE-SISTEMA

Mazarota kopurua eta bakoitzaren dimentsioak kalkulatu ostean geratzen den bakarra elikatze sistema diseinatzea da.

Elikatzea hondotik egingo da ezin delako albotik egin arteken erruarengatik, bi kanal eta hiru erasorekin egingo da. (60. irudia ikusi).

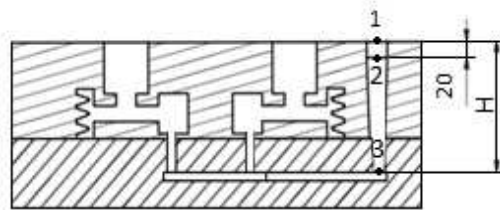
Gainezkabidearen altuera: 2 cm (60. irudian milimetrotan dago)

Sistema konbergentea edo presioduna: 4:3:2

$$H = 160 \text{ mm} = 16 \text{ cm}$$

$$\text{Piezaren bolumena: } V_P = 2.064.934 \text{ mm}^3 = 0,0021 \text{ m}^3$$

$$\text{Mazaroten bolumena: } V_{MT} = 1.135.714 \text{ mm}^3 = 0,0011 \text{ m}^3$$



60. Irudia: Polearen moldearen dimentsioa

- Betetze denbora

$$\text{Piezaren masa: } m_p = V_P \cdot \rho = 0,0021 \text{ m}^3 \cdot \frac{7850 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 16,5 \text{ kg}$$

$$\text{Mazarotaren masa: } m_m = V_m \cdot \rho = 0,0011 \text{ m}^3 \cdot \frac{7850 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 8,6 \text{ kg}$$

$$M = m_p + m_m = 16,5 + 8,6 = 25,1 \text{ kg} < 450 \text{ kg}$$

Pareten lodiera:  $\delta=63 \text{ mm} > 15 \text{ mm}$  Beraz 35. irudian  $s=2,2$  eta  $s=1,615$  altzairuetan.

Betetze denbora:  $t_{betetze} = s\sqrt{M} = 2,2 \cdot \sqrt{25,1} = 11 \text{ s}$

Betetze denbora altzairuetan:  $t_{betetze} = s^3\sqrt{\delta M} = 1,615 \cdot \sqrt[3]{63 \cdot 25,1} = 19 \text{ s}$

- Sekzioen kalkulua

Batez besteko emaria izango da:  $Q = v_3 \cdot s_3 = \frac{V_P+V_M}{t_{betetze}}$

$t_{betetze} = t_M + t_P$  dela kontutan hartuz, mazaroten eta piezaren betetze denborak kalkulatu behar dira.

- Mazaroten betetze denbora ( $t_P$ )

$$v_3 = \sqrt{2gH'} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,109} = 1,46 \frac{m}{s}$$

$$H'=H - \frac{p^2}{2c} = 0,16 - \frac{0,1015^2}{2 \cdot 0,1015} = 0,109 \text{ m} = 109 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{V_P}{t_P} = v_3 \cdot s_3 \rightarrow t_P = \frac{V_P}{v_3 \cdot s_3} = \frac{0,0021}{1,46 \cdot s_3} = \frac{0,0014}{s_3}$$

- Piezaren betetze denbora  $t_M$

$$v_3' = \sqrt{2gH'} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,08} = 1,25 \frac{m}{s}$$

$$H'=H - \frac{p^2}{2c} = 0,16 - \frac{0,16^2}{2 \cdot 0,16} = 0,08 \text{ m} = 80 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{V_M}{t_M} = v_3' \cdot s_3 \rightarrow t_M = \frac{V_M}{v_3' \cdot s_3} = \frac{0,0011}{1,25 \cdot s_3} = \frac{0,0009}{s_3}$$

- Betetze denbora totala ( $t_{betetze}$ )

$$t_{betetze} = t_M + t_P = \frac{0,0014}{s_3} + \frac{0,0009}{s_3} = \frac{0,0023}{s_3} \rightarrow s_3 = \frac{0,0023}{t_{betetze}}$$

11 segundoko betetze denbora ordezkatzuz:  $s_3 = \frac{0,0023}{11} = 0,00021 \text{ m}^2 = 210 \text{ mm}^2$

Sekzioaren diametroa 11 segundoko betetze denbora erabiliz:

$$s_3 = \frac{\pi \phi_{s3}^2}{4} \rightarrow \phi_{s3} = \sqrt{\frac{4s_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 210}{\pi}} = 16 \text{ mm}$$

- Isurbidearen diseinua

Xurgatze efektua eman ez dadin ondokoa bete behar da:  $\frac{s_3}{s_2} = \sqrt{\frac{H_R}{H_M}}$

5 segundoko betetze denbora erabiliz:

$$s_2 = s_3 \cdot \sqrt{\frac{H}{H_R}} = 210 \cdot \sqrt{\frac{0,16}{0,02}} = 600 \text{ mm}^2$$

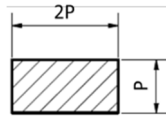
Sekzioaren diametroa kalkulatzeko:  $s_2 = \frac{\pi \phi_{s2}^2}{4} \rightarrow \phi_{s2} = \sqrt{\frac{4s_2}{\pi}}$

11 segundoko betetze denbora erabiliz:

$$s_2 = \frac{\pi \phi_{s2}^2}{4} \rightarrow \phi_{s2} = \sqrt{\frac{4s_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 600}{\pi}} = 28 \text{ mm}$$

- Kanalen eta erasoen diseinua 2 kanal eta 3 erasorekin.

Erabiliko den isurbide, kanal eta erasoen arteko erlazioa 4:3:2 erlazioa izango da aurretik esan bezala, eta sekzioen geometria 61. irudikoa.



61. Irudia: Lehenengo kanalen eta erasoen sekzioa

- Kanalak

$$s_3 = 2s_4 \rightarrow \frac{s_3}{2s_4} = \frac{4}{3} \rightarrow s_4 = \frac{3 \cdot s_3}{8}$$

11 segundoko betetze denbora erabilita:

$$s_4 = \frac{3 \cdot 210}{8} = 80 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_4}{2}} = \sqrt{\frac{80}{2}} = 7 \text{ mm}$$

Tolerantzia milimetrotakoaenez, borobilduz kanalaren dimentsioa 11 segundoko betetze denborarako: 20X10 mm<sup>2</sup>

- Erasoak

$$s_3 = 3s_5 \rightarrow \frac{s_3}{3s_5} = \frac{4}{2} \rightarrow s_5 = \frac{s_3}{6}$$

11 segundoko betetze denbora erabilita:

$$s_5 = \frac{210}{6} = 35 \text{ mm}^2 ; P = \sqrt{\frac{s_5}{2}} = \sqrt{\frac{35}{2}} = 5 \text{ mm}$$

Borobilduz, erasoen dimentsioa 5 segundoko betetze denborarako 10X5 mm<sup>2</sup>

#### 4.3.2.3. HOZKAILUAK

Hozkailuak kalkulatzeko orduan 32. irudiko indikazioak jarraituko dira. Polean hozkailuen eragina aplikatu nahi den gunea erdiguneko zilindroa izango da, 51 milimetroko lodiera daukana. Hau dela eta, hozkailuak ondorengo ezaugarriak izango ditu:

$$T=51 \text{ mm} \rightarrow 1/2T=25,5 \text{ mm}; 2/3T=34 \text{ mm} \rightarrow CT=CW=30 \text{ mm}$$

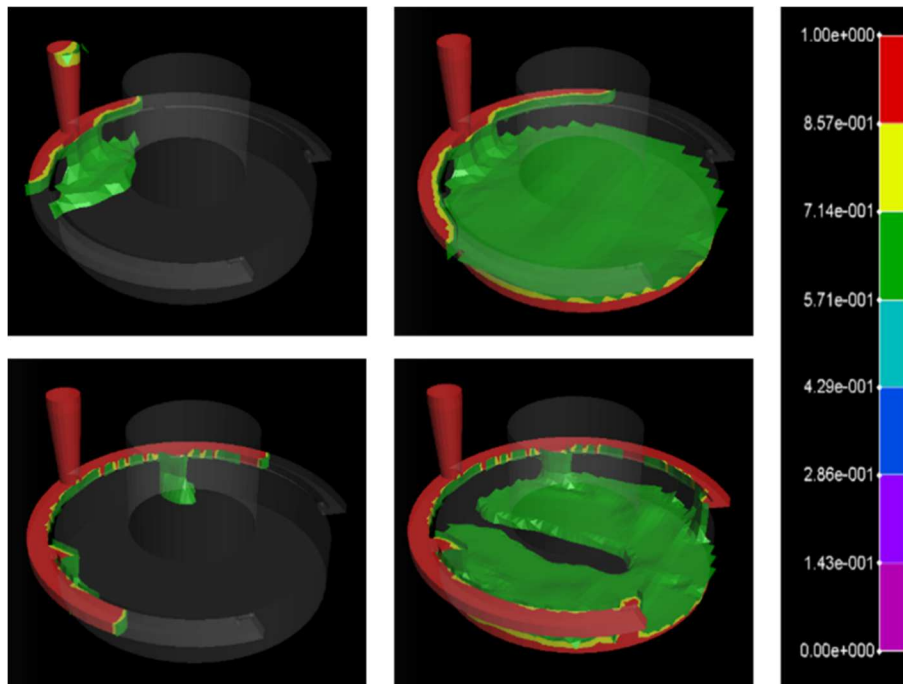
Luzerari dagokionez, piezaren geometriarekin bat etorri behar denez zilindroaren aurpegi osoan zehar hedatuko da hozkailua.

## 5. EMAITZAK

### 5.1. DISKOAREN EMAITZAK

#### 5.1.1. MAILATUAREN ERAGINA

62. irudiko goiko irudiak 1. simulaziokoak dira eta behekoak bigarrenekoak, eta ikus daiteke mailatuaren tamaina bikoitza izateak eragina daukala betetzean. Lehenengo simulazioan pieza betetzen hasten da erasoetatik igaro gabe (fisikoki ezinezkoa) eta bigarrenean jokaera naturalagoa azter daiteke, lehendabizi hurbilen dauden erasoak erabiliz eta azkenik urrunen daudenak. Honen ostean biek antzerako jokabidea daukate, metalaren altuera maila igoz mazarota bete arte.

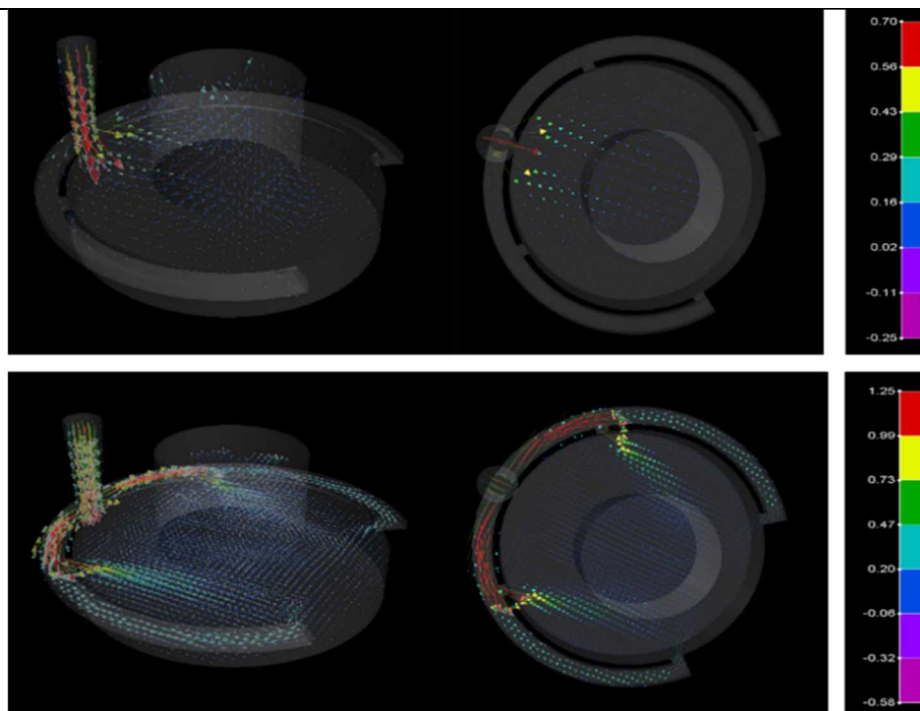


62. Irudia: Mailatuaren eragina betetzean

Aurreko jerarkia berdina jarraituz, 63. irudian lehenengo simulazioko irudiak goiko aldean ezarri dira eta logikoki bigarrenekoak behean. Lehenengo simulazioan abiadura handienak isurbidean ematen dira eta fluxua zuzenean pieza izango den lekura bideratzen da erasoetatik pasatu gabe, errealitatetik asko urrunduz. Bigarrenean ondo ikus daiteke nola abiadura kanalean isurbidean baino handiagoa den (sekzioa txikiagoa da zati honetan) eta lehenengo erasotik igaro ostean abiadura galtzen duela, emariaren zati bat pieza izango den barrunbean sartzen hasi delako. Honez gain, abiaduraren bektoreek metalak jarraitzen duen ibilbidea jarraitzen dute, lehenengo simulazioan gertatzen ez den bezala.

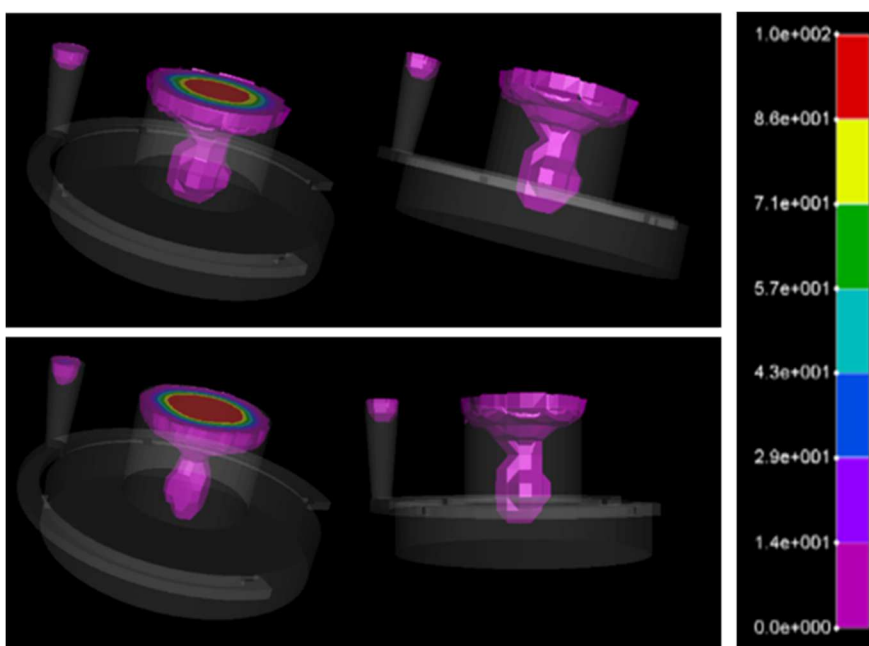
Mailatuaren batez besteko tamaina handiegia ez dauka eragina bakarrik fluxuaren ibilbidean, baita ere honen abiaduraren magnitudean. Lehenengoan lortzen den abiadura handiena 0,7 m/s-koa da eta bigarrenean 1,29 m/s-koa, hau da, ia bikoitza. Abiaduraren ahali eta balio errealena jakitzea faktore oso garrantzitsua izango da galdaketa on bat diseinatzeke, turbulentiak eta honek eragin dezakeen arazoak ekiditeko.





63. Irudia: Mailatuaren eragina abiaduretan (Abiadura m/s-tan)

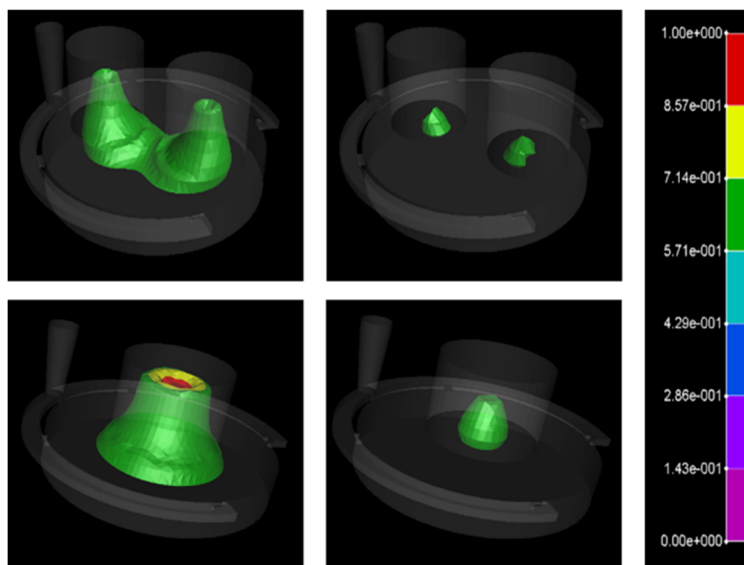
Goian 1. simulazioko irudiak erabili dira (64. irudian) eta behean 2. simulaziokoak, gainera nabari da aurretik azaldutako gertaera berdina ematen dela. Hemen ere desberdintasunak ageri dira mailatua aldatuz, elementu gehien dituen eremuan (2. simulazioa) uzkurduraren definizio fin eta zehatzago batekin. Desberdintasun handiena bertan dago, forma eta dimentsioak oso antzekoak izan arren zehatzagoa izateak erabakiak hartzea errazten du, aztertu beharreko fenomeno nahiko kritikoa delako. Gainera badirudi beheko irudian uzkurdura mugatik oso gertu egon arren ez dela piezara heltzen.



64. Irudia: Mailatuaren eragina uzkurduran

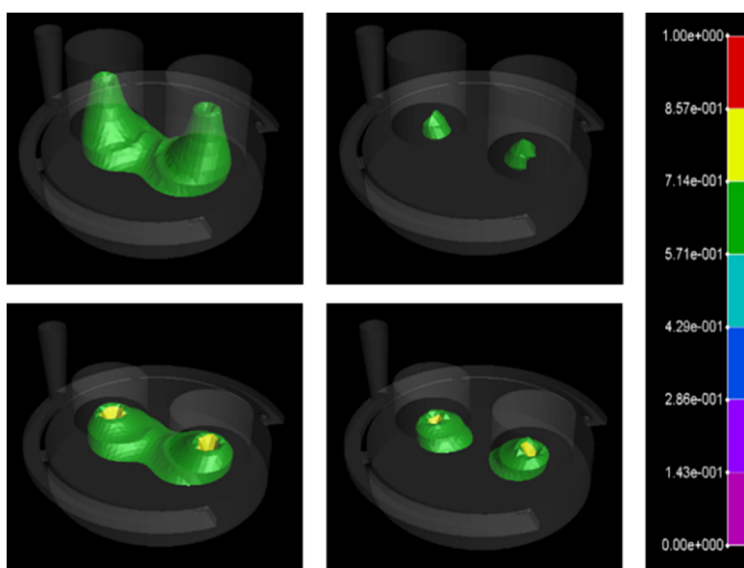
### 5.1.2. MAZAROTEN ERAGINA

Azterketa honetan erabiliko diren irudi guztiek jerarkia berdina jarraitzen dute, goiko aldean 3. simulazioko irudiak (formula enpirikoak errespetatzen duena) ezarri dira, beheko aldean konparatu nahi den simulazioko irudiak jartzeko. 65. irudian bigarren simulazioa aztertuz mazarota kopuruaren eragina aztertu nahi izan da. Pieza asetzeko mazarotek izan behar duten bolumena mantentzen da eta esan daiteke mazarota bi erabiltzean piezan solidotzen den azken frakzioa txikiagoa dela bigarren simulazioan baino, solidotzeko geratzen den frakzio handiagoa bi mazarotetan utziz. Hala eta guztiz, bi kasuetan solidotzen den azken frakzioa pieza barruan edo pieza eta mazarotaren arteko mugan dago.



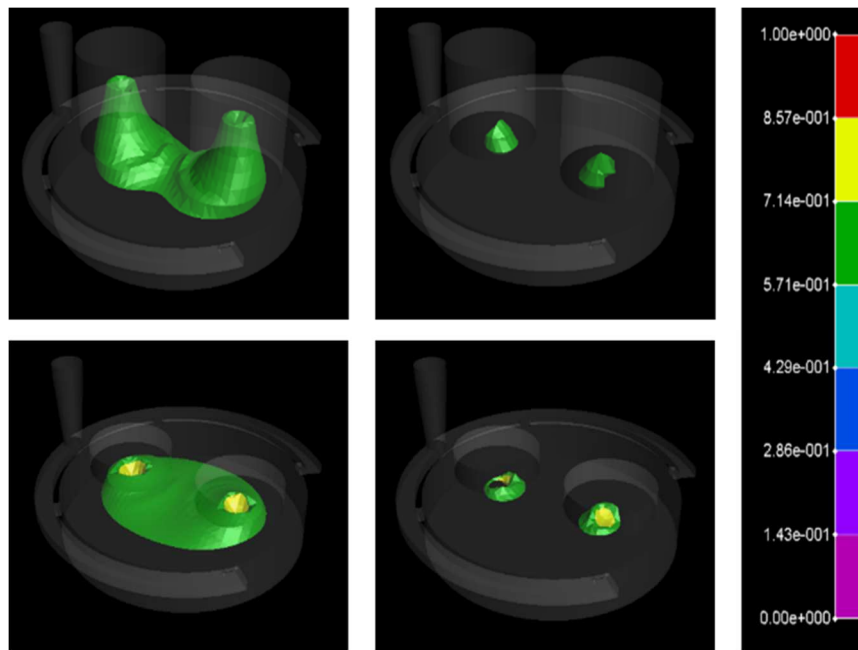
65. Irudia: Mazarota kopuruaren eragina solidotzean (2. simulazioa erabiltuta)

4. simulazioan mazarota kopurua mantendu da baina hauen bolumena erdira murriztu da, eragiketa honen emaitzak agerian utziz (66. irudian). Aurreko kasuan bezala, formula enpirikoak errespetatzeak solidotze onena dakar, solidotzen den azkenengo frakzio handiena mazarotetan batuz. Gainera kasu honetan solidotzen den azkenengo zatia ez dago mugan (3. simulazioan bezala), zuzenean pieza barruan dago.



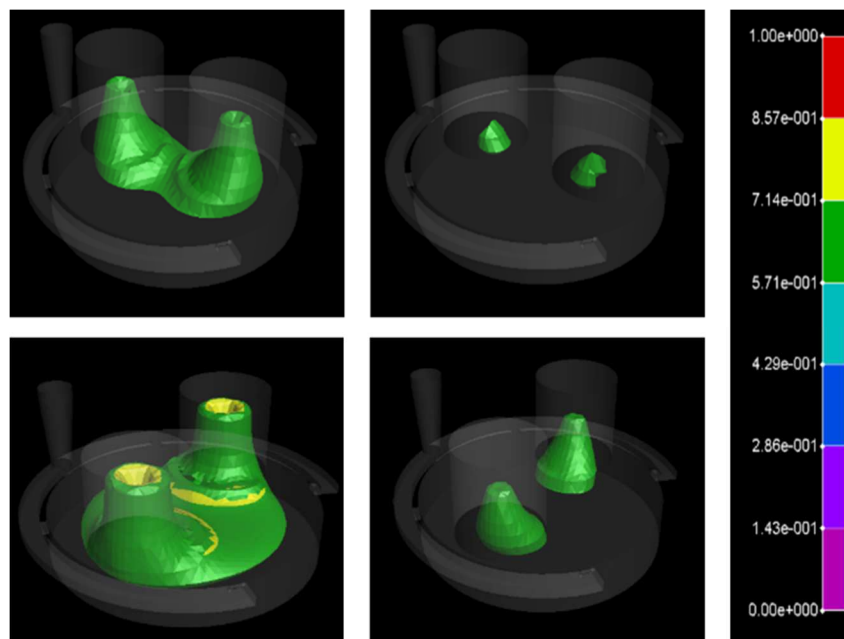
66. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina solidotzean (4. simulazioa erabiltuta)

5. simulazioan bolumen aldaketaren eragina oraindik ere nabariagoa da aurrekoan baino. Mazaroten bolumena laudenera txikitzeak hauek izan dezaketen efektua murriztu du, solidotzen den azken frakzio gehiena piezan dagoelako, 67. irudian ikus daitekeen bezala.



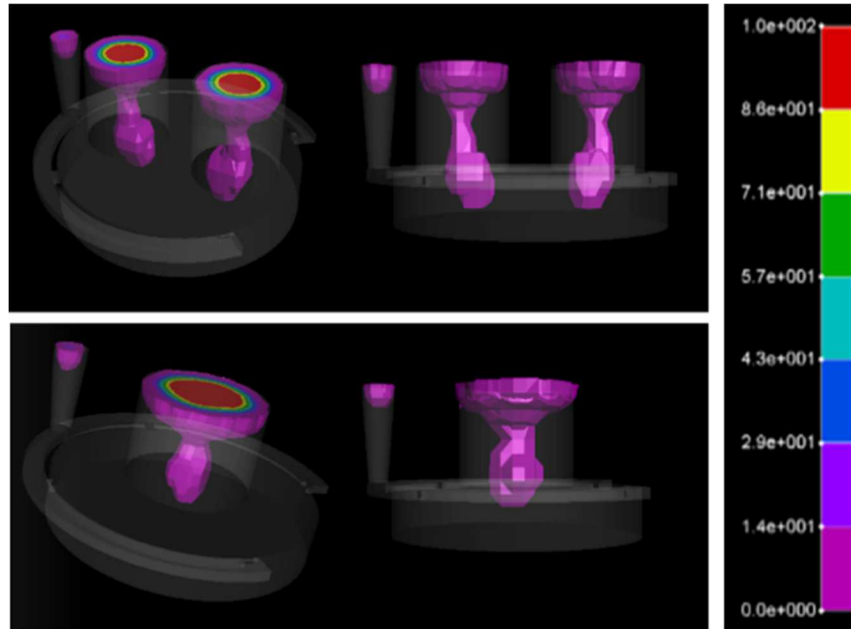
67. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina solidotzean (5. simulazioa erabilita)

Azkenik mazaroten arteko distantzia handitzeak izan dezakeen eragina 68. irudian ikus daiteke, piezaren erdigunea elikatzeak daukaten arazoak erakutsiz. Hirugarren simulazioko antzeko portaera eta sekuentzia jarraitzen du seigarrenak baina frakzio askoz handiago uzten du solidotzeko piezaren erdialdean. Hau ase ostean hirugarren simulazioaren antzeko solidotzea erakusten du mazarotetan, pieza barruan frakzioa kantitate pixka bat handiagorekin.



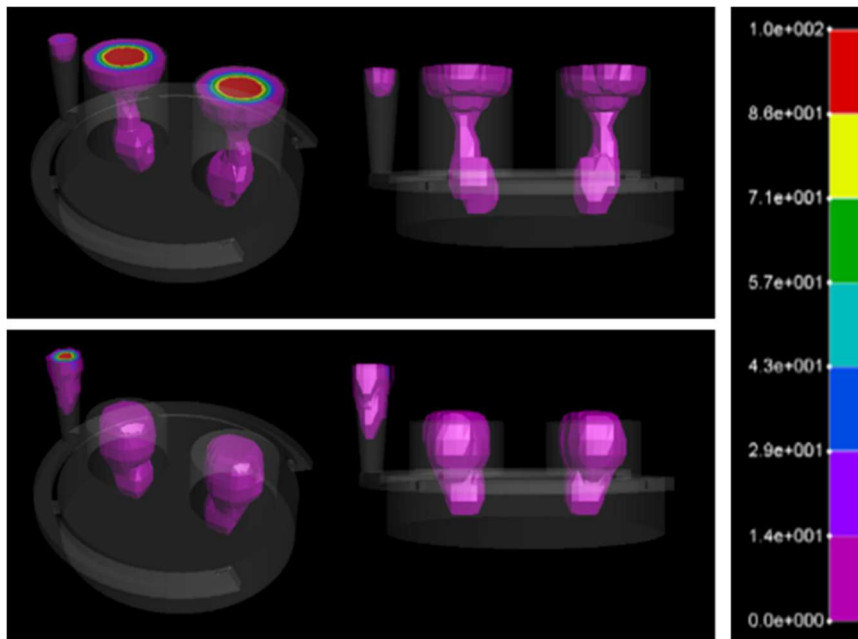
68. Irudia: Mazaroten arteko distantziaren eragina solidotzean (6.simulazioa erabilita)

Frakzio likidoen azterketa egiteko erabili den prozedura berdina jarraitu da irudiak ordenatzeko eta konparaketak egiteko momentuan. Lehenengo honetan mazarota bakarrak uzkurduran daukan eragina ikusten da, kasu bietan piezara iristen dela ikusiz. Mazarota bakarrak daukan eragina uzkurduraren zabaleran ageri da, bi mazarota erabiliz baino askoz ere lodiagoa baita, 69. irudian ikus daitekeen bezala.



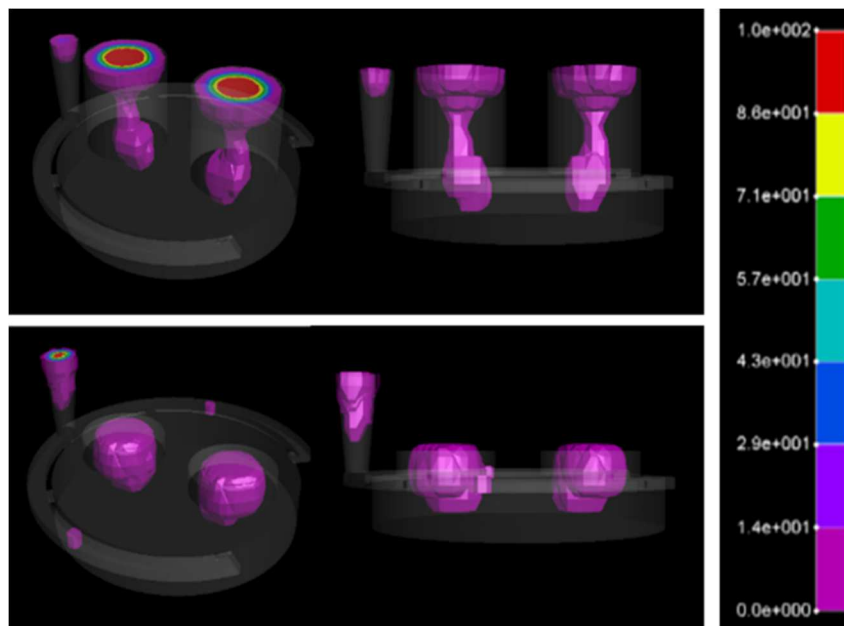
69. Irudia: Mazarota kopuruaren eragina uzkurduran (2. simulazioa erabiltuta)

4. simulazioa 3. simulazioarekin konparatuz (70. irudian), uzkurdura isurbidean handiagoa dela eta mazarotetan uzkurdura ia hauen bolumen osoan ematen dela esan daiteke. Hala ere bi simulazioetan uzkurdura piezaraino iritsi da.



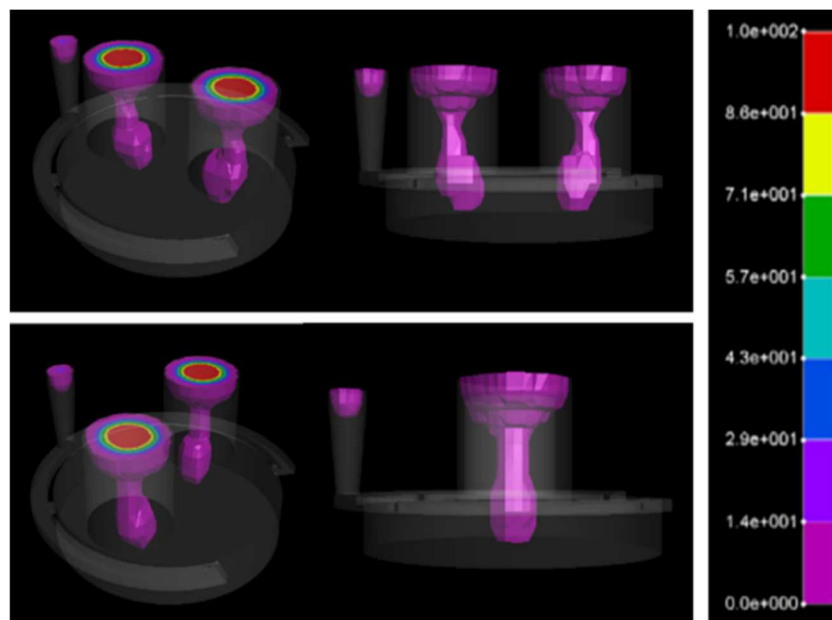
70. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina uzkurduran (4. simulazioa erabiltuta)

5. simulazioan mazaroten bolumena oraindik gehiago murriztuz (laurdenera hain zuzen ere) aurreko konparaketan aztertutako berdina ikus daiteke baina gainera lehen baino nabariago, eta noski uzkurdura pieza iritsi da ere (71. irudian). Mazarota biak ia guztiz uzkurutzen dira eta isurbidea ere gehiago uzkurtez gain kanala ere uzkurtu da.



71. Irudia: Mazaroten bolumenaren eragina uzkurduran (5. simulazioa erabilita)

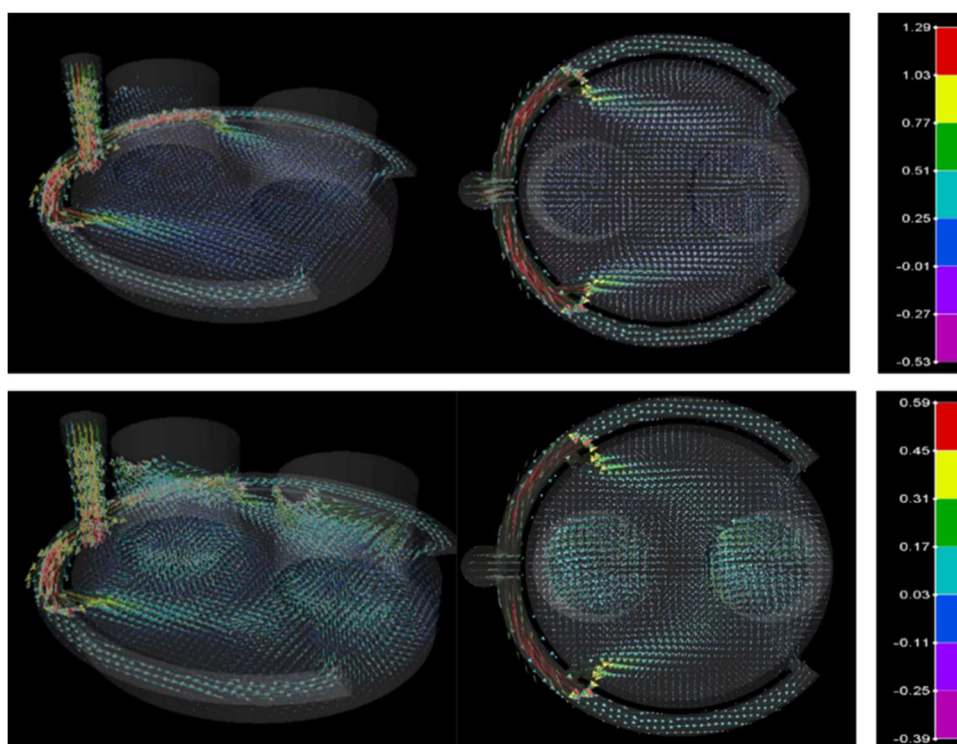
Mazaroten eragina aztertzen amaitzeko, mazaroten arteko distantziak uzkurduran duen eragina ikusi nahi da 72. irudia erabiliz. Desberdintasuna aurkitzea aurrekoetan baino zailagoa da, ikus daitekeen bakarra uzkurduraren lodieran dagoelako. 6. simulazioan mazaroten erdi aldeko uzkurdura lodiagoa dirudi 3. simulazioan baino, eta bietan uzkurdura piezara iristen da.



72. Irudia: Mazaroten arteko distantziaren eragina uzkurduran (6. simulazioa erabilita)

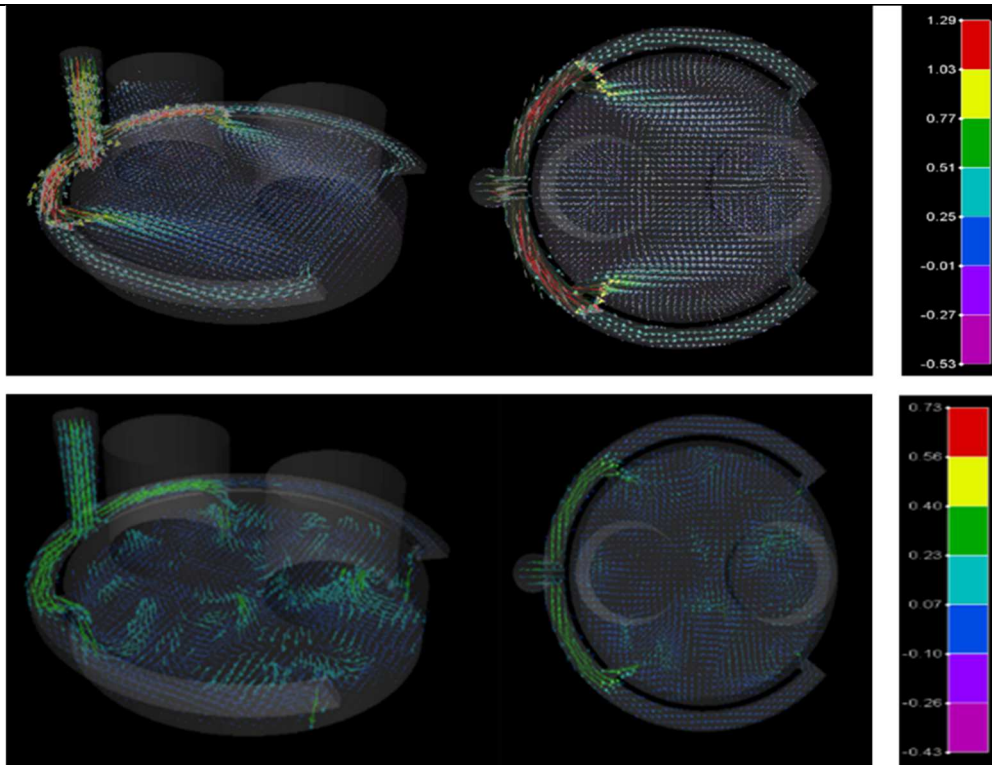
### 5.1.3. BETETZE DENBORA

Mazaroten azterketan bezala, 3. simulazioa erabiliko da eredu bezala irudi guztietan goiko aldean dagozkion irudiak jarriz konparaketa egiteko (teorikoki egokiena). Lehenengo 6 simulazioetan 10 segundoko betetze denbora erabili da eta zazpigarrenean 23 segundokoa. Abiaduren bektore guztiak oso antzekoak dira norabideetan eta balioen proportzionaltasunean, abiadura handienak kanalaren lehen zatian eta lehenengo erasoetan ematen direlarik. Aztertu beharreko eskumako kolore eskala da, abiadura handiena 10 segundoko betetze denbora erabilita 1,29 m/s-ko abiadura maximoa izan da eta 23 segundo erabilita 0,59 m/s-ko abiadura. Beraz, desberdintasun handiena abiaduraren balioan aurki daiteke (73. irudian ikusgai). Esan beharra dago abiadura handiagoak edukitzea kaltegarria izan daitekeela turbulentsiak eta higadurak gerta daitezkeelako, turbulentsiak aire atrapatzen dutelarik eta higadurek moldea apurtzen dutelarik.



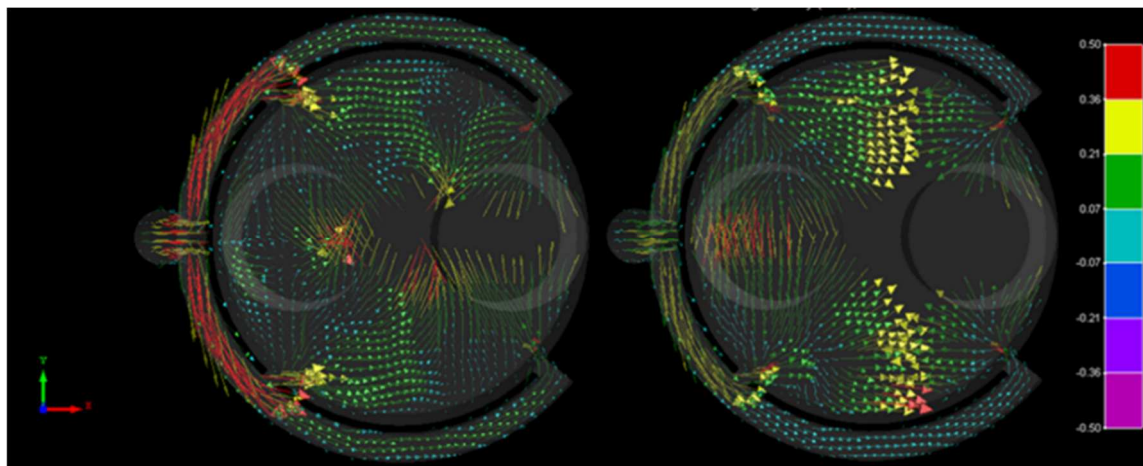
73. Irudia: Betetze denboren eragina abiaduretan (7. sim. erabilita)(Abiadura m/s-tan)

8. simulazioan betetze abiadura 33 segundotara igo da eta aurreko kasuan aztertu den fenomeno berdina gertatzen da (74. irudia ikusi). Abiadurek norabide berdina eta proportzionaltasun berdina daukate, desberdintasun bakarra abiaduren balioetan dago. 33 segundoko betetze denbora erabilita 0,4 m/s-ko abiadura maximoa lortu da eta 10 segundorekin 1,29 m/s-koa.



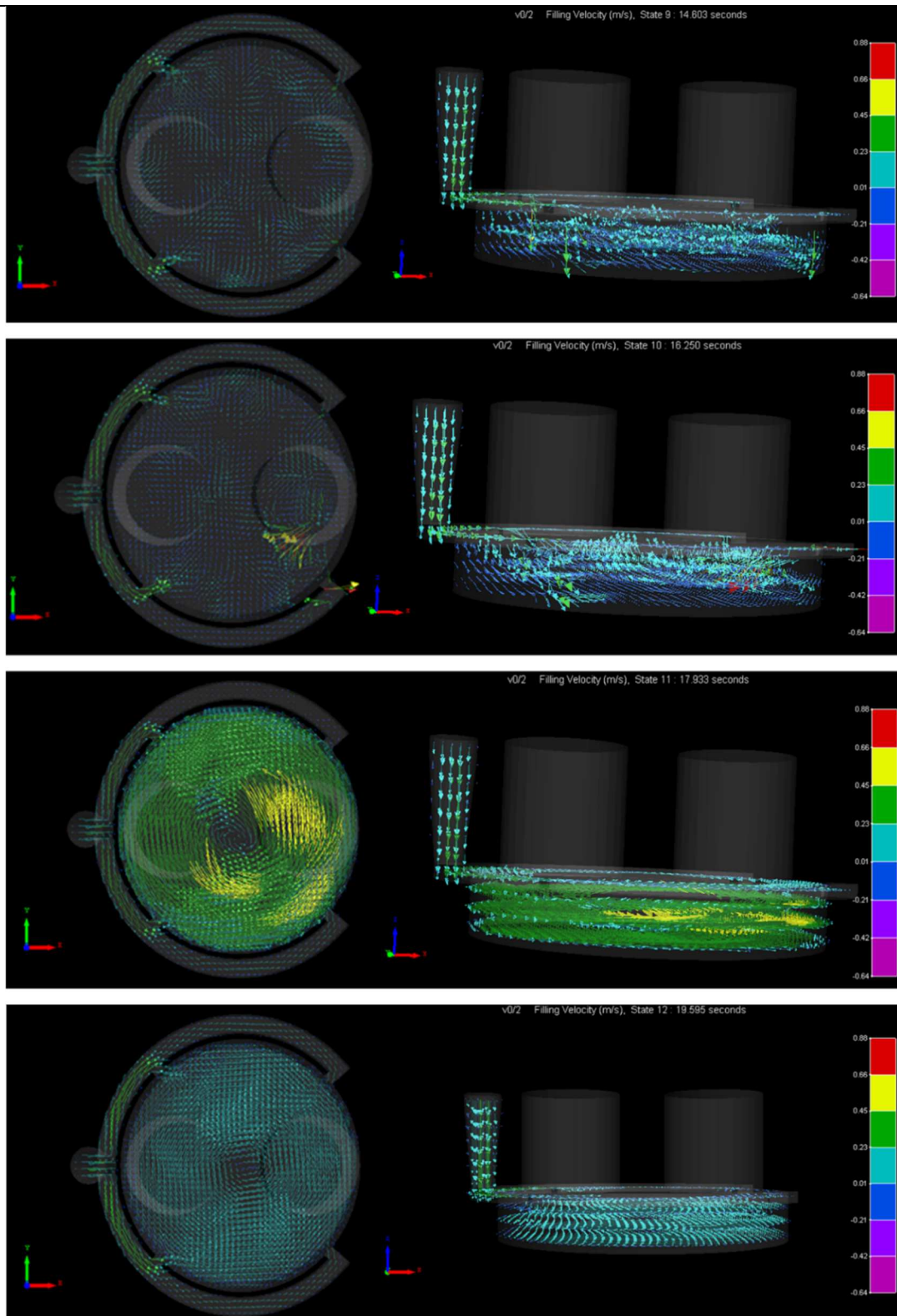
74. Irudia: Betetze denboren eragina abiaduretan (8. sim. erabilia)(Abiadura m/s-tan)

Hala ere ikusten da abiadura handienak ez direla momentu horretan eman, beraz abiadura handiena lortu den momentua konparatu da eskala berdinarekin 75. irudian (hirugarren simulazioa ezkerrean eta zortzigarrena eskuman). Aurretik esandakoa betetzen da desberdintasun batekin, pieza barruan fronteak batzean abiadurak handiagoak dira betetze abiadura baxuagoan. Honez gain beste berezitasun bat aurki daiteke 8. simulazioan eta hau azaltzeko 76. irudia erabiliko da, dagokion betetze momentua 77. irudian ageri delarik.



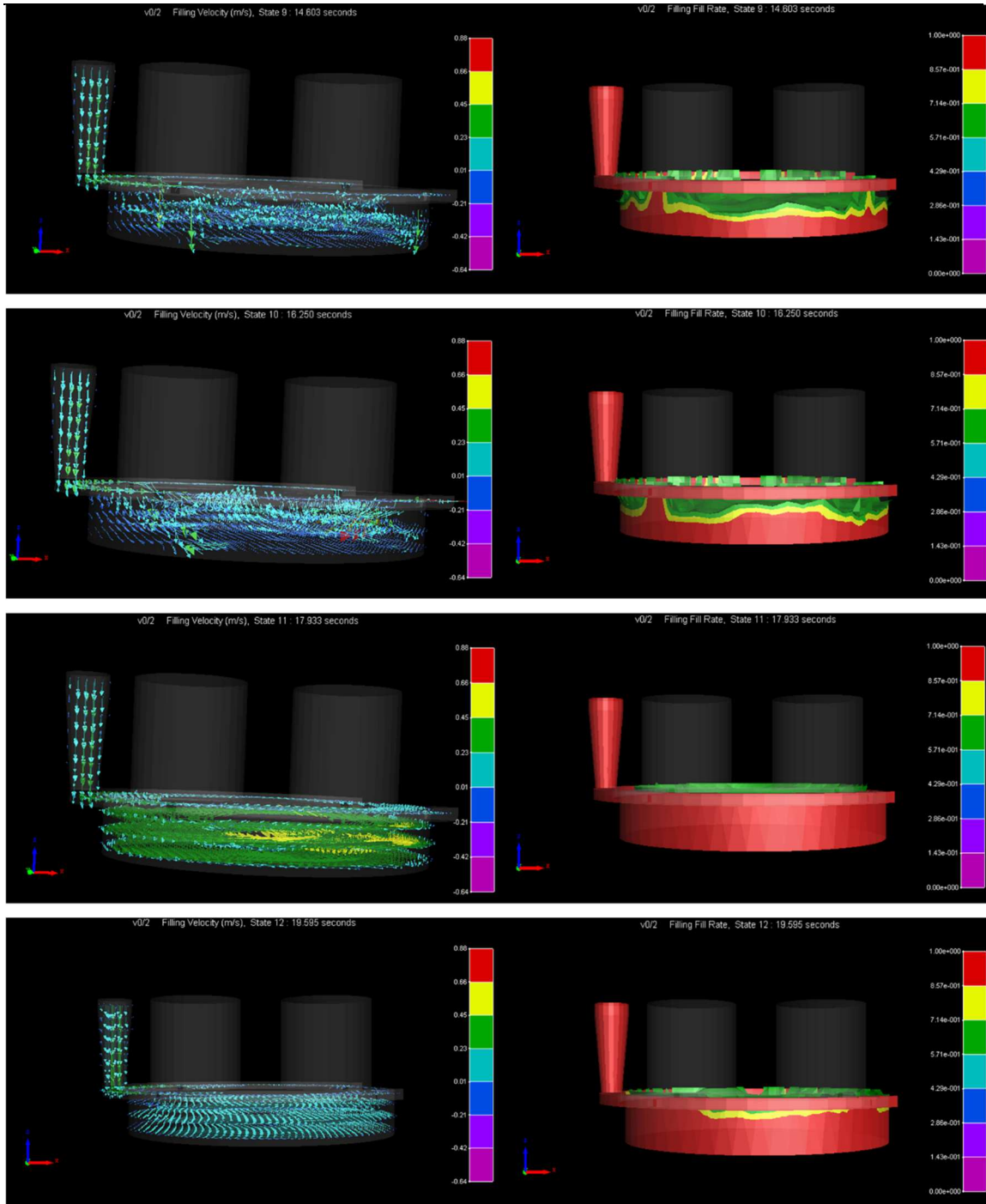
75. Irudia: Fronteen batzea 8. simulazioan (abiadurak m/s-tan)

Ikus daitekeen bezala pieza bete ahala zurrumbilo bat eratzen da pieza osoan zehar, gehienez 0,88 m/s-ko abiadura lortzen duena une jakin baten puntu baten eta 0,45-0,66 m/s-ko abiadura lortzen duena gune guztietan beste une baten. Pieza betetzen amaitzen doanean zurrumbiloaren abiadura murrizten eta azkenik desagertzen doa.



76. Irudia: Zurrunbiloen bilakaera 8. simulazioan (abiadurak m/s-tan)



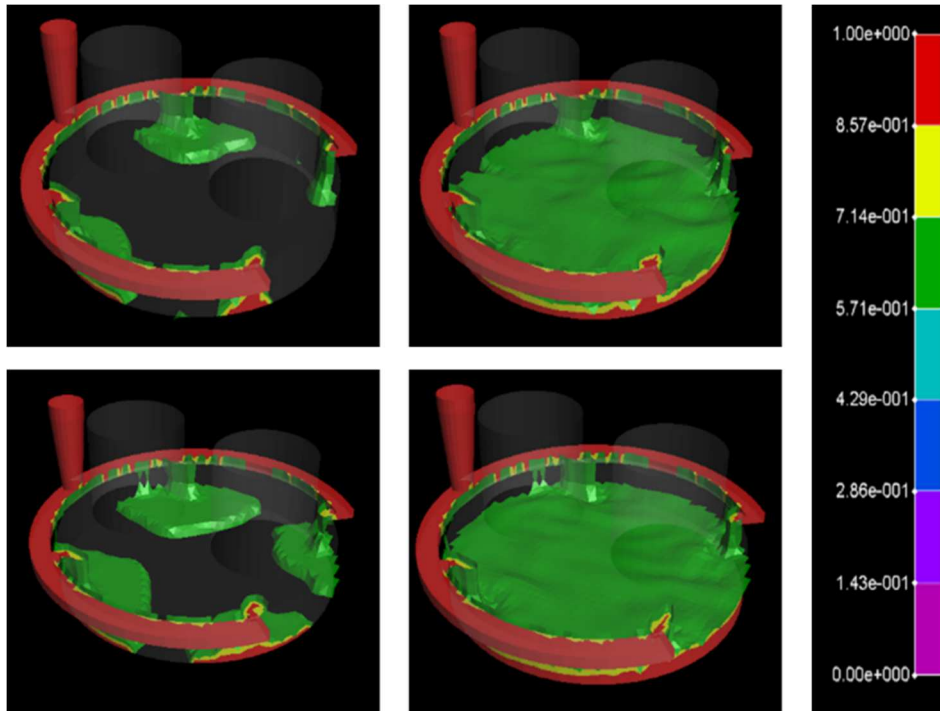


77. Irudia: Momentu bakoitzari dagokion betetzea 8. simulazioan

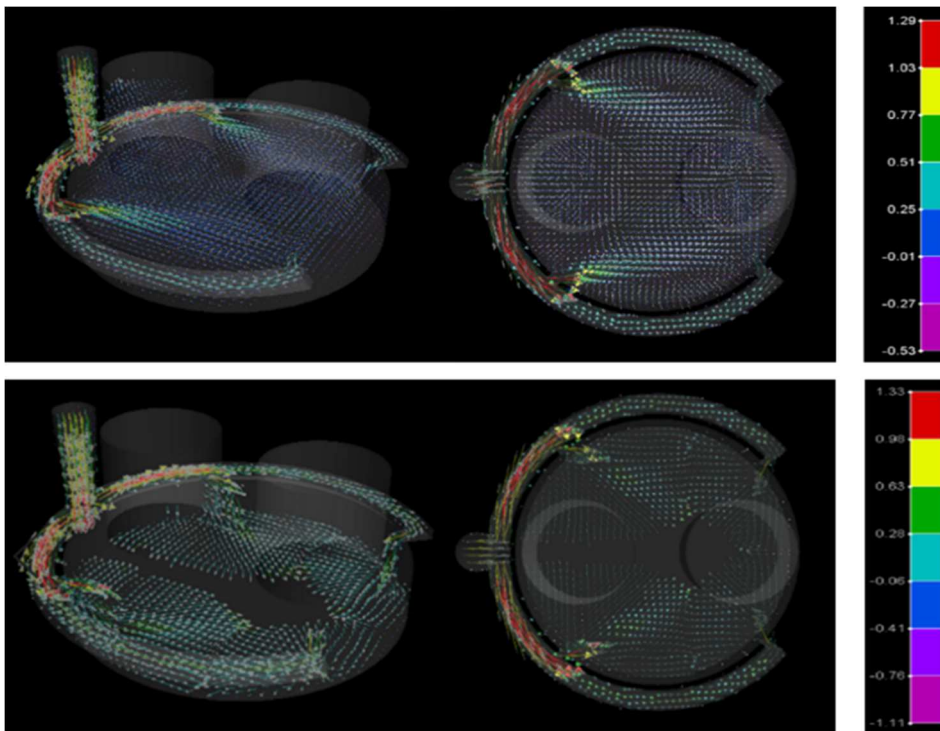
#### 5.1.4. KANAL ETA ERASOEN GEOMETRIA

78. irudiko goiko irudietan 2PXP sekzioko erasoak erabili dira (3. simulazioa) eta behekoetan PXP sekzioko eraso karratuak (9. Simulazioa). Sekzioen azalera berdina izan arren geometriak eragina dauka betetzean, desberdintasuna oso handia izan ez arren. 9. simulazioan badirudi betetzea fokalagoa dela, hirugarrenean sekzioaren zabalera handiagoa delako, baina betetzea zertxobait uniformea dirudi baita.

Abiadurei dagokionez (79. irudian ikusgai), abiadurak oso antzerakoak dira bi kasuetan bai balioagatik, norabideagatik eta proportzionaltasunagatik. Desberdintasun nabarietak abiadura maximoa (1,33 m/s 9. simulazioan eta 1,29 m/s 3. simulazioan) eta 9. simulazioan kanalen paretetan abiadura murrizketa bat dagoela dira.

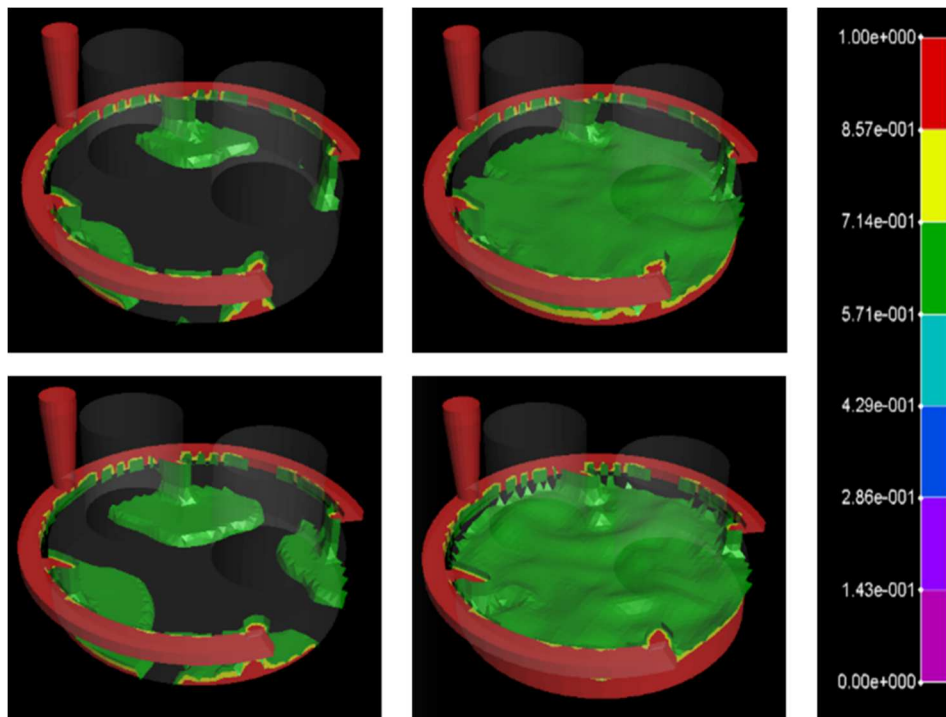


78. Irudia: Erasoen sekzioen eragina betetzean (9. simulazioa erabilita)

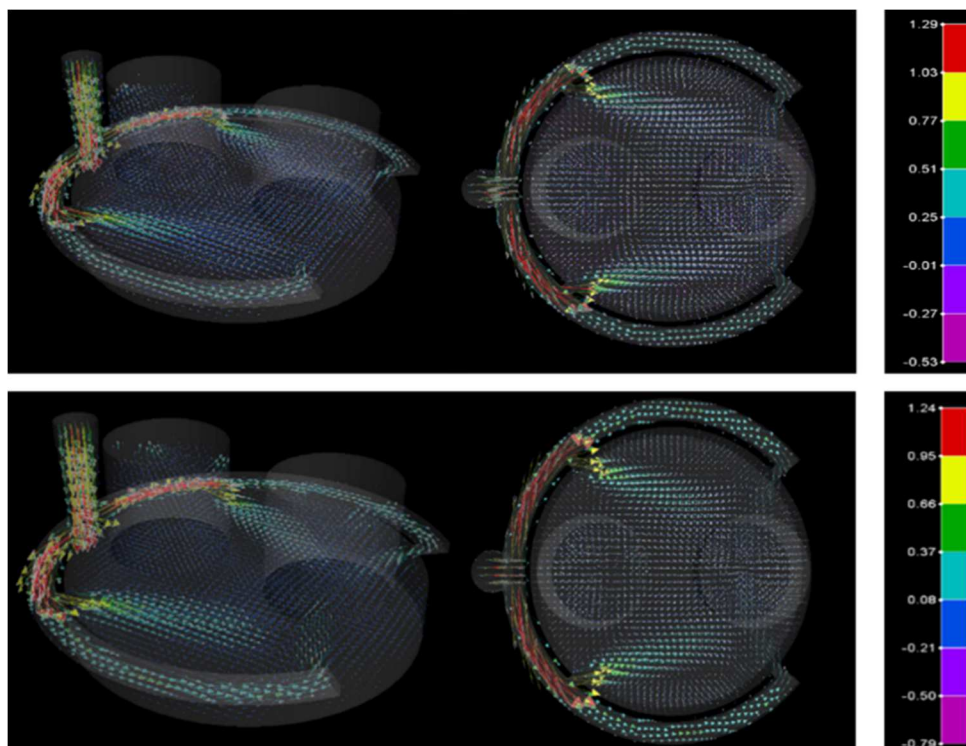


79. Irudia: Erasoen sekzioen eragina abiaduretan (9. Sim. erabilita)(Abiadura m/s-tan)

10. simulazioan (3PXP sekzioa) betetzea 3. simulazioarekin konparatuz (80. irudian) oso antzekoa da, bai betetzeko eran zein uniformetasunean. Abiadurei dagokionez (81. irudia), paretetako abiadura desberdintasun hori desagertu egin da eta agertu den abiadura maximoa txikiagoa da 10. simulazioan 3. simulazioan baino (1,24 m/s 1,29 m/s-ren aurka). Hala eta guztiz oso antzekoak dira balioetan eta norabideetan.

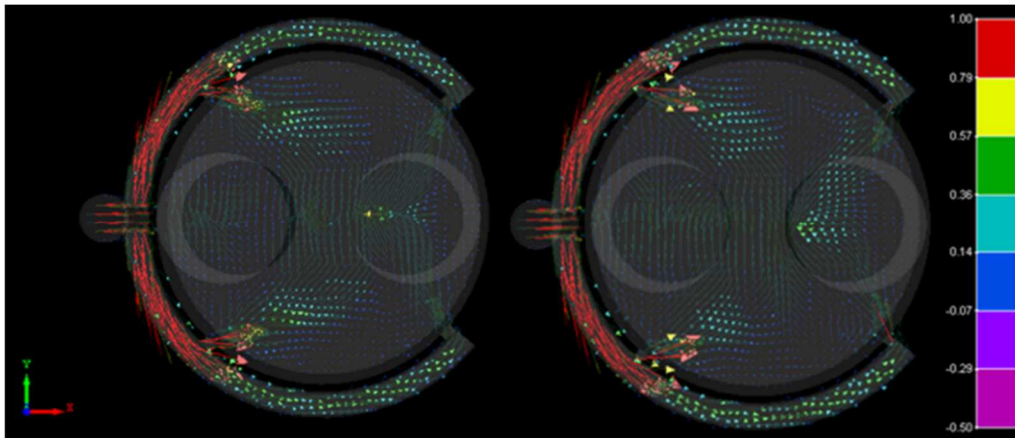


80. Irudia: Erasoen sekzioen eragina betetzean (10. simulazioa erabilita)



81. Irudia: Erasoen sekzioen eragina abiaduretan (10. sim. erabilita)(Abiadura m/s-tan)

Hiru simulazio desberdinak konparatu ostean desberdintasunak ez direnez oso handiak, 3. simulazioa eta 9. simulazioa konparatu dira 82. irudian eskala berdinarekin (ezkerrean hirugarrena erabilia). Hemen ere ez da desberdintasun handirik nabari, kanaletan ematen den portaera berdina delako eta piezaren barnean fluxuaren norabidea ere berdina delako. Erasoetatik igaro ostean bi fronte hauek batzen dira, erdira bideratuz eta berriz aurkako norabideko fronterekin batuz eta erdialdea betez. Nabari daitekeen bakarra frontearen abiaduren balio da, 9. simulazioan abiadura handiagoak ikus daitezkeelako urrunen dauden erasoetatik hurbil.

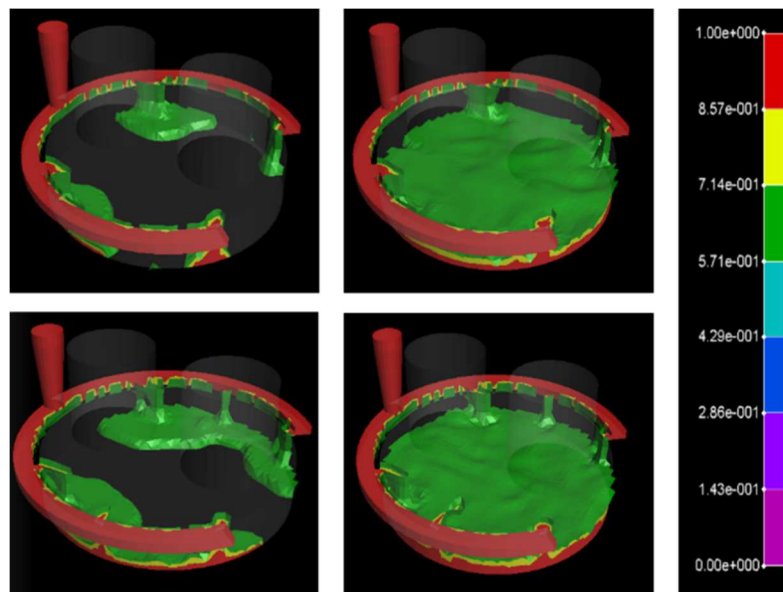


82. Irudia: Sekzioaren eragina abiaduretan eskala berdinarekin (abiadura m/s-tan)

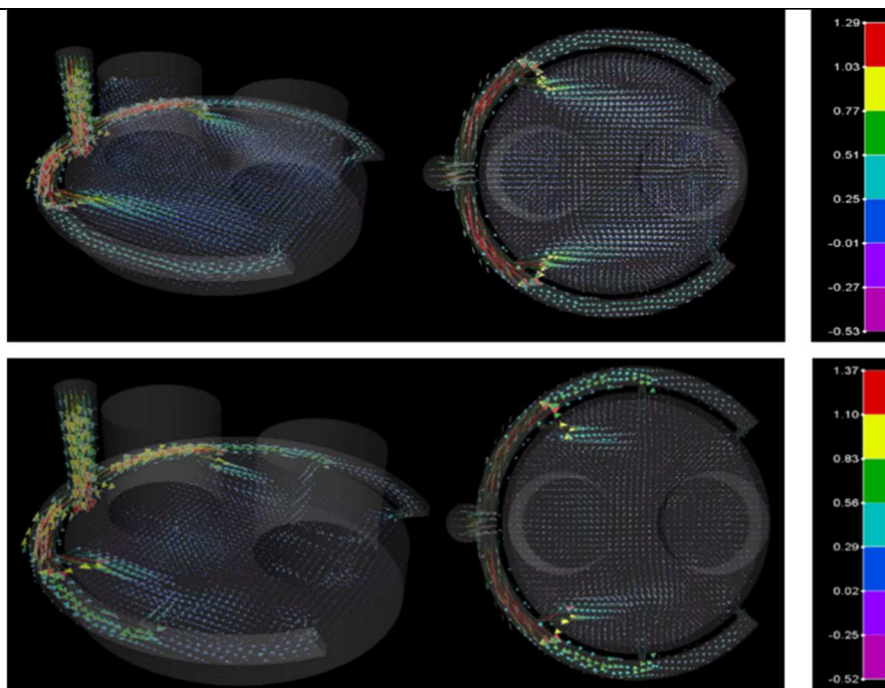
### 5.1.5. ERASO KOPURUA

11. simulazioan 3 eraso jarriz (83. irudiko beheko irudiak) betetze uniformeagoa egin da 3. simulazioan baino, piezaren izkina guztia betetzen hasiz. Emaria ere txikiagoa da 2 eraso izan beharrean 3 direlako.

Abiadurei dagokienez (84. irudian eskuragarri), kanalean lehenengo abiadurak handiagoak dira 11. simulazioan (1,37 m/s 1,29 m/s-ren aurka), eta hemendik aurrera antzekoak dira abiadurak bi kasuetan (0,56 eta 0,01 m/s bitartekoak) kontutan hartuz 11. simulazioan abiadura aldaketa nabariagoa dela erdiko erasora iristean.



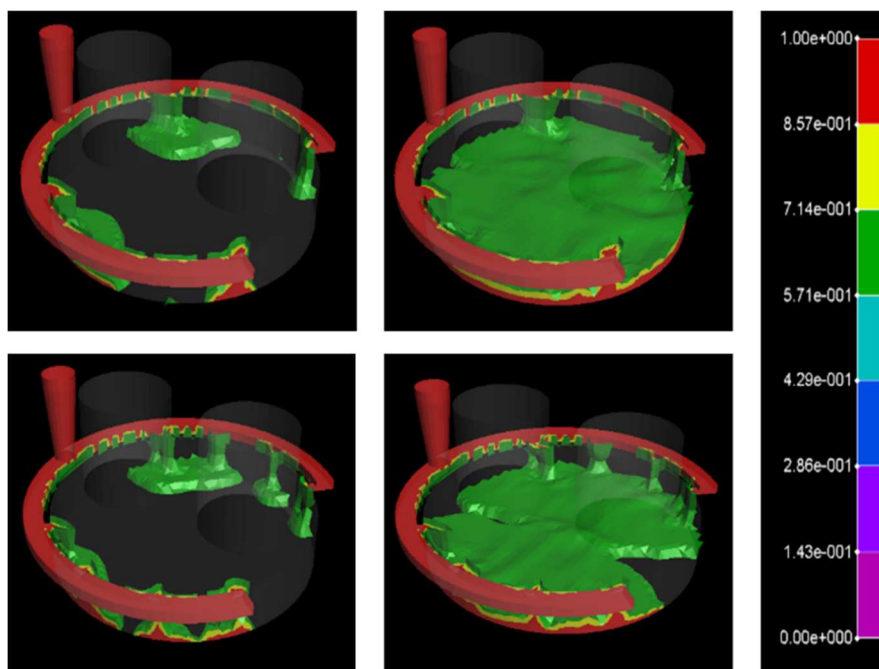
83. Irudia: Eraso kopuruen eragina betetzean (11. Simulazioa erabilia)



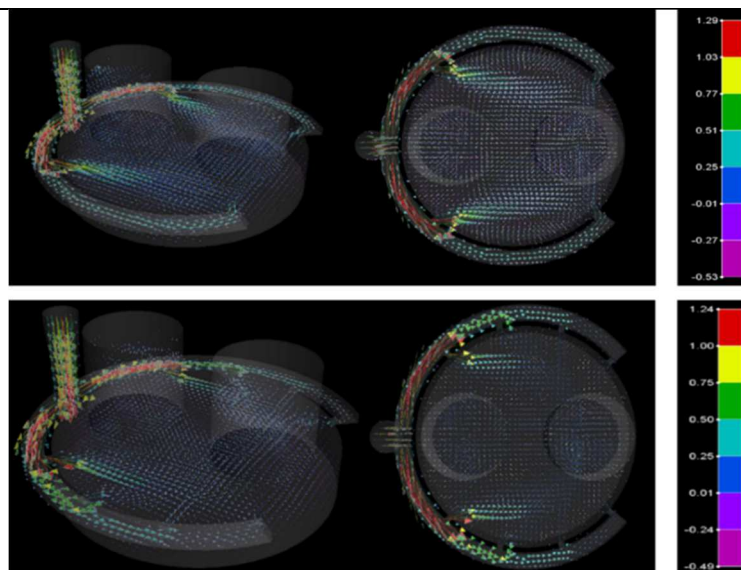
84. Irudia: Eraso kopuruen eragina abiaduretan (11. sim. erabilita)(Abiadura m/s-tan)

Azken simulazioan egoera berdina aurki daiteke, 4 eraso izatean (85. irudian beheko aldean) 3. simulazioan baino betetze uniformeagoa egin da emari txikiagoarekin, izkina betetzen hasiz. Nabari da ere isurbidearen aurkako noranzkozko izkina betetzea 11. eta 3. simulazioetan baino zailagoa dela.

Abiadurei dagokionez, 11. simulazioan kanalaren hasierako abiadura 3. simulaziokoarekin konparatuz oso antzekoa da (1,24 m/s eta 1,29 m/s hurrenez hurren) eta erasoetara iritsi ahala 11. simulazioan abiaduren aldaketa nabariagoa da, amaierako abiadura bietan oso antzekoa edo berdina izan arren (0,01 m/s)(86. irudian).



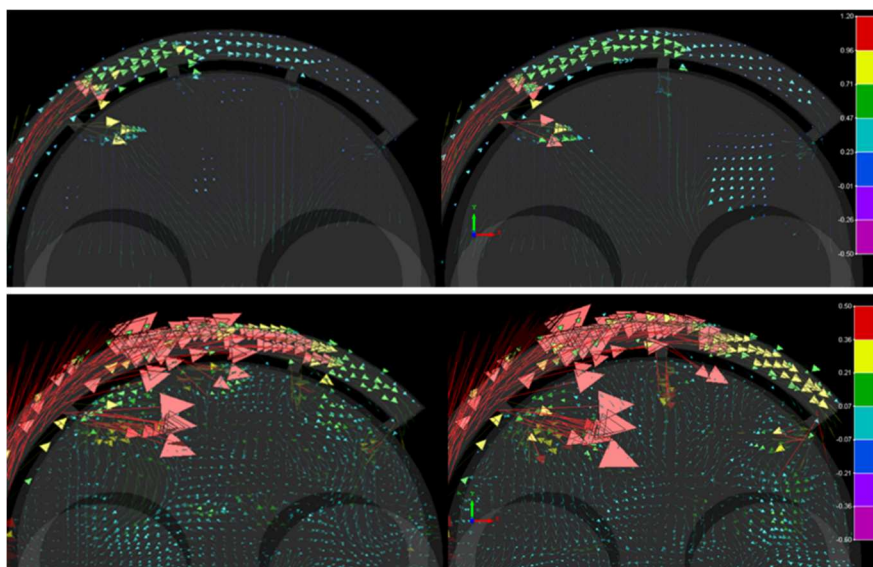
85. Irudia: Eraso kopuruen eragina betetzean (12. Simulazioa erabilita)



86. Irudia: Eraso kopuruaren eragina abiaduretan (12. sim. erabilia)(Abiadura m/s-tan)

Aurretik azaldutako emari aldaketaren eraginaz gain kanalean, esan beharra dago piezaren barnean fronteen abiadura txikiagoa dela. Horretarako azken bi simulazioak konparatu dira eskala berdinarekin eragina hobeto aztertzeko (87. irudian eskuragarri). Goiko irudietan abiadura maximoaren inguruko abiadura finkatu da maximotzat (1,2 m/s) eta ikus daiteke aurreko orrialdean azaldutakoaz gain lehenengo erasoen eta azkenengo erasoen artea desberdina dela 4 eta 3 erasoekin, 3 erasoekin abiadura handiagoak lortzen direlarik. Erdiko erasoetan esan daiteke 3 erasorekin zertxobait handiagoa dela baina ez da oso nabaria.

Fronteak eta hauen abiadura ezin dira konparatu eskala horrekin beraz 0,5 m/s-ra jaitsi da eskalaren balio maximoa. Bertan ondo ikusten da aurretik azaldutakoa eta fronteen portaera pieza barruan. 4 erasorekin piezaren paretetan abiadura handiagoak aurki daitezke eta ezkerreko mazarotaren inguruan zurrumbilo txiki bat eratzen dela ikus daiteke, erdialderantz bideratzen dena. 3 erasorekin ordea, lehenengo erasotik abiadura handiagoak lortzeak badirudi aurreko kasuko zurrumbiloa eratzea eragozten duela, baina 4 erasorekin ematen ez diren abiadura handiagoak ikus daitezke eskumako mazarotaren inguruan.

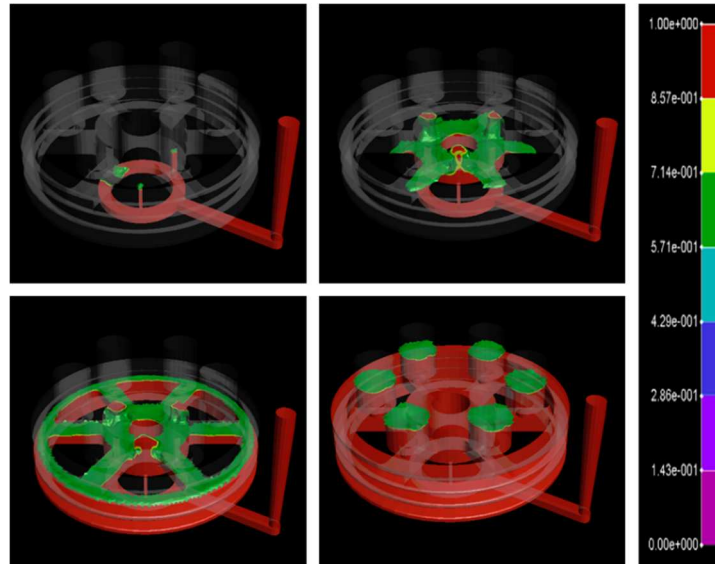


87. Irudia: Erasoaren eragina eskala berdinekin (abiadurak m/s-tan)

## 5.2. PIEZA KOMERTZIALAREN EMAITZAK

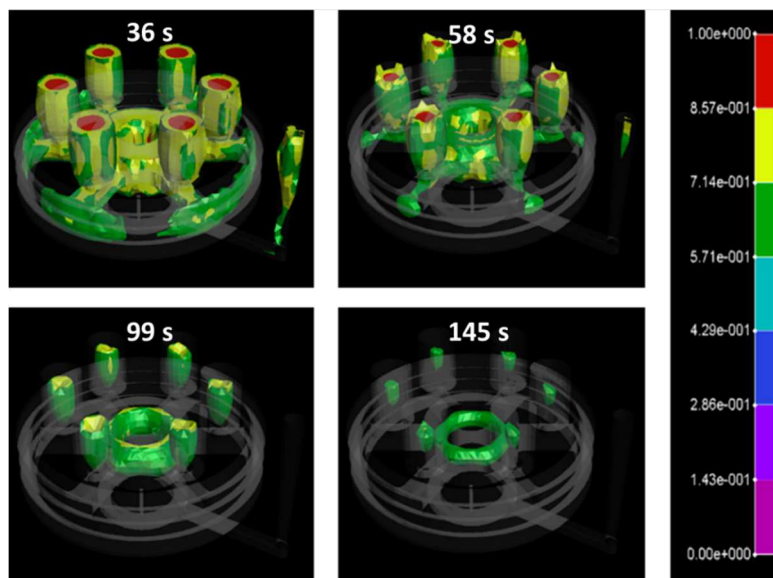
### 5.2.1. HASIERAKO DISEINUA

Poleari dagokion simulazioa 4. atalean azaldutako ezaugarriekin egin ostean ondoren ikusiko diren emaitzak lortu dira. Betetzeari dagokionez, 88. irudian ikus daiteke metala isurbidetik igaro ostean kanalak betetzen dituela erasoetatik piezara igotzeko. Behin pieza betetzen hasi dela izkinarantz norabidetzen da besoetatik, kanpoaldera iristerakoan berriz ere metalaren maila jaisten delarik. Honen ostean maila guztia batera igotzen da mazarotak eta orokorrean pieza bete arte.



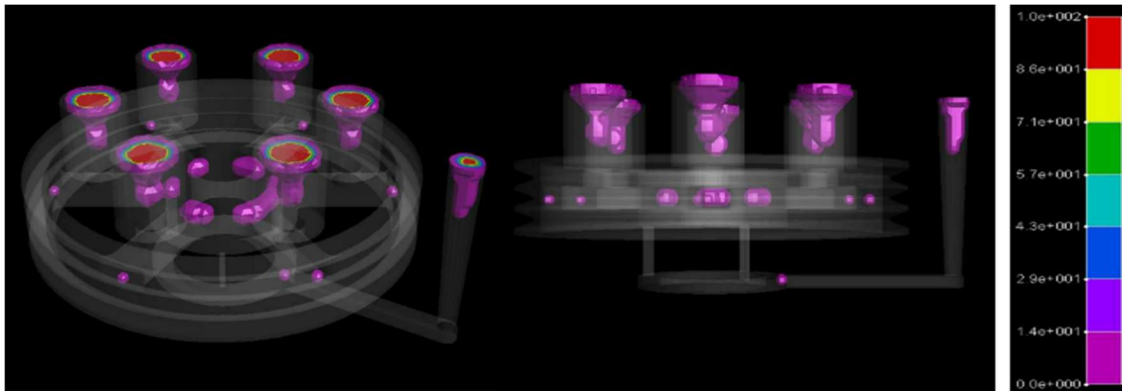
88. Irudia: Polearen betetzea

Solidotzeari dagokionez ondoren ikus daitekeen irudian nabari da solidotzen diren lehenengo zatiak elikatze sistema eta polearen kanpoaldea direla. Honen ostean solidotzeko geratzen den frakzioa erdialdean biltzen da, mazarotari eta piezaren azkenengo zatiari dagokiona hain zuzen ere. Azkenik beheko irudietan ikus daiteke solidotzen azkenengo frakzioa mazarotez gain polearen erdialdearen zati bat dela.



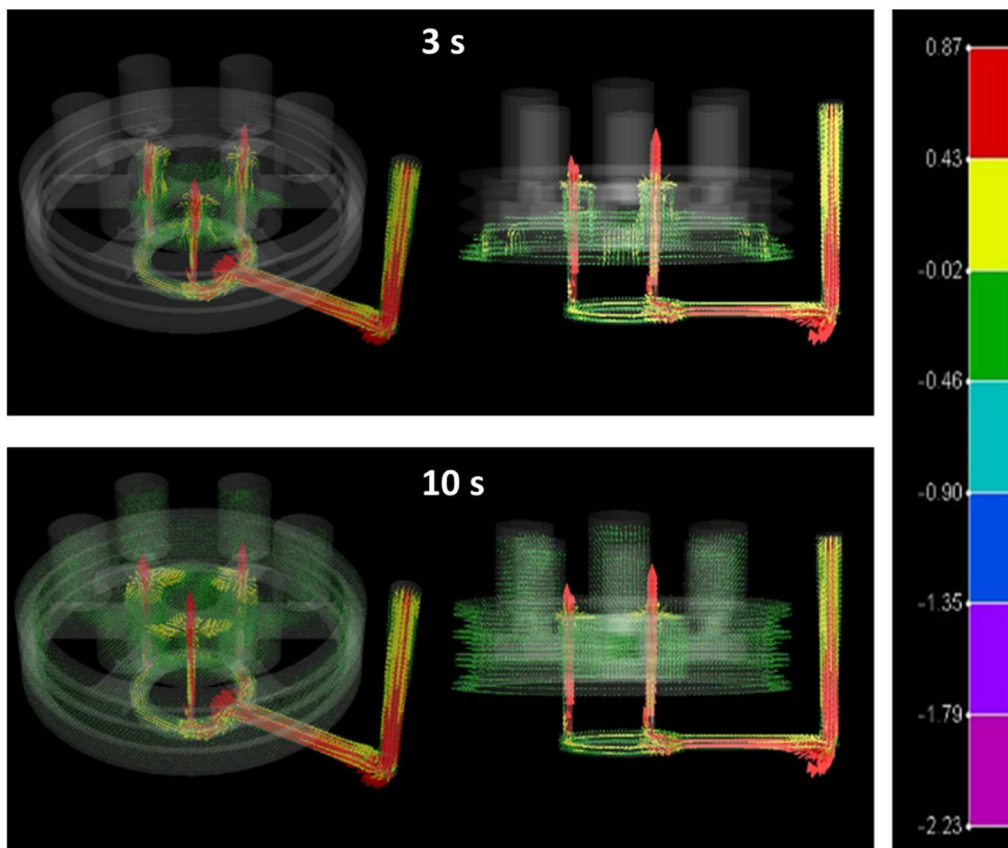
89. Irudia: Polearen solidotzea (4 une desberdinetan)

Uzkurdura agertzen den gunea solidotzen den azkenengo frakzioari dagokio gutxi gorabehera, mazarotetaz eta elikatze sistemaz gain polearen barruko eraztunetan eta besoen puntu batzuetan agertzen delarik. Mazarotetako uzkuadura egokia dirudi ez delako piezara iristen, baina hala ere uzkuadurak agertzen dira pieza barnean.



90. Irudia: Uzkuadura polean

Betetze abiadurak aztertzeko 91. irudia erabiliko da, betetzearen bi une desberdin aztertzen direlarik. Goiko zatian piezaren betetzearen hasierako unea ikus daiteke, metala kanpoaldera zabaltzen den unea hain zuzen. Bertan ikus daiteke lortzen den abiadura handiena 0,87 m/s-koa dela (isurbide eta erasoetan gehienbat) eta piezan sartu ostean balio hau asko jaisten dela metala banatzen den heinean. Azkenik beheko irudian antzeko portaera ematen dela ikus daiteke, desberdintasun handiena pieza barneko abiaduren norabideetan dagoelarik.

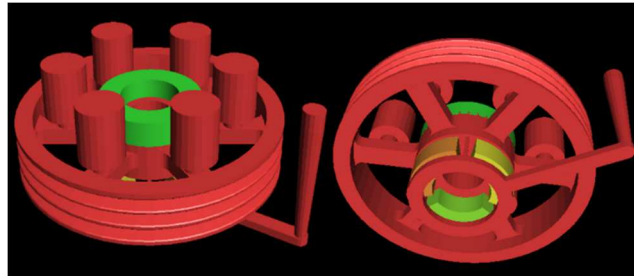


91. Irudia: Abiadurak polean (bi une desberdinetan)



### 5.2.1. HOZKAILUAK ERABILITA

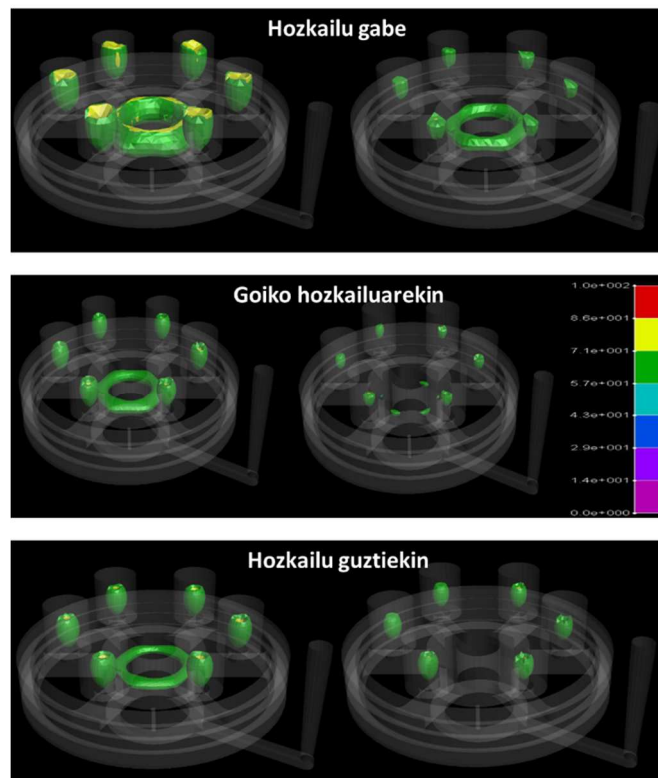
Aurreko kasuan lortutako emaitzak aztertu ostean, uzkurduren emaitzak hobetzeko bi simulazio gehiago egin dira hozkailu desberdinak erabilita. Hozkailuen kokalekua eta dimentsioak ondorengo irudian ikus daitezke (goian berdez ikus daitekeena kalkulaturako hozkailua da eta behekoak ondoren errefortzu bezala jarri direnak). 93 eta 94. irudietan goiko bi irudiak aurreko kasuarenak dira eta ondoren datozenak 92. irudian zehaztutako kasuenak.



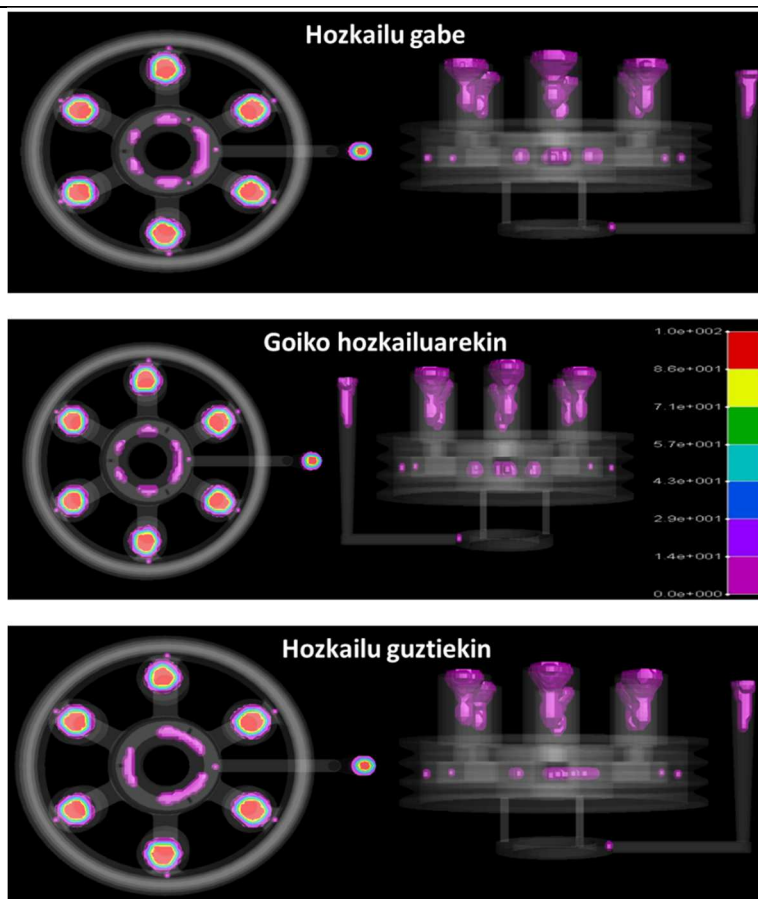
92. Irudia: Hozkailuak polean

Hozkailu gabeko simulazioen erraz ikus daiteke mazarotek ez dutela lana guztiz betetzen, piezaren zati batekin batera solidotzen direlako. Goiko hozkailua jarri ostean (4. atalean kalkulaturakoa) solidotzea zertxobait hobetzen da baina oraindik aurreko portaera aurki daiteke. Azkenik, goiko hozkailuari beheko hozkailuak gehitzerakoan (errefortzuak) mazaroten eragina hobetzen da, hauek baitira solidotzen azkenak.

Uzkurdurei dagokienez, antzerako fenomenoak ikus daitezke. Goiko hozkailua gehitzerakoan emaitza oso gutxi hobetzen da eta azkenik behekoa jartzerakoan hobekuntza nabariagoa da. Hala ere, azkenengo kasu honetan ere uzkurdura agertzen da pieza barruan hozkailuak erabilita ere. Azaldutako emaitzak ikusteko jo 91 eta 92. irudietara.



93. Irudia: Hozkailuen eragina solidotzean



94. Irudia: Hozkailuen eragina uzkurduretan

## 6. AURREKONTUA

Gradu Amaierako Lan hau egiteak kostu batzuk dakartza, ezarritako helburuak lortzeko erabili behar diren baliabideak direla eta. Horregatik, zuzeneko eta zeharkako kostuak barne hartzen dituen aurrekontu hau prestatu da.

### 6.1. KOSTU ZUZENAK

Zuzeneko kostuak honela banatzen dira:

- Pertsonal kostuak: Gradu Amaierako Lana garatzen emandako orduei dagokie (8. taula). Alde batetik, ikasleak ereduak kalkulatzeko eta diseinatzen, emaitzak eta ondorioak lortzen eta lana idazten emandako denbora sartzen da. Bestalde, kontuan hartzen dira zuzendariak egindako lanak, hala nola lana bileretan zuzentzea, analisien emaitzak berrikustea eta txostena idazteko zuzenketak.

Kontzeptua	Dedikazioa (h)	Kostu unitarioa (€/h)	Kostu totala (€)
Zuzendaria	30	25	750
Ikaslea	150	15	2.250
<b>Guztira</b>			<b>3.000</b>

8. Taula: Pertsonal gastuak

**PERTSONAL KOSTUAK:** ..... 3.000 €

**Pertsonalaren kostuen balioa da:** Hiru mila euro.

- Amortizazioak: Gradu Amaierako Lanean erabiltzen diren ondasun materialak edo ez-materialak dira eta balio-galera, gertatzen den denboraren eta erabiltzen den denboraren arabera izango da (9. taula). Ondasun hauek Ingeniaritza Mekanikoko departamentuko ordenagailuak (simulazioak egiteko erabili direnak) eta ordenagailu eramangarri pertsonala dira. Aurretik azalduakoen gain QuikCAST programaren eta Microsoft Office-en lizentziak ere kontutan hartu behar dira.

Kontzeptua	Prezioa (€)	Iraupena (Hilabeteak)	Erabilera (Hilabeteak)	Amortizazioa (€)
QuikCAST lizentzia	8.000	12	6	4.000
Microsoft Office lizentzia	50	12	9	37,5
Ordenagailua	2.000	72	6	166,7
Ordenagailu eramangarria	600	60	9	90
<b>Guztira</b>				<b>4.294,2</b>

9. Taula: Amortizazioak

**AMORTIZAZIOAK:** ..... 4.294,2 €

**Amortizazioen balioa da:** Bi mila berrehun eta laurogeita hamalau euro eta hogeitazentimo.

## 6.2. AURREKONTU PARTZIALAK

### 6.2.1. KOSTU ZUZENEN AURREKONTUA

Pertsonal kostuak: ..... 3.000 €

Amortizazioak: ..... 4.294,2 €

**Orotara:** ..... 7.294,2 €

**KOSTU ZUZENEN AURREKONTUA:** ..... 7.294,2 €

**Kostu zuzenen aurrekontuaren balioa da:** Zazpi mila berrehun eta laurogeita hamalau euro eta hogeitazentimo.

### 6.2.2. ZEHARKAKO KOSTUAK

Zeharkako kostuek Gradu Amaierako Lana garatzean sortzen diren gastuak hartzen dituzte kontuan. Gastu horien balioa kuantifikatzea zaila da argindarraren, uraren eta gasaren kontsumoaren, ekipoaren mantentze-lanaren, instalazioen, bulegoko materialaren eta antzeko aldagaien ondorioz. Horretarako, zuzeneko kostu guztien %10 kalkulatu da.

Kostu zuzenen %10 ..... 729,5 €

**Orotara** ..... 729,5 €

**ZEHARKAKO KOSTUAK:** ..... 729,5 €

**Zeharkako kostuen balioa da:** Zazpiehun eta hogeita bederatzi euro eta berrogeita hamar zentimo.

### 6.3. GRADU AMAIREAKO LANAREN AURREKONTU OSOA

Kostu zuzenak: .....	7.294,2 €
Etekin industrialia (%10): .....	729,5 €
Zeharkako kostuak: .....	729,5 €
Guztira: .....	8.753,2 €
BEZ (%21): .....	1.838,2 €
<b>Orotara:</b> .....	<b>10.591,4 €</b>

**GRADU AMAIERAKO LANAREN AURREKONTU OSOA:** ..... 10.591,4 €

**Gradu Amaierako Lanaren aurrekontu osoaren balioa da:** Hamar mila bostehun eta lauogeita hamaika euro eta berrogei zentimo.

## 7. ONDORIOAK

5. atalean diskoaren simulazio bakoitzean aldaketak egin dira hainbat parametroetan, hauek daukaten eragina ikusteko. Parametro hauek izan dira: Mailatuaren tamaina, mazaroten bolumena, mazarota kopurua, mazaroten arteko distantzia, betetze denbora eta erasoen kopuru desberdina. Polearen kasuan kalkuluetatik lortutako geometria simulatu da eta hozkailu bidez hobetutako beste simulazio bi egin dira. Emaizta guztiak ikusi ostean ondorengo ondorioak atera dira:

- Betetzean mailatuaren batez besteko handiena zuen simulazioak ez du betetze logikorik egin, pieza betetzen hasi baita erasoetatik igaro gabe. **2. simulazioan mailatu finago batekin arazo hau konpondu egin da eta betetze egokia egin da pieza betez kanal eta erasoetatik igaro ostean.** Abiaduretan antzerako zerbait gertatu da bektoreen norabideekin, aurreko ondorio bera lortuz. Gainera, abiaduraren balio ia bikoitza lortu da mailatu finagoarekin 2. simulazioan (1,29 m/s 0,7 m/s-ren aurka).
- Izan behar luketen bolumena mantenduz, **mazarota bakarra jartzea biren orde ez da oso kaltegarria.** Mazarota bakar batekin frakzio handiagoa geratu da solidotzeko azken unean pieza barruan, baina ez da izugarritzko alderik nabarmendu. Gainera **bi kasuetan solidotzen den azken frakzioa pieza eta mazaroten arteko mugan dago.**
- Mazaroten bolumena eta kokapena oso garrantzitsuak izan arren, ikusi da egokienak ere (pieza guztiaren luzera betetzen duten bi mazarota) ez dituela arazo guztiak konpontzen. Emaiztarik hoberenak lortzen dira baina hala ere solidotzen den azkenengo gunea mazarota eta piezaren arteko gunea da. Honek ez du uzkurduetan lagundu, simulazio guztietan piezara iritsi direlako. Hau ekiditeko mazarota exotermikoak edo hozkailuak jartzea erabilgarria izango litzateke
- Betetze denborei dagokienez, hauek bikoiztuz eta hirukoiztuz nabarmena da pieza barruko abiaduren balioa asko murriztu dela solidotzean desberdintasun handirik gabe. Kontutan hartu beharra dago abiadura turbulenteak airea atrapatu dezaketela akatsak sortuz, baina produktibitatea begiratu beharra dago baita. Beraz, kasuan kasuko baldintzak direla eta **hiru betetze denborak egokiak izan daitezke.**



- **Erasoen eragina nabari daiteke betetzearen lehengo uneetan**, 3 eta 4 eraso izatean pieza uniformeago betetzen delako. Hala ere, abiadurak oso antzekoak dira 3 kasuetan eta toki berdinetan eta solidotzea ez da aldatzen, beraz aurreko kasuan bezala, baldintzen arabera 3 diseinuak baliagarriak izan daitezke.
- Diskoan aztertu den bezala, **kalkuluetatik lortutako polearen diseinua ez da izan egokiena**, uzkurdura agertu delako pieza barruan eta solidotzen den azkenengo frakzioa pieza barruan eta mazarotetan dagoelako. **Hozkailuak erabili ostean emaitza hauek hobetu dira**, solidotzen den azkenengo frakzio guztia mazarotetan biltzen delako, baina hala ere uzkurdurak agertzen dira pieza barruan.
- Hozkailuak erabilia ere uzkurdura ezin izan denez saihestu polea barruan, **proposatu daitekeen hurrengo pausoa polea berriz diseinatzea da**. Hau da, uzkurdura agertzen den gunea al den heinean fintzea arazo hau ekiditeko.

## 8. BIBLIOGRAFIA

### Liburu eta artikuluak

- [1] P. Beeley, Foundry Technology, Butterworth-Heinemann (2001). ISBN 0 7506 4567 9
- [2] S. Kalpakjian, S.R. Schmid; Manufactura, ingeniería y tecnología, PEARSON Educación (2008). ISBN 10: 970-26-1026-5
- [3] J.A. Sánchez Galíndez, Técnicas avanzadas de conformado y moldeo : Intensificación en fabricación (2007)
- [4] J. Vallejo Rojo, Simulación de fundición por ordenador mediante QuikCAST (2013). (GRAL)
- [5] Steel Founders' Society of America, Feeding & Riserling Guidelines for Steel Castings (2001)
- [6] B. Izquierdo, Ekoizpen eta fabrikazio sistemak, Bilboko Ingeniaritza Eskola (2019)
- [7] U. Alonso, Fabrikazio Birtuala, Bilboko Ingeniaritza Eskola (2021)
- [8] J. Rodríguez, Galdaketako moldeen eta ereduaren diseinua, EASO Politeknikoa (2019)
- [9] A. Ortiz, O. Ruiz, J.A. Ortiz; Modelado de los Procesos de Manufactura, Universidad Autónoma de México (2013)

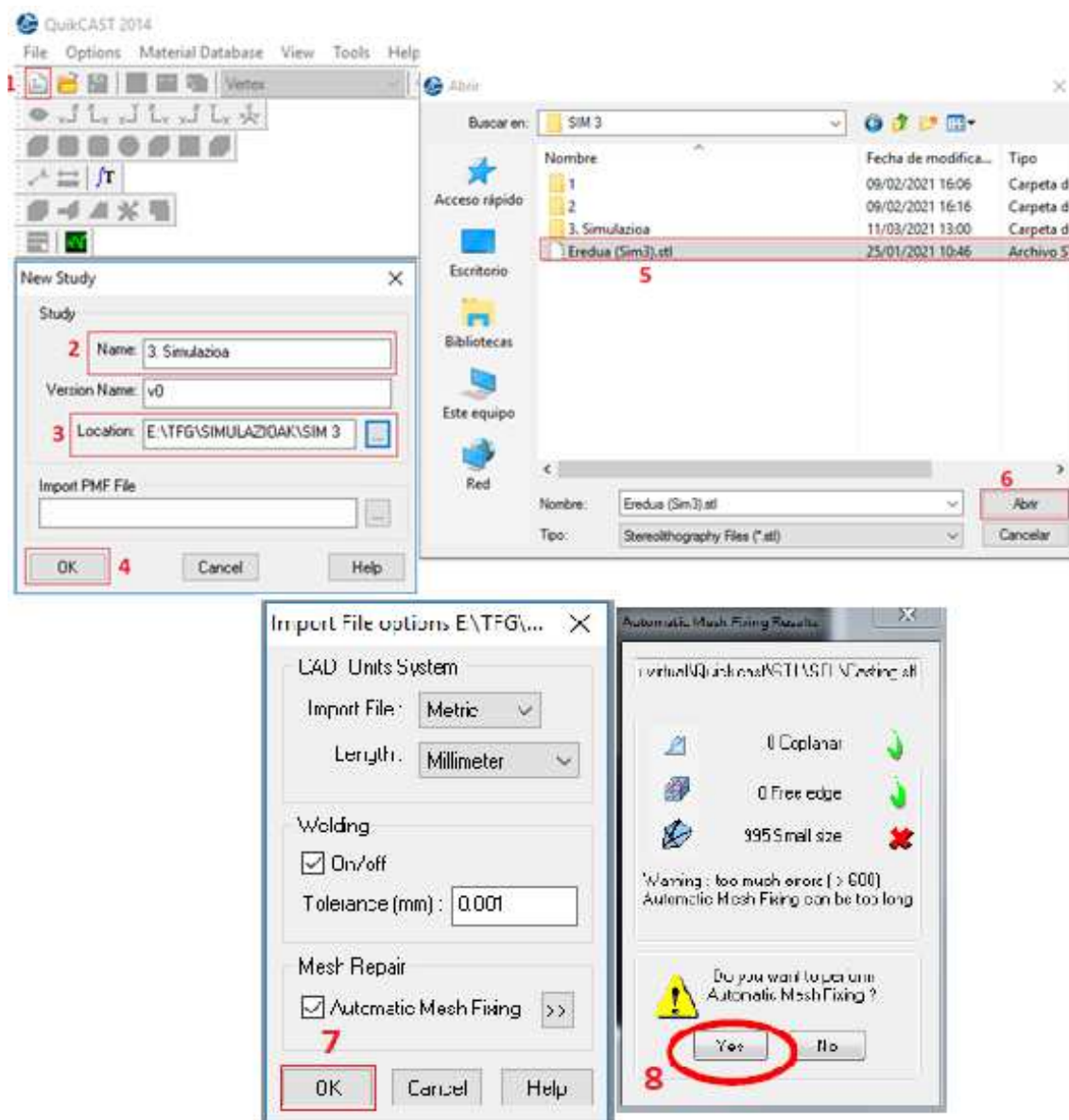
### Webguneak

- [10] Galdaketa metalen sailkapena (Online). Eskuragarri:  
<http://www.fundimeca.com/images/tabla-materiales-fundimeca.pdf>
- [11] Injekzio bidezko galdaketa (Online). Eskuragarri:  
<https://www.dynacast.com/es-mx/inyeccion-a-presion-especializada/proceso-de-fundicion-a-presion/fundicion-inyectada-en-camara-caliente>
- [12] Isurketa mota desberdinak (Online). Eskuragarri:  
[https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DMMF/DMMF01/es\\_DFM\\_DMMF01\\_Contenidos/website\\_122\\_colada\\_enfriamiento\\_y\\_solidificacin.html#:~:text=Se%20denomina%20colada%2C%20al%20proceso,ajustar%20la%20composici%C3%B3n%20del%20mismo.](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DMMF/DMMF01/es_DFM_DMMF01_Contenidos/website_122_colada_enfriamiento_y_solidificacin.html#:~:text=Se%20denomina%20colada%2C%20al%20proceso,ajustar%20la%20composici%C3%B3n%20del%20mismo.)

## 9. ERANSKINAK

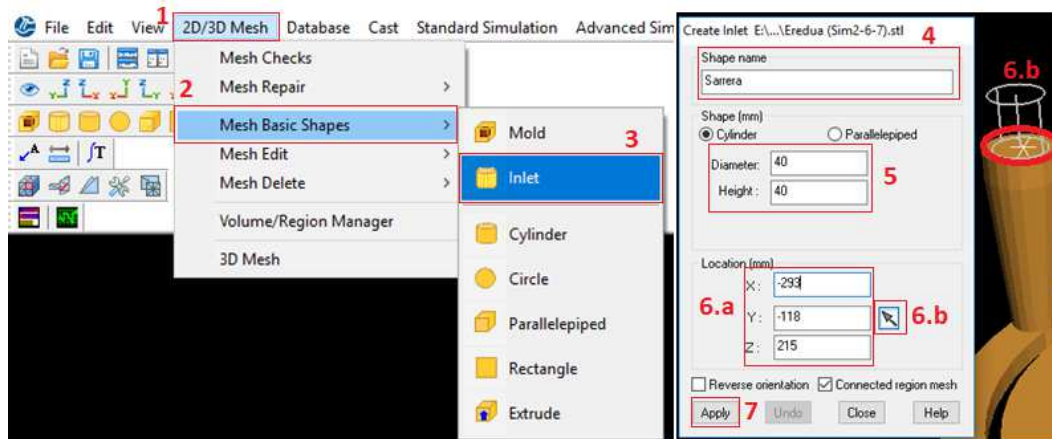
### 9.1. SIMULAZIOEN METODOLOGIA

4. atalean esan bezala, bertan aurki daiteke simulazioak egiteko erabili den metodologia zehatza. Lehendabizi fitxategi berri bat sortu behar da, dagokion izen eta helbidearekin. Honen ostean leiho berri bat irekiko da eta .stl formatuan gordetako geometria aukeratu behar da (kasu honetan pieza, elikatze sistema eta mazarotak geometria bakar bat bezala definitu dira). Programak .stl fitxategiaren unitateak nola sartu nahi diren galdetuko du, Automatic Mesh Fixing aukera aukeratuta dagoelarik (mailatuaren parametroren bat ereduarekin bateragarria ez bada automatikoki konpondu dadin). Inongo berezitasunik ez izatekotan zuzenean onartuko da (7 eta 8 pausoak).



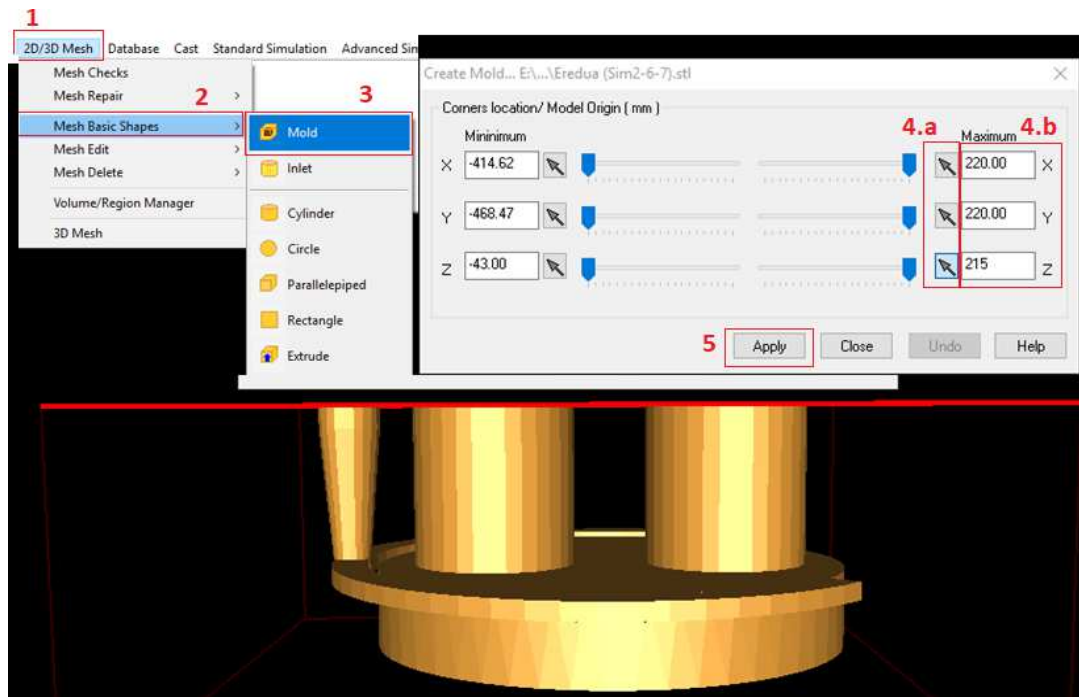
95. Irudia: Geometriaren inportazioa

Ondoren, Inlet izeneko bolumena egingo da. Bolumen honek isurketaren sarrera adierazten du eta gainezkabide osoa har dezake (metala isurtzean isurbidea bezain zabala balitz bezala, eta hori ez da egia galdaketa mota hauetan) edo haren zati bat, likido bat botatzean gertatzen den bezala. Horretarako beheko irudiko lehengo 3 pausak jarraitu behar dira. Sarreraren parametroetan izena, honen dimentsioa eta kokapena definitu behar dira, kontutan hartuz kokapena koordinatu bidez edo zuzenean nahi den tokian klikatuz definitzen dela (6. pausua). Azkenik aldaketa guztiak onartu behar dira beheko irudian ikus daitekeen 7. pausu bidez.



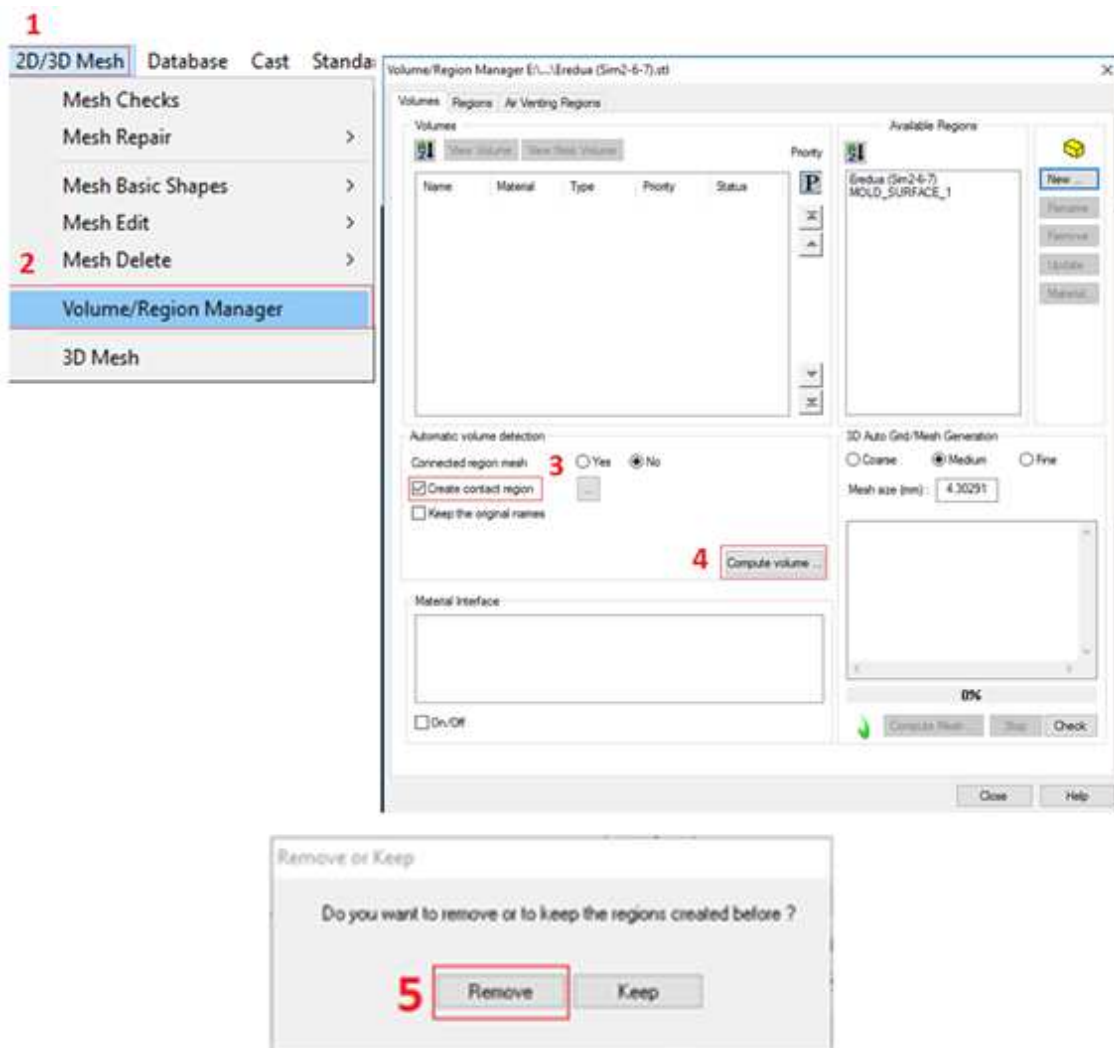
96. Irudia: Sarreraren definizioa

Geometriarekin bukatzeko moldea definitu behar da, Inlet aukera aurkitzen den toki berean Mold aukeratuz. Bertan moldearen dimentsioak definitu behar dira zenbaki bidez edo moldearen limiteak klikatuz. Simulazio hauetan goiko aldean finkatu da (Z ardatza) isurbidearen gainezkabidearekin eta mazarrotekin bat egiteko (bestela ezingo litzateke metala isuri).



97. Irudia: Moldearen definizioa

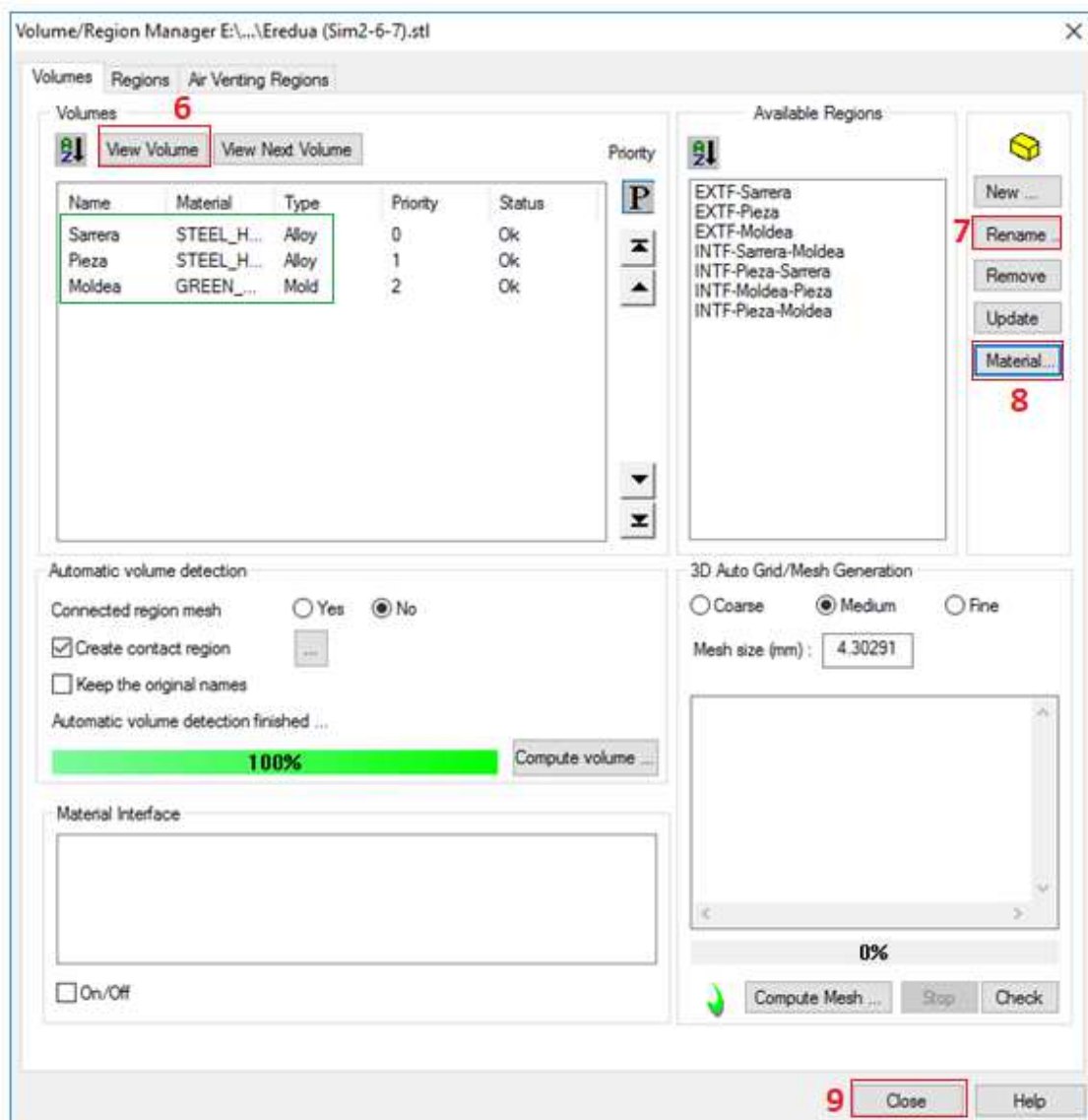
Geometria prest dagoenean 2D/3D Mesh atalean Volume/Region Manager aukeratu behar da gainazalak bolumentan bihurtzeko. Hau gerta dadin Create contact region aukeratu egon behar da ondoren Compute volume klikatzeko. Honen ostean leiho bat irekiko da aurretik sortutako bolumenak ezabatzeko edo mantentzeko, Remove aukeratuko delarik.



98. Irudia: Bolumenen sorrera

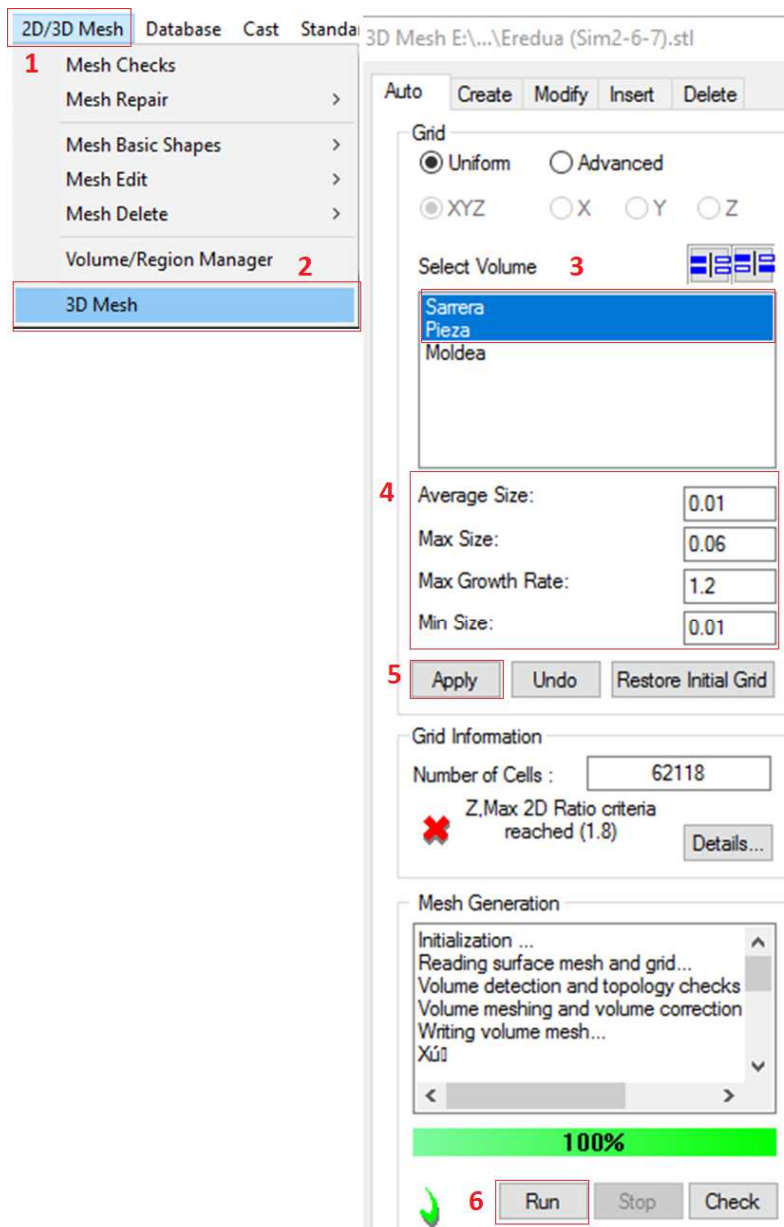


Bolumenak sortzerakoan geratzen den bakarra hauei izena ematea eta materiala definitzea da, lan honetako simulazio guztiak 99. irudiko ezaugarriekin egin direlarik. Bolumenak aukeratzeko lehenengo bistaratu egin behar dira (6. pausua) eta definitu ostean leihoa itxi.



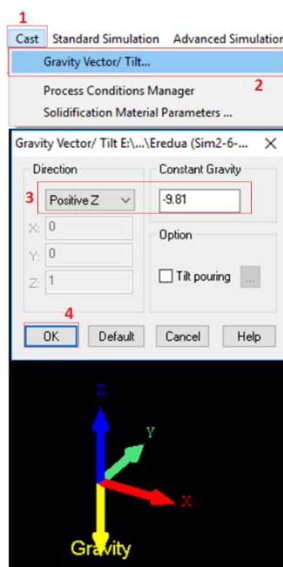
99. Irudia: Bolumenen identifikazioa

Sortutako bolumenekin mailatua sortuko da eta horretarako Model, 3D Grid eta Mesh Generation atalera joko da hurrenez hurren. Leiho berri bat irekiko, non mailatuaren tamainan eragina daukaten faktoreak (4. pausua) eta mailatua egingo diren bolumenak aukeratu behar diren mailatua aplikatu aurretik Apply bidez. Dena ondo dagoela ikusi ostean mailatua egingo Run bidez.



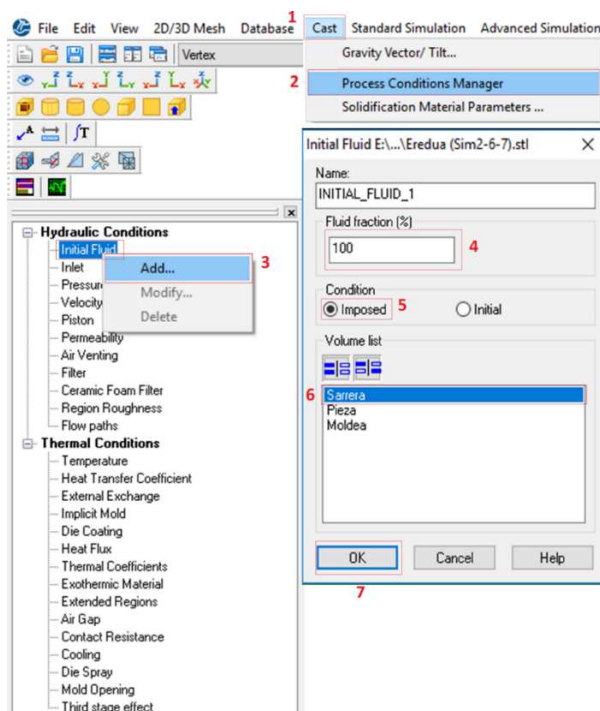
100. Irudia: Mailatuaren definizioa

Orain, ziurtatu behar da grabitatea norabide egokian bideratuta dagoela eta behar den balioa duela. Horretarako Process eta ondoren Gravity sakatuko dira eta ardatzetan grabitatea behar bezala dagoela egiaztatuko da. Bestela, haren norabidea eta balioa aldatuko dira hurrengo menuan.



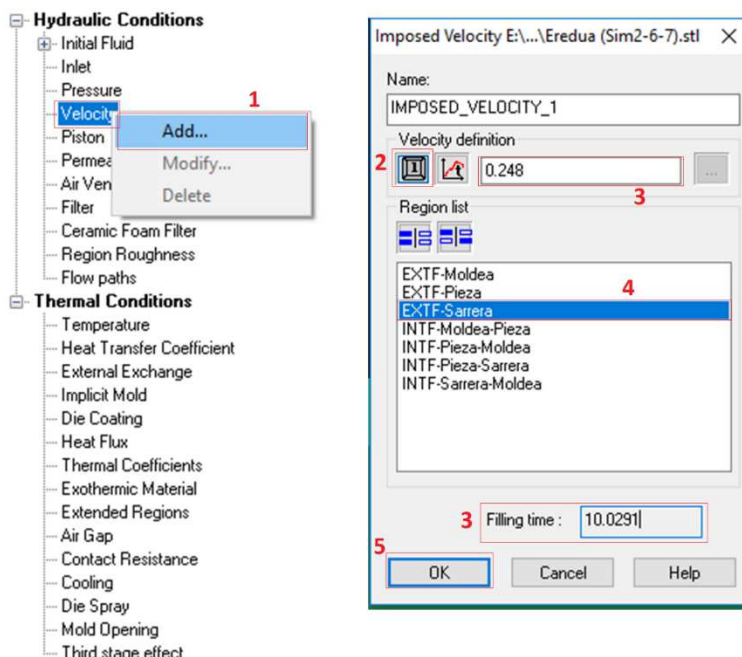
101. Irudia: Grabitatearen orientazioa

Puntu horretara iritsita, baldintza hidraulikoak (edo fluxuarenak) sartuko dira. Horretarako, honen menua irekiko da Cast eta ondoren Process Conditions Manager bidez, ezkerrean agertuko delarik. Lehendabizi hasierako fluxua definituko da 102. irudiko pausuak jarraituz. Bertan fluxuaren frakzio totala, inposatua izango dela eta sarreran emango dela definitu behar da.



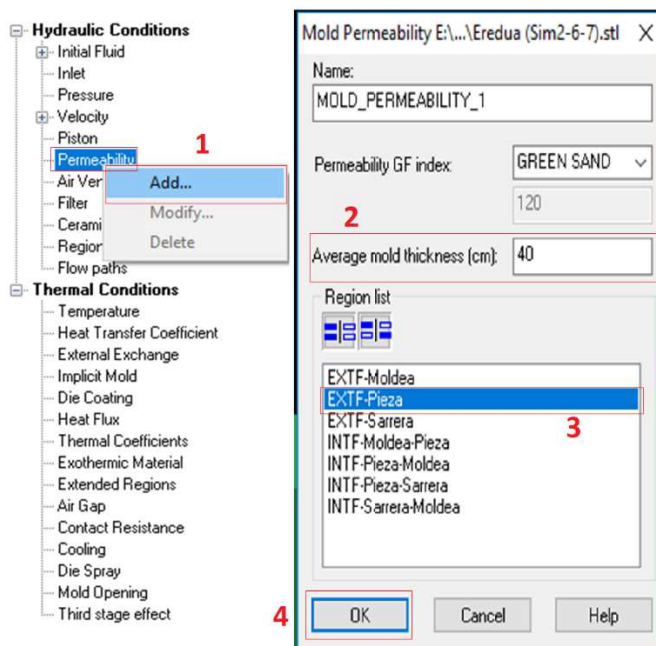
102. Irudia: Sarrerako fluxua

Definitu beharreko hurrengo baldintza sarrerako abiadura izango da. Aurreko prozedura berdina jarraituz honen parametroak definitu behar dira, hala nola non emango den abiadura hau (konstantea izango da 2. pausuarengatik) eta honen balioa 10, 11, 23 eta 33 segundoko betetze denboretarako.



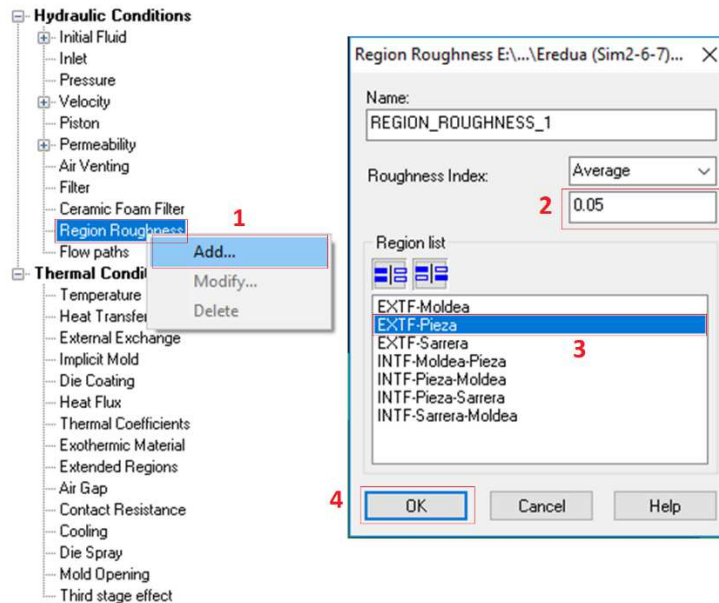
103. Irudia: Sarrerako abiadura

Jarraitu beharreko hurrengo urratsa iragazkortasuna definitzea da. Prozedura berdina jarraituz piezaren eta moldearen arteko gas trukea ematen den eskualdea (EXTF-Pieza) eta moldearen batz besteko lodiera aukeratu behar dira.



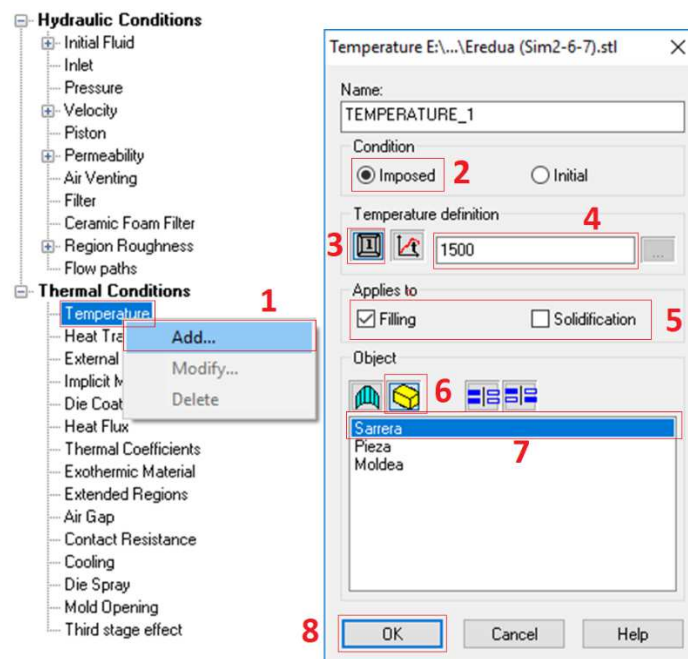
104. Irudia: Iragazkortasuna

Baldintza hidraulikoekin amaitzeko eskualdeen zimurtasuna definitu behar da. Horretarako molde eta piezaren arteko gainazala aukeratu behar da (EXTF-Pieza), bertan emango delako metal fluxuaren eta moldearen arteko kontaktua eta emango zaion balioa laztasunaren batez besteko lodieraren eta diametro hidraulikoaren arteko erlazioa izango da, horregatik ez dauka unitaterik.



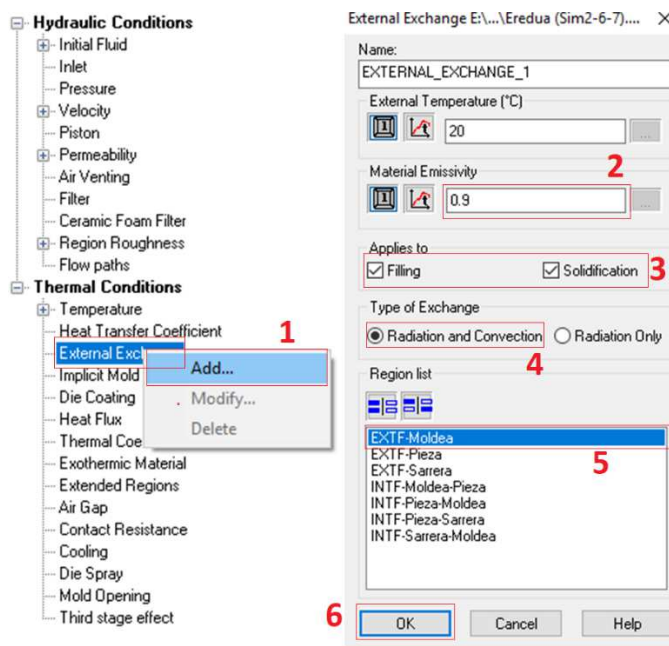
105. Irudia: Eskualdearen zimurtasuna

Baldintzak zehazten amaitzeko baldintza termikoak zehaztu behar dira. Logikoki isurtze tenperatura finkatu behar da, aukeratu diren parametroak ondorengoak izanik: Tenperatura inposatua izatea, konstante mantentzea 1.500°C-tan betetzean eta betetzea sarreran ematen dela zehaztea.



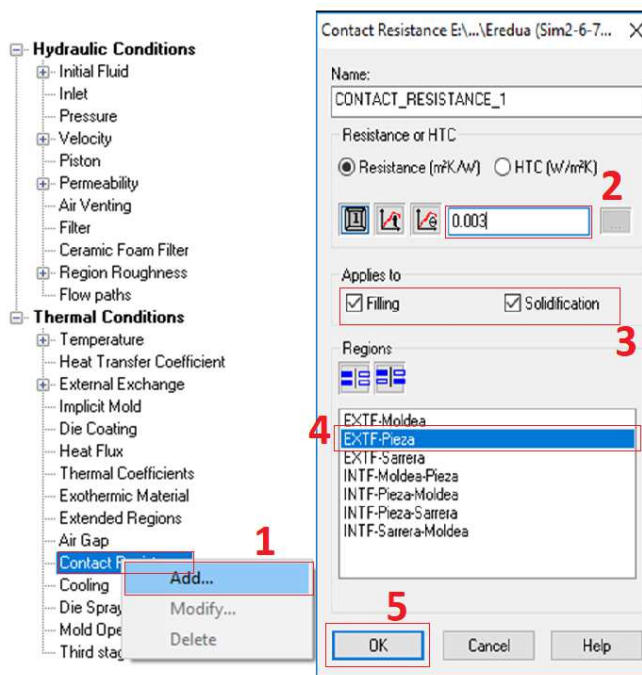
106. Irudia: Sarrerako tenperatura

Kanpo bero-trukean finkatu beharreko baldintzak kanpoko temperatura, emisibitate termikoa, betetzean zein solidotzean ematen dela bero-trukea, konbekzio bidez zein erradiazio bidez egiten dela eta airearekin kontaktua moldearen kanpo aldean ematen dela dira.



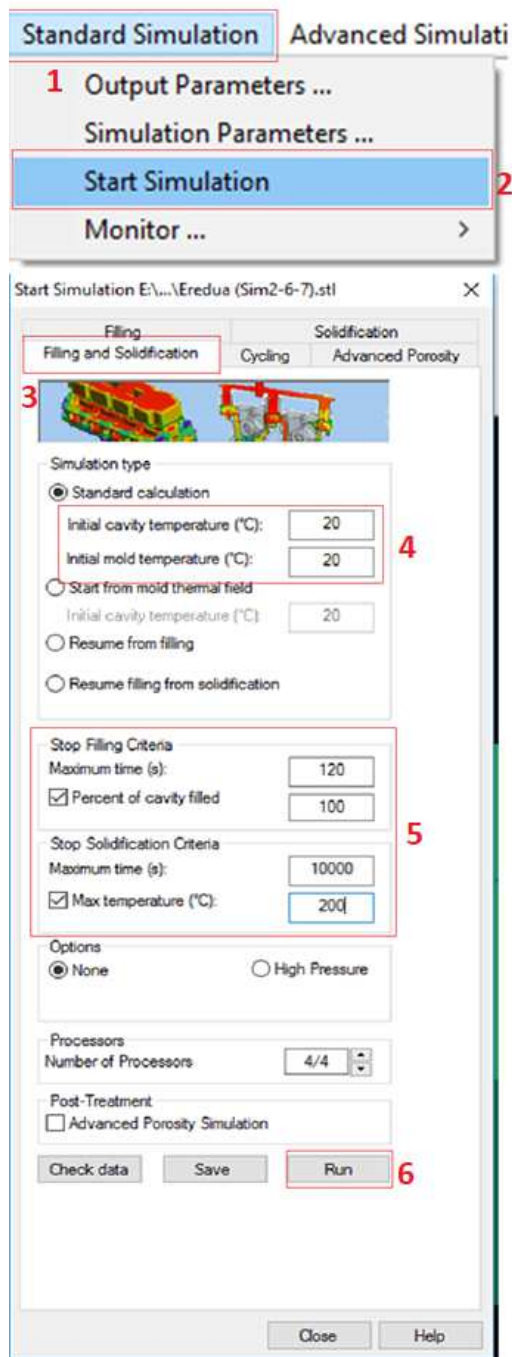
107. Irudia: Kanpo bero-trukea

Kontaktuarekiko erresistentzia izango da definitzen den azkenengo baldintza. Bertan erresistentziaren balio konstantea aukeratu behar da eta moldearen eta piezaren arteko mugan emango dela kontaktua. Behin hau finkatuta onartu egingo da eta baldintzen finkapena bukatutzat emango da.

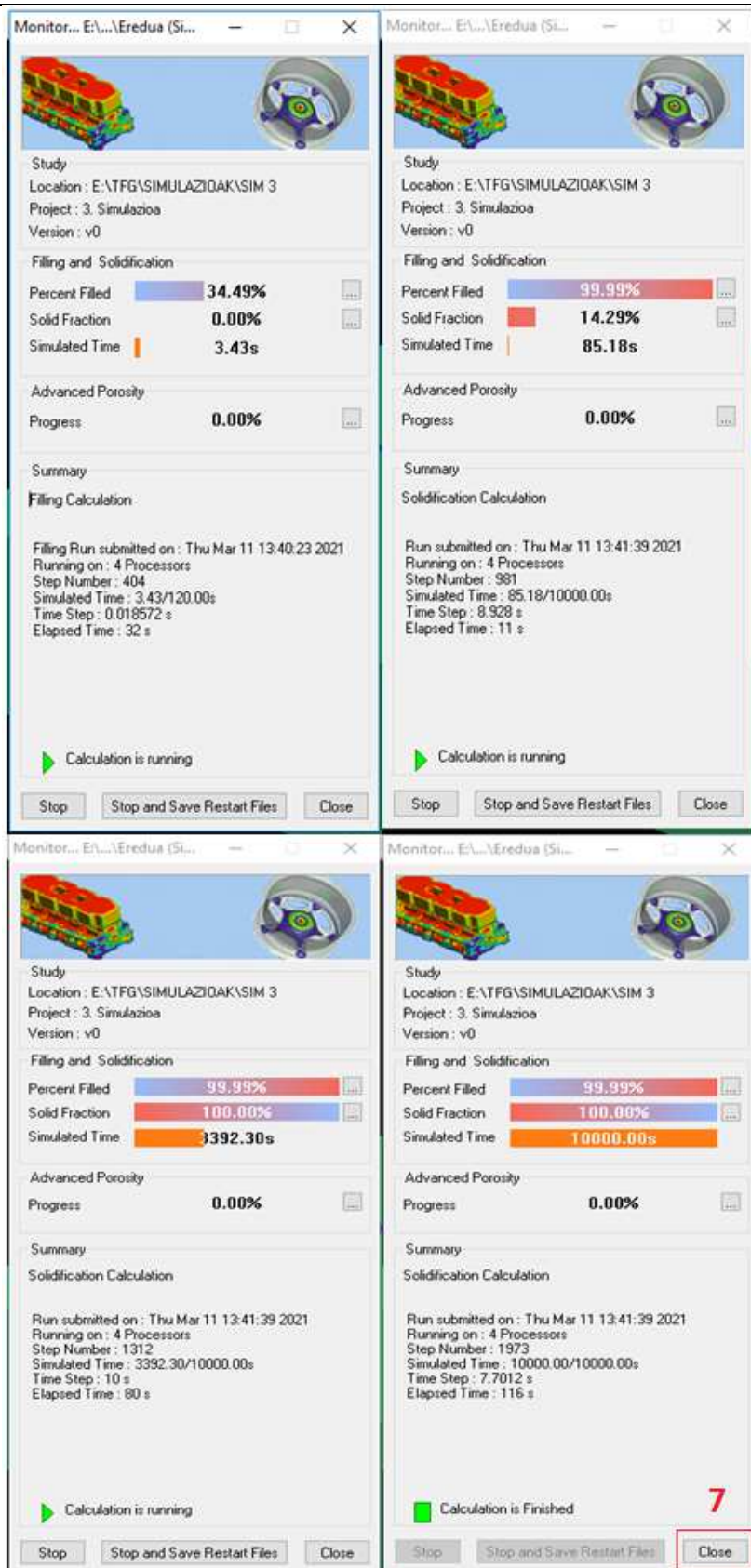


108. Irudia: Kontaktuarekiko erresistentzia

Simulazioa egiterakoan beheko pausuak jarraitu behar dira ondorengo leihoa agertu dadin. Behin hau irekita, betetzea eta solidotzea aukeratu behar da ondorengo baldintzekin: Hasierako tenperaturak moldean eta barnealdean  $20^{\circ}\text{C}$ -takoak izango dira, betetzea osoa izango da eta gehienez 120 segundo iraungo ditu simulazioak eta solidotzea  $200^{\circ}\text{C}$ -tan edo 10.000 segundotan amaituko da. Honen ostean Run sakatzea falta da bakarrik, hurrengo orrialdean ikus daitekeen segida emango delarik.



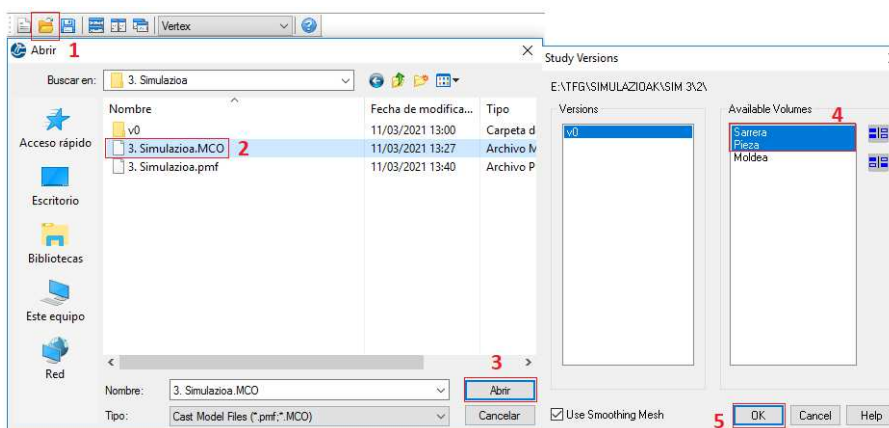
109. Irudia: Simulazioaren parametroak



110. Irudia: Simulazioen garapena

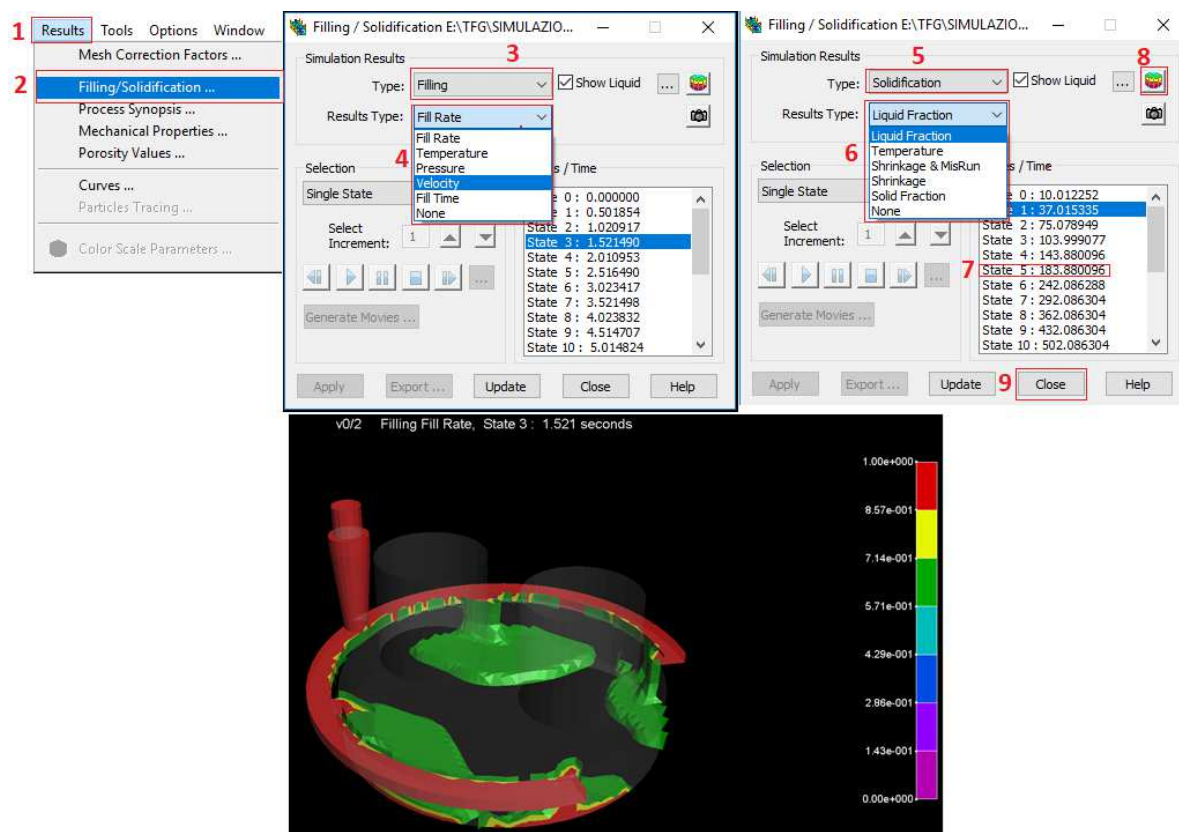


Prozesatzaileak amaitu ostean eta simulazioa amaitu ondoren emaitzak bistaratu behar dira. Horretarako simulazio ostean sortu berri den .MCO fitxategia ireki behar da, bistaratu nahi diren bolumenak aukeratuz (Sarrera eta pieza edo pieza bakarrik).



111. Irudia: Emaitzak irekitzea

Azkenik, fitxategia ireki ostean emaitzak ikusteko falta den bakarra Results atalean Filling/Solidification aukeratzea da. Bertan aztertu nahi izan diren parametroak Fill Rate (Betetzea), Temperature (Tenperatura) eta Velocity (Abiadura) izan dira betetzean (Filling) eta Liquid Fraction (Frakzio likidoa) eta Shrinkage (Uzkurdura) solidotzean (Solidification). Une desberdinak aztertzeko state desberdinak definitu dira, bakoitzari dagokion uneak eskumaldean ikus daitezkeelarik. Emaitzaren eskumaldean agertzen den eskalaren balioak aldatzeko 8. pausuko gunean klikatu beharra dago.



112. Irudia: Betetzea/Solidotzea



## 9.2. SIMULAZIOAK

Atal honetan egin diren simulazio guztiak erakutsiko dira, ondorengo terminologia erabiltzen delarik:

$V_M$  = Mazarota bakoitzaren bolumena,  $\text{mm}^3$

$H_M$  = Mazaroten altuera, mm

$\varnothing_M$  = Mazaroten diametroa, mm

$N_M$  = Mazarota kopurua, adimentsionala

$v_2 = 2$ . puntuan sarrerako abiadura, m/s

$T$  = Metalak hasieran daukan tenperatura

$t$  = Irudi bakoitzari dagokion unea, s

Honez gain parametro bakoitza aztertzeko lau une aukeratu dira hauen garapena aztertzeko, kasu bakoitzean aukeratu diren unek zehaztuz. Hala ere, abiaduren eta uzkurduen kasuan, balio handienak erakusten duen irudia eta azkenengo unea aztertuko dira hurrenez hurren.

### 9.2.1. SIMULAZIOA

Lehenengo simulazioan 4. atalean kalkulaturako bolumena izango du mazarota bakar batek. Mazarotaren altuera eta diametroa berdinak izango dira, abiadura aurretik kalkulatu da baita eta azkenik isurtze tenperatura  $1.500^\circ\text{C}$ -takoa izango da.

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \varnothing_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 1$
- $v_2 = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

#### 9.2.1.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau unek ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 3 \text{ s}$
- $t_3 = 6,5 \text{ s}$
- $t_4 = 9 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

113. irudiko irudietan aurretik aipaturako lau momentuen betetze-denbora ikus daiteke. Gorriz marraztutako guneak guztiz beteta dauden guneak dira eta berdez betetzen ari direnak (betetze frontea). Hala ere, eskumako aldean software-ak koloreen eta betetako ehunekoaren arteko erlazioa erakusten du. Ikus daiteke metalaren ibilbidea ez dela oso logikoa, piezaren barnealdea betetzen hasi baita erasoetatik igaro gabe.

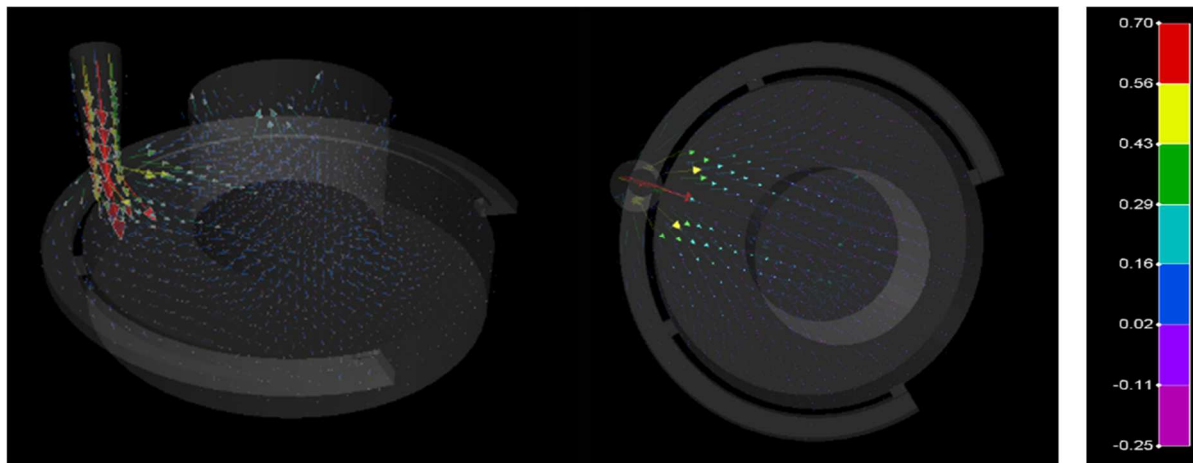
Oso garrantzitsua da betetzea jarraia izatea eta ikus daitekeen bezala, ez da baldintza hau bete 113. irudian ikus daitekeen bezala.



113. Irudia: 1. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

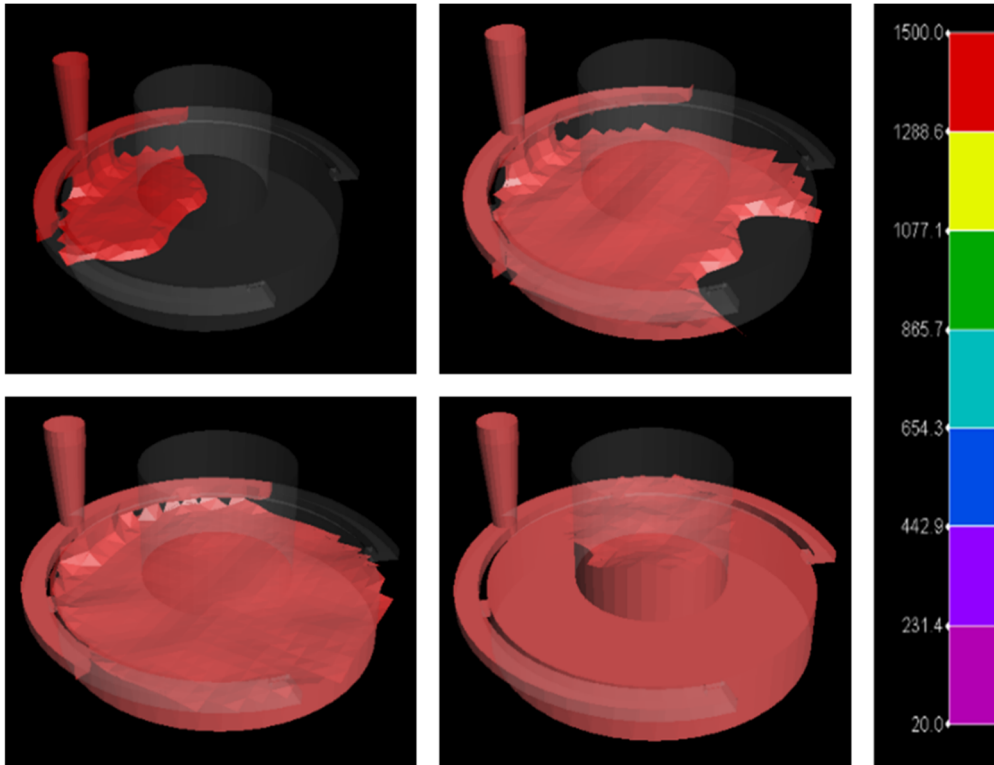
Abiadura bektore bidez irudikatu da 114. irudian , balioa kolore bidez irudikatuz. Abiadura maximoa 0,7 m/s-koa dela erakusten du eskalak. Abiadura handiena isurbidean ematen dela nabari da baina ez litzateke bertan eman behar, erasoen eta kanalen sekzioa txikiagoa delako.



114. Irudia: 1. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

### Temperatura:

Isurketa egiteko metalaren temperatura 1.500°C-koa izango dela finkatu da, eta temperatura hau betetze osoan mantendu behar da solidotze goiztiarrak agertu ez daitezen. Nabarmena da 115. irudian masa guztia likido egoeran mantentzen dela eta ez dela arazorik agertuko honen ondorioz.



115. Irudia: 1. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

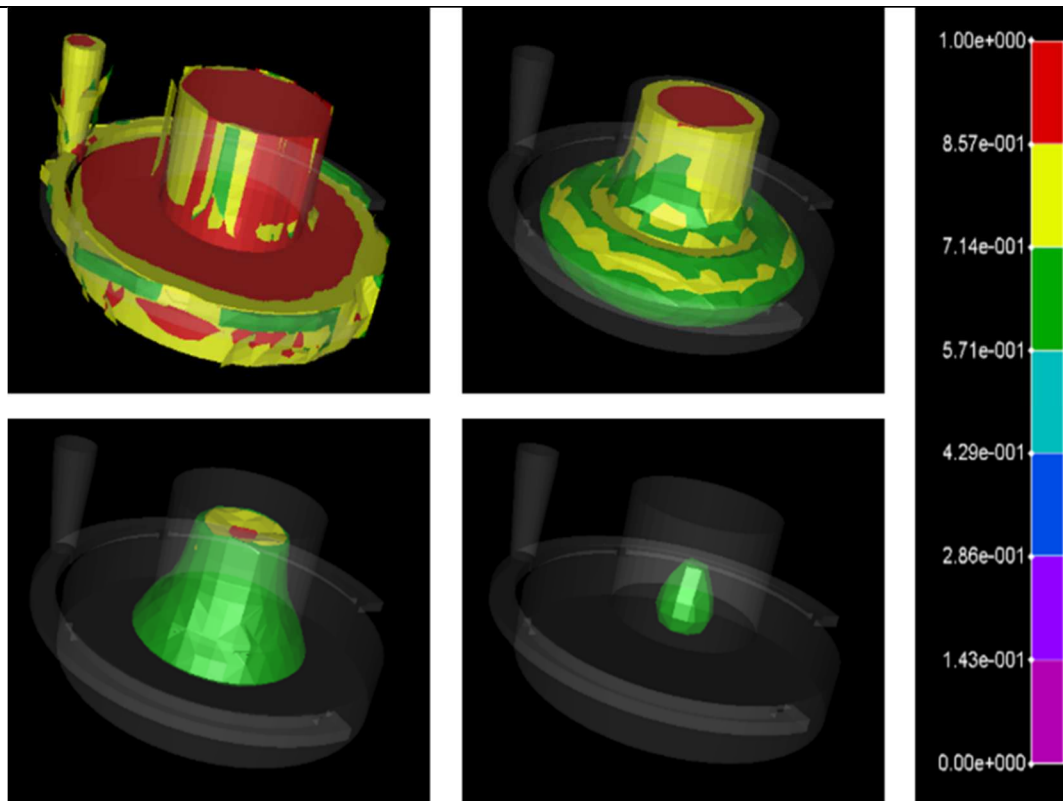
#### 9.2.1.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.800 segundo inguruan egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau unek hautatu dira.

- $t_1 = 127 \text{ s}$
- $t_2 = 367 \text{ s}$
- $t_3 = 827 \text{ s}$
- $t_4 = 1.737 \text{ s}$

### Frakzio likidoa:

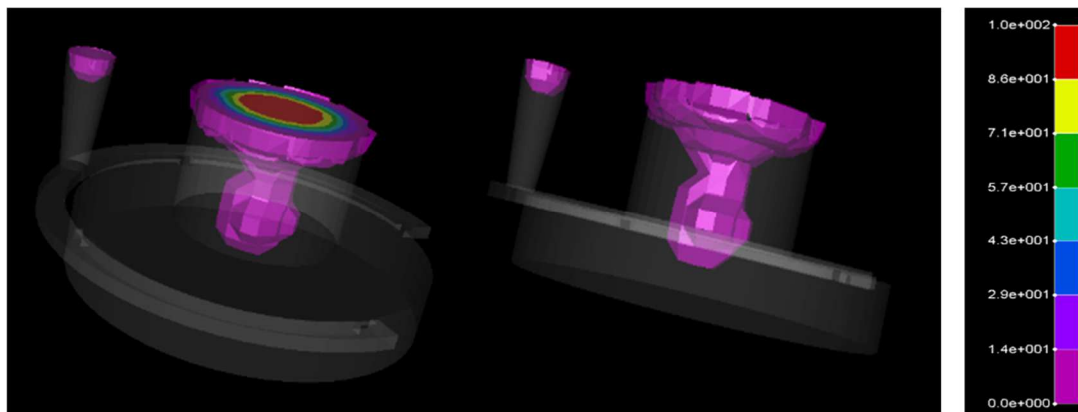
116. irudian egoera likidoan mantentzen diren gunek erakusten dira. Gogoratu beharra dago mazarotak izan behar direla solidotzen azkenak. Erraz ikus daiteke nola kanal, eraso eta isurbidea direla lehen solidotzen direnak, lodieragatik eta konbekzioarengatik. Nabarmena da azkenik solidotzen den masa likidoa mazarotan dagoela. Hala ere, piezarekin mugatzen dago eta ez da guztiz gomendagarria.



116. Irudia: 1. Simulazioko solidotzearen irudiak

**Uzkurdura:**

Uzkurdura piezan agertzea saihestu beharra dago, mazarotan agertzera bideratuz. Mazarotaren goiko zatian ematen da gehien bat, baina mazarotaren beheko aldean ere ematen da, piezarekin konektatuz (117. irudian ikusgai). Honek arazoak sortzen ditu piezan beraz ez da guztiz ondo atera. Mazarotak ez du bere helburua guztiz bete, uzkurdua ekiditea bere helburu nagusietako bat baita.



117. Irudia: 1. Simulazioko uzkurduraren irudiak

## 9.2.2. SIMULAZIOA

Bigarren simulazioak lehenengo simulazioaren ezaugarri berdinak izango ditu, mailatuaren elementuen batez besteko tamaina kenduta (aurrekoaren erdia). Mazarotaren altuera eta diametroa berdinak izango dira, abiadura aurretik kalkulatu da baita eta azkenik tenperatura 1.500°C-takoa izango da.

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 1$
- $v_2 = 0,59 \frac{m}{s}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

### 9.2.2.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

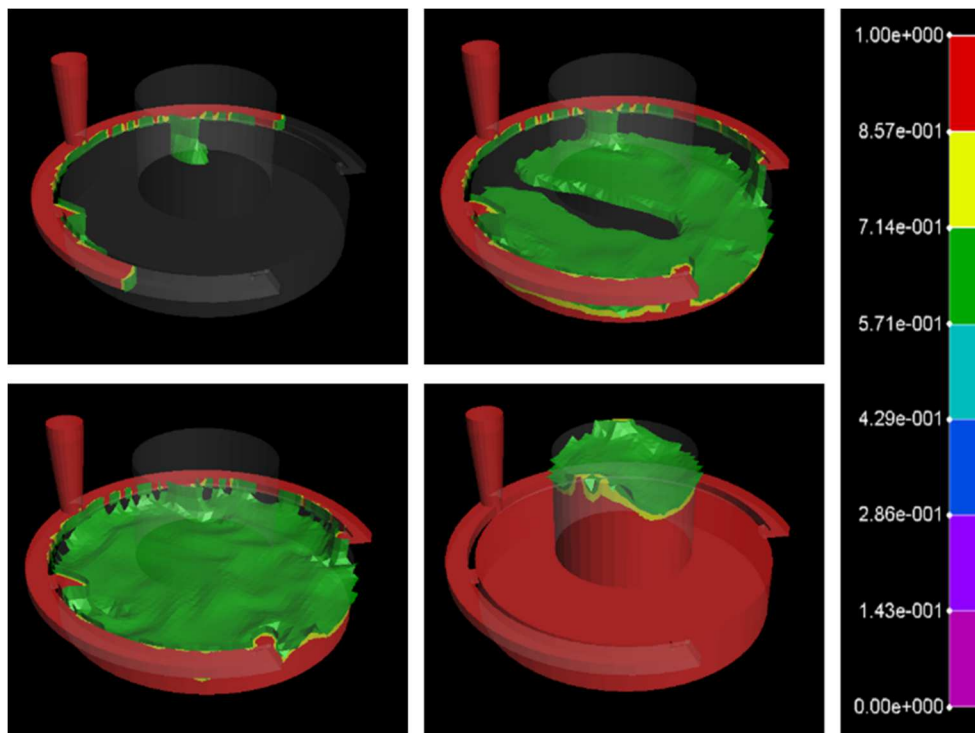
Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 3 \text{ s}$
- $t_3 = 5 \text{ s}$
- $t_4 = 9 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

118. irudian aurretik aipatutako lau momentuen betetze-denbora ikus daiteke. Oraingo honetan metalak definitutako ibilbidea jarraitzen du, isurbidetik kanaletara pasatuz eta eraso bidez kanaletatik piezara, azkenengoz mazarotak betez.

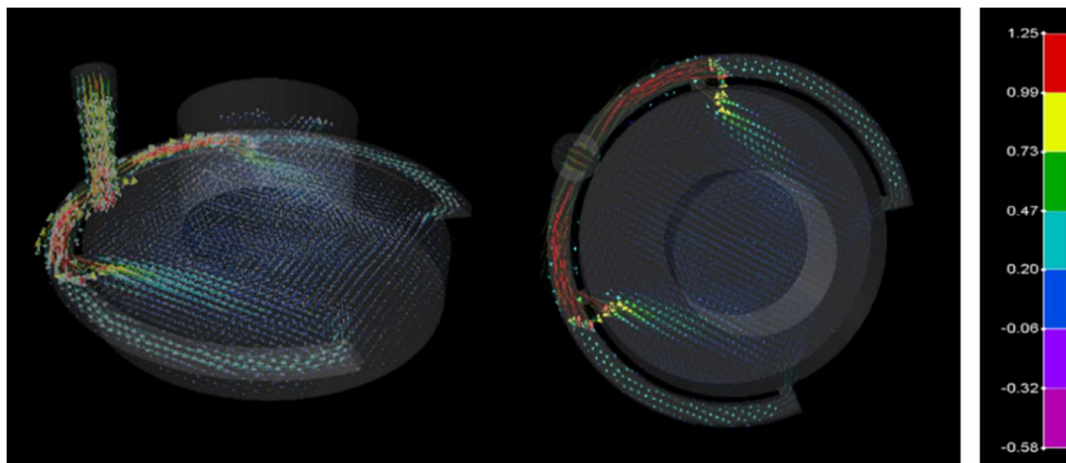
Oso garrantzitsua da betetzea jarraia izatea eta ikus daitekeen bezala, ez da arazorik sortzen, diseinurako kontutan hartu diren erabakiak egokiak direla baieztatuz.



118. Irudia: 2. Simulazioko betetzearen irudiak

### **Abiadura:**

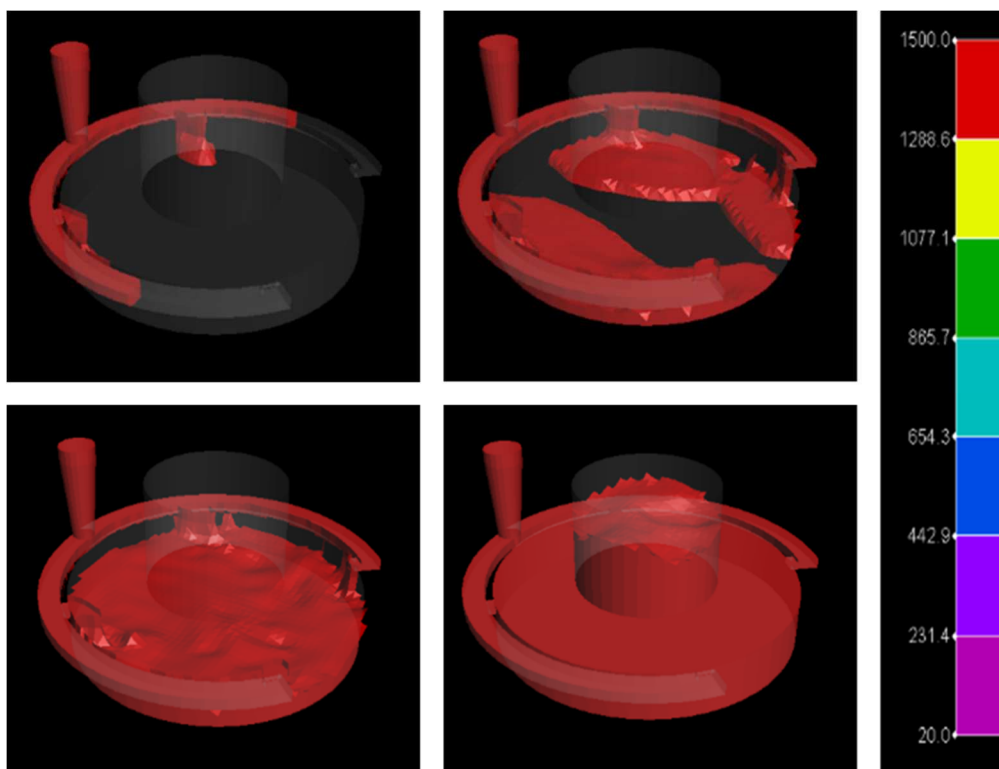
Abiadura maximoa 119. irudian 1,25 m/s-koa dela erakusten du eskalak, honen balioa kanaletan eta lehenengo erasoetan erakutsiz. Logikoa dirudi hauen sekzioa txikiagoa delako isurbidean baino, (11) adierazpena kontutan hartzen bada. Amaitzeko, fluxuak laminarra dirudi eta ez da fluxu zurrunbilotsurik nabaritzen.



119. Irudia: 2. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

### **Temperatura:**

Simulazio guztietan beteko den bezala, betetzean temperatura 1.500°C-tan mantendu da solidotze goiztiarrak saihestuz. Esan beharra dago QuikCast-en temperatura konstante mantentzea finkatu daitekeela, beraz esperotakoa bete da.



120. Irudia: 2. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

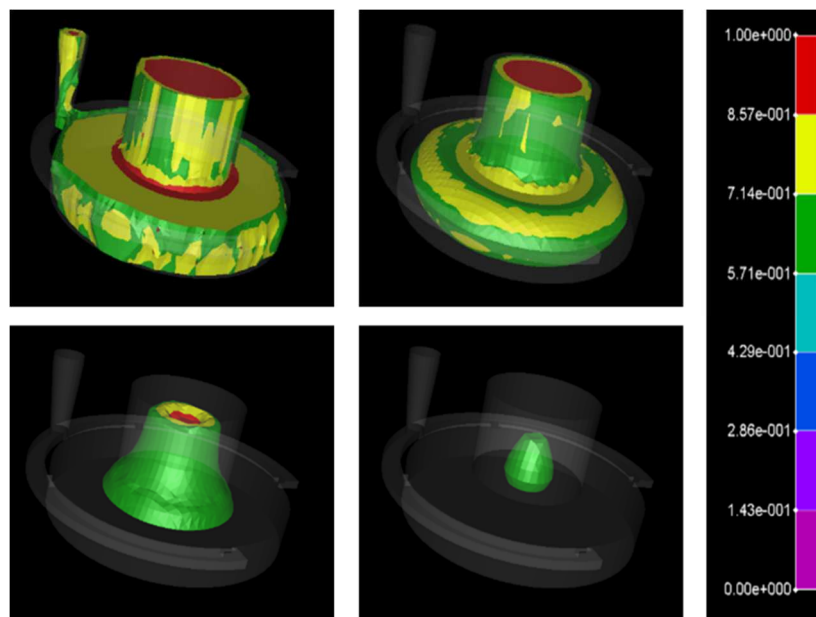
### 9.2.2.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.600 segundo inguru egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 75 \text{ s}$
- $t_2 = 260 \text{ s}$
- $t_3 = 740 \text{ s}$
- $t_4 = 1.580 \text{ s}$

#### Frakzio likidoa:

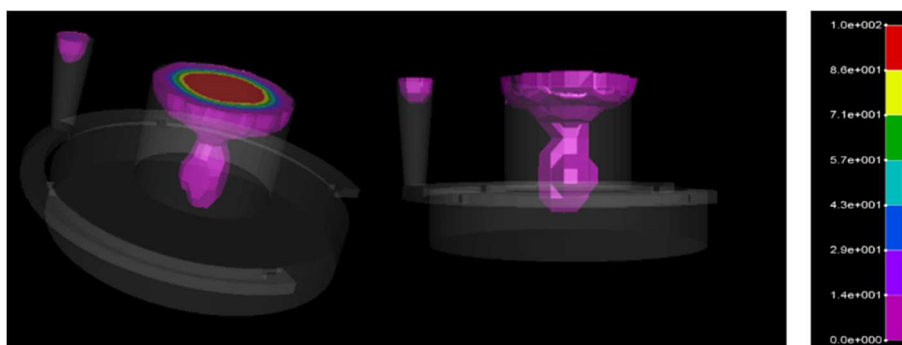
Espero zena bete da gutxi gora behera, elikatze sistema lehenik solidotuz, ondoren pieza eta mazarotak solidotzeko. Arazo txiki bat nabaritu daiteke 121. irudiko azken bi irudietan, solidotzeko geratzen frakzio handi bat pieza barnean dagoelako, eta azken frakzioa mazarota eta piezaren mugan.



121. Irudia: 2. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

Uzkurdura mazarotek saihestu behar duten fenomeno da eta simulazio honetan ez da bete, piezaraino iritsi baita. Gainera uzurdura oso handia izan da mazarotaren gailurrean eta erdialdean bolumen handia uzkurdu da (122. irudian).



122. Irudia: 2. Simulazioko uzkurduraren irudiak



### 9.3.3. SIMULAZIOA

Hirugarren simulazioan 4. atalean kalkulaturako beharrezko bolumena izango dute bi mazarotek (kasu idealena). Mazarotaren altuera eta diametroa berdinak izango dira, abiadura aurretik kalkulatu da baita eta azkenik tenperatura  $1.500^{\circ}\text{C}$ -takoia izango da.

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^{\circ}\text{C}$

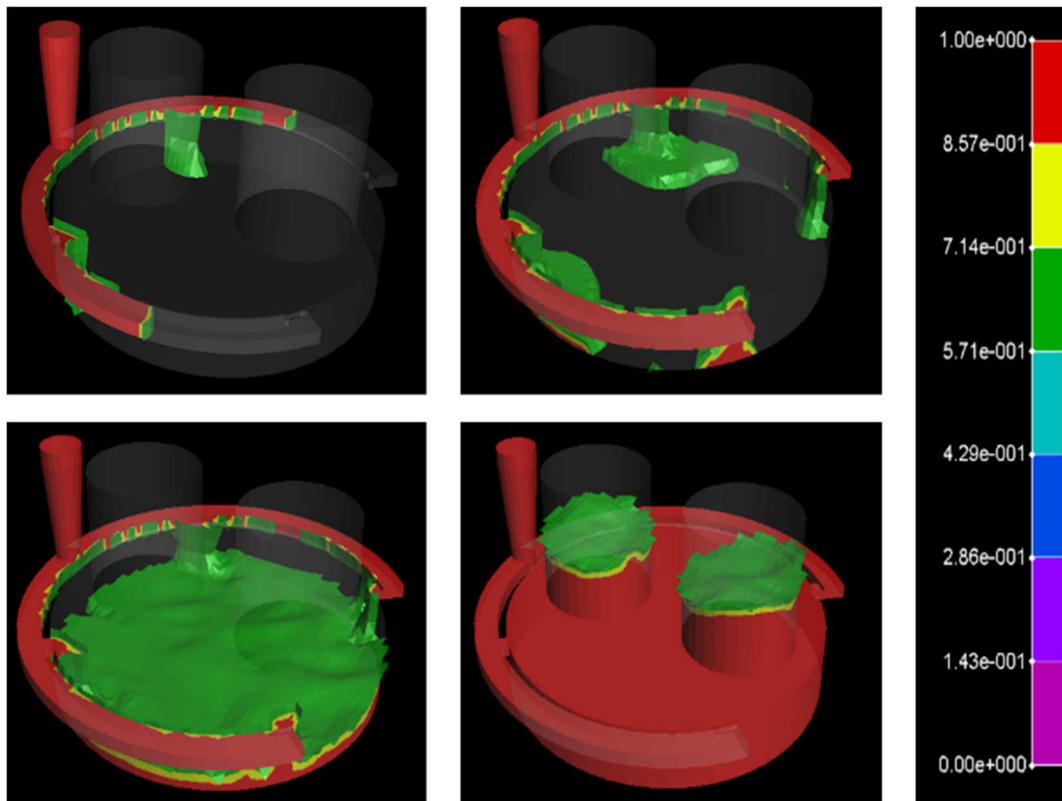
#### 9.3.3.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 1 \text{ s}$
- $t_2 = 3 \text{ s}$
- $t_3 = 6 \text{ s}$
- $t_4 = 8,5 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

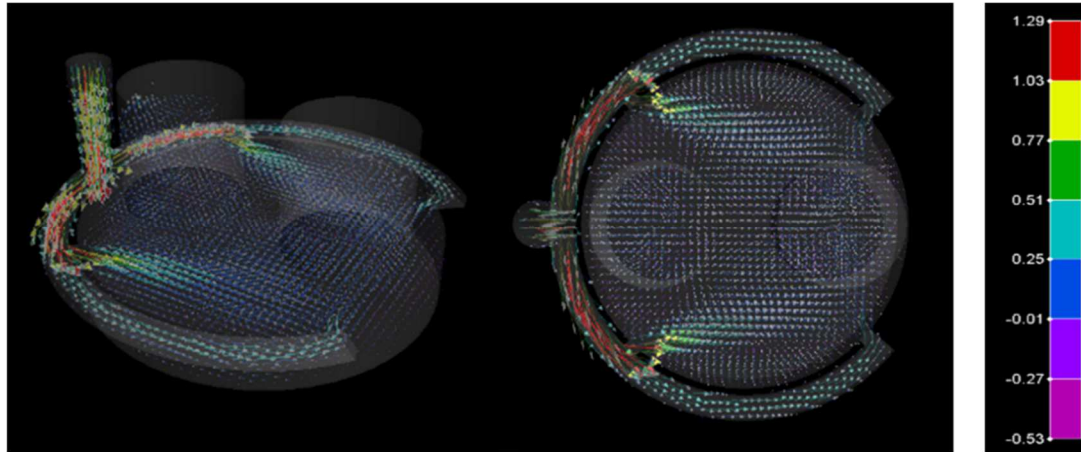
123. irudian betetze egokia egin da, isurbidetik kanalak elikatuz eta erasoetatik pieza elikatuz. Behin pieza beteta zegoela mazarotak betetzen hasi da 10 segundotan amaitu arte.



123. Irudia: 3. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

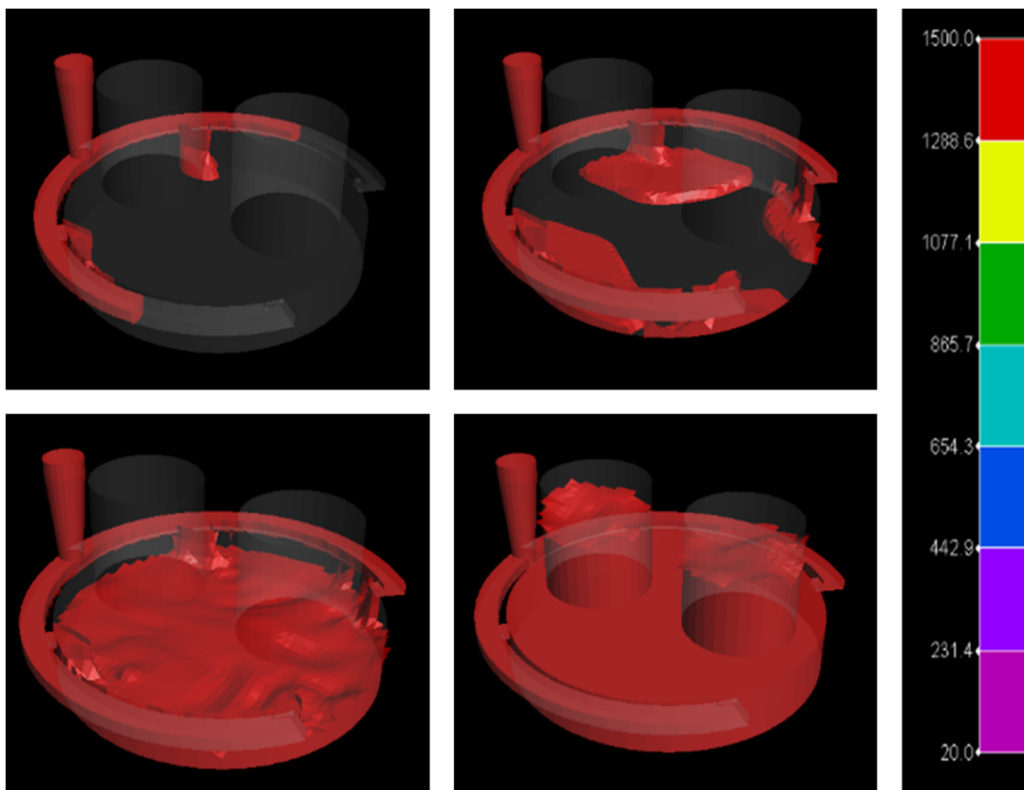
124. irudian ez da turbulentziarik nabaritu, gehieneko 1,29 m/s-ko abiadura aurkituz kanaletan eta zertxobait txikiagoa edo oso antzekoa lehenengo erasoetan. Azkenengo erasoetan abiadura txikiagoa da emaria ere txikiagoa delako.



124. Irudia: 3. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

Simulazio guztietan gertatu den bezala eta gertatuko den bezala, betetze temperatura mantendu egin da betetze osoan zehar eta solidotze goiztiarrak saihestu dira.



125. Irudia: 3. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

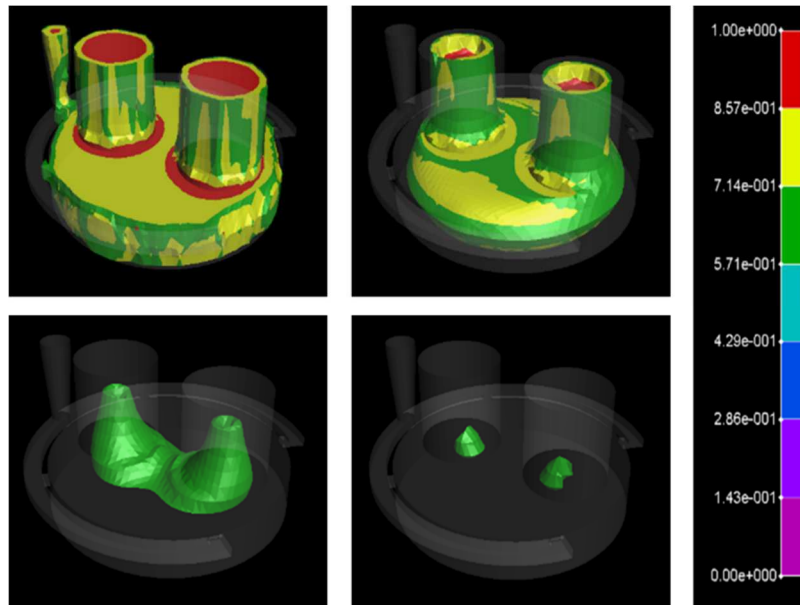
### 9.3.3.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.200 segundo inguruan egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau unek hautatu dira.

- $t_1 = 75 \text{ s}$
- $t_2 = 292 \text{ s}$
- $t_3 = 772 \text{ s}$
- $t_4 = 1.152 \text{ s}$

#### **Frakzio likidoa:**

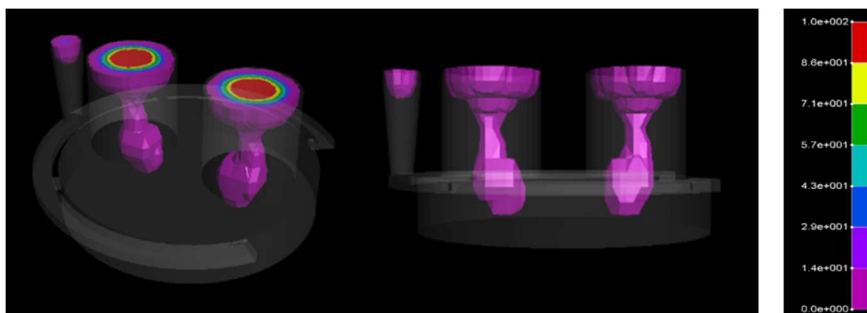
Solidotzea espero den norabidean egin da, elikatze sistema solidotuz lehendabizi eta ondoren pieza eta mazarotak. Hala ere ezbehar bat aurkitu da, solidotzen den azken frakzioa mazarota eta piezaren arteko mugan dagoelako. Hala ere, mazarotak bere funtzioa nahiko ondo betetzen du 126. Irudian ikus daitekeen bezala solidotzen den azkenengo frakzio gehiena mazaroten barruan baitago.



126. Irudia: 3. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### **Uzkurdura:**

Ezin izan da uzurdura saihestu simulazio hoberenean ere, 127. irudian ikus daitekeen bezala uzurdura piezara iritsi delako. Hala ere, uzurdura handiena mazaroten gailurrean ikus daiteke, ondoren mazarota erdian asko finduz.



127. Irudia: 3. Simulazioko uzkurduraren irudiak

## 9.2.4. SIMULAZIOA

4. simulazioan mazaroten bolumena erdira murriztu da honek daukan eragina aztertzeko. Hau dela eta, ondorengo parametroak erabili dira:

- $V_M = 1.091.036 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 72,5 \text{ mm}, \Phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

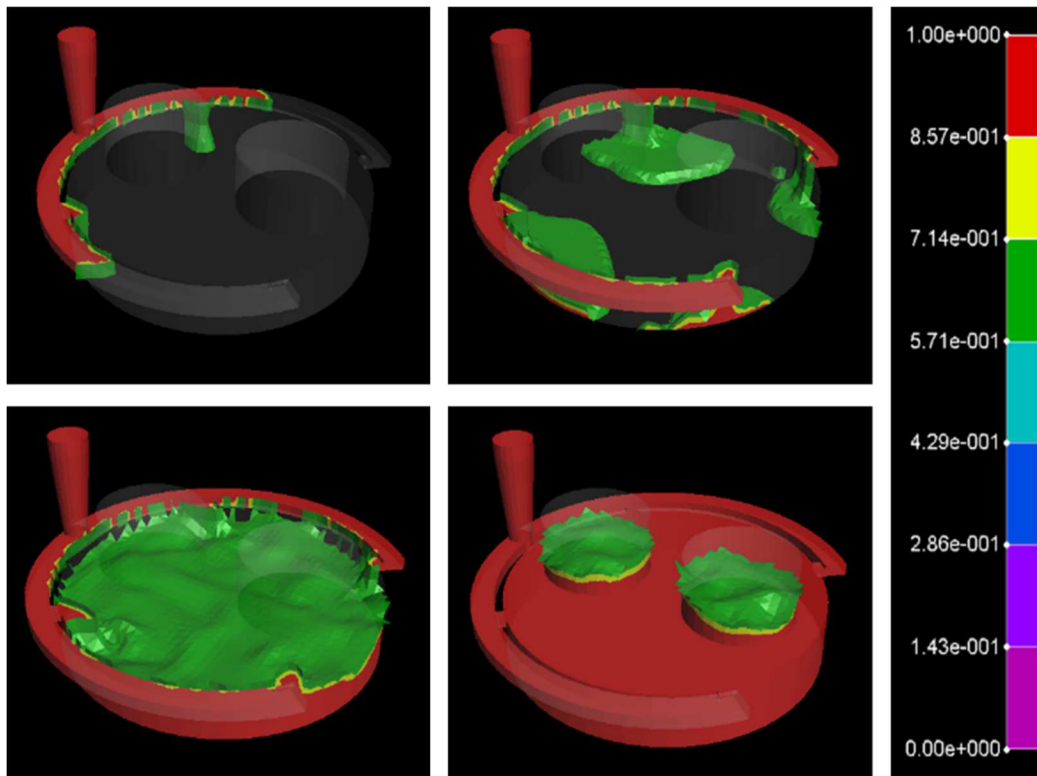
### 9.2.4.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 1,5 \text{ s}$
- $t_3 = 6 \text{ s}$
- $t_4 = 9 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

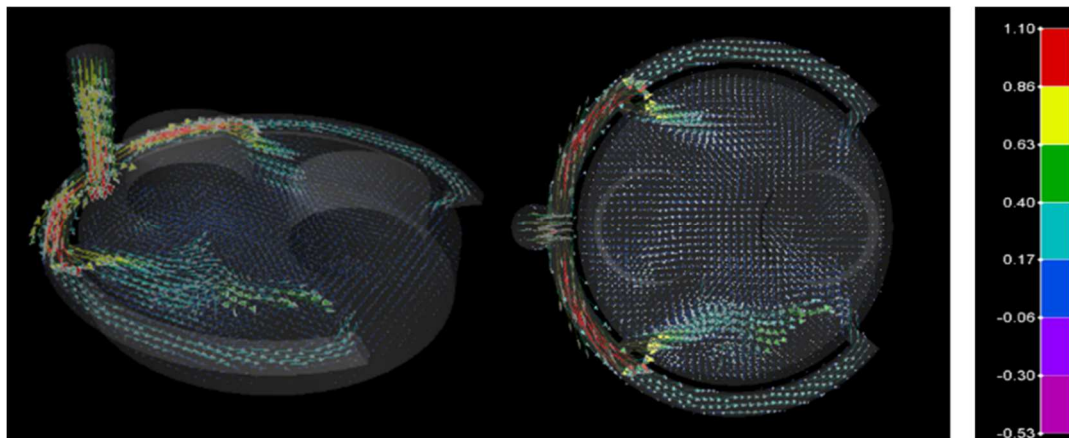
Betetzea egin behar den bezala aztertzen da 128. irudian, elikatze sistema lehendabizi eta ondoren pieza eta mazarotak. Aztertu daitekeen desberdintasun nagusia mazaroten betetzean dago, bolumena txikiagoa delako mazarotetara iristean ia bolumen osoa beteta baitago.



128. Irudia: 4. Simulazioko betetzearen irudiak

### **Abiadura:**

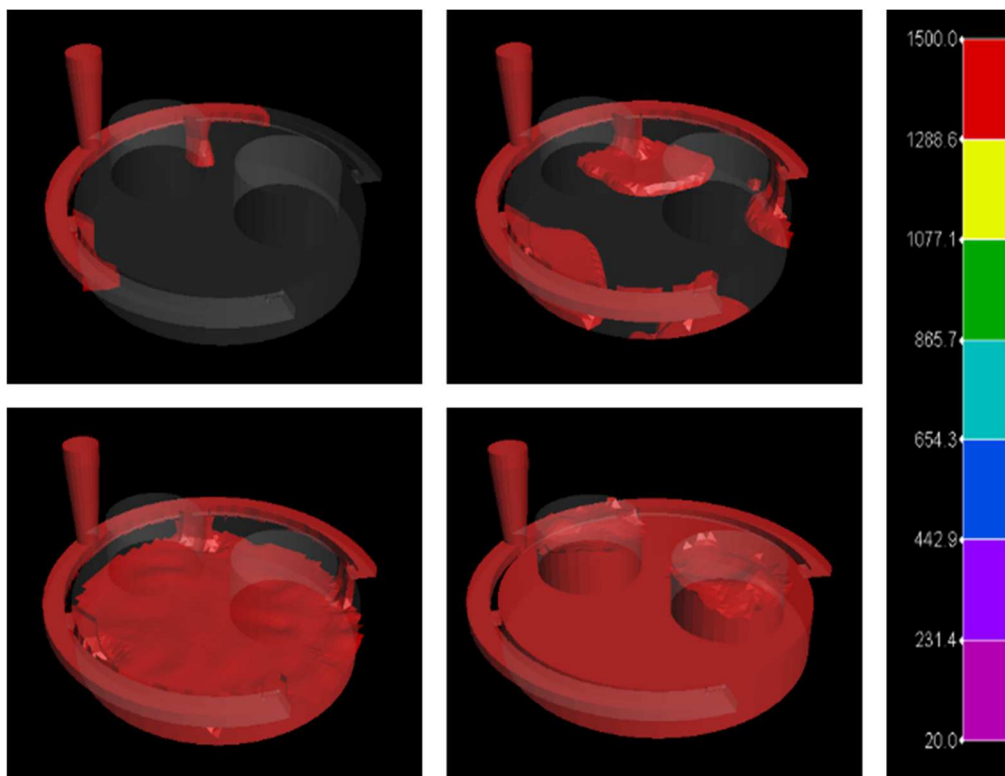
Abiaduren norabidea eta proportzionaltasuna egokia dirudi, abiadura maximoak kanaletan eta erasoetan lortuz. Ez da fluxu zurrunbilotsurik nabaritzen eta lortu den abiadura maximoa 1,1 m/s-koa izan da (129. irudian ikusgai).



129. Irudia: 4. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

### **Temperatura:**

Isurketa egiteko metalaren temperatura 1.500°C-tan mantendu da finkatu den bezala eta espero den bezala. Emaitza ikusteko jo 130. irudira.



130. Irudia: 4. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

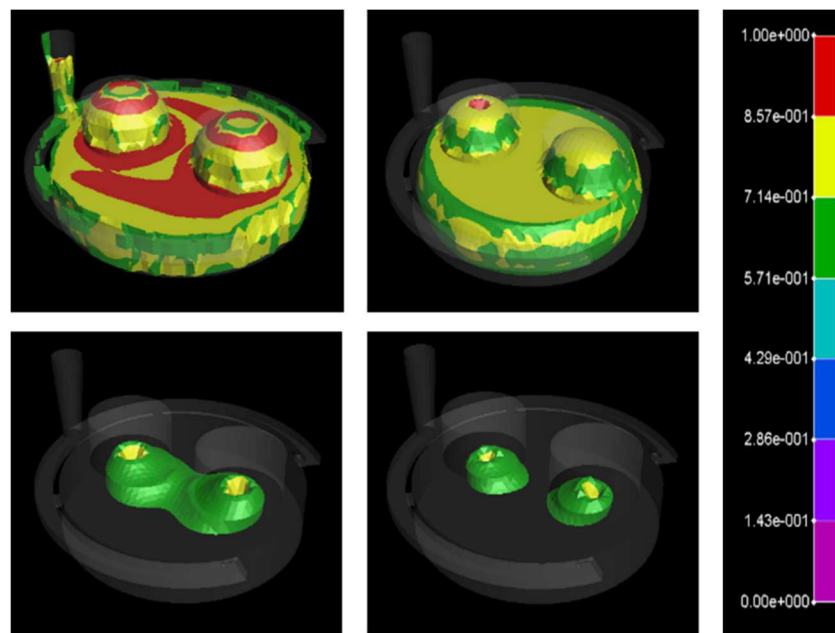
### 9.2.4.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 900-950 segundo inguruan egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 60 s$
- $t_2 = 169 s$
- $t_3 = 766 s$
- $t_4 = 876 s$

#### Frakzio likidoa:

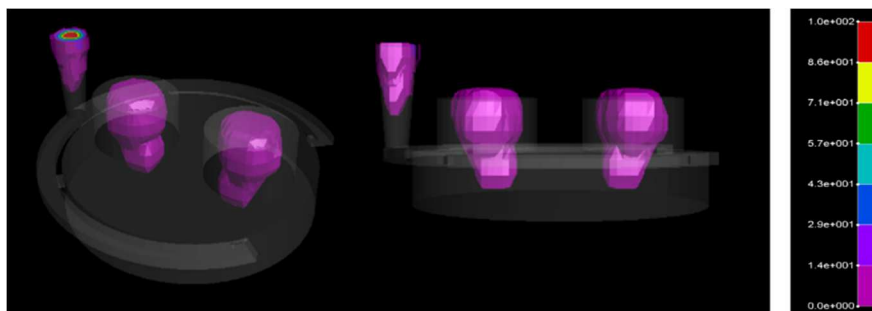
Espero zen bezala, 131. irudian mazaroten bolumena ez denez egokiena piezarekin batera solidotzen dira mazarotak, solidotzeko geratzen den azken frakzioa pieza eta mazaroten arteko mugan utziz.



131. Irudia: 4. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

Uzkurduran solidotzean aztertzen den arrazoi berdinarengatik uzurdura nahiko handia aurki daiteke mazarotetan. Mazaroten bolumena txiekiegia izategatik hauen bolumen gehiena uzurtu da, piezaren zati bat (pieza eta mazaroten muga) ere uzurtu delarik (132. irudian ikusgai).



132. Irudia: 4. Simulazioko uzurduraren irudiak

## 9.2.5. SIMULAZIOA

5. simulazioan mazaroten bolumena laurdenera murriztu da honek daukan eragina aztertzeko, nahiko argia izan arren. Hau dela eta, ondorengo parametroak erabili dira:

- $V_M = 545.518 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 36,25 \text{ mm}, \varnothing_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

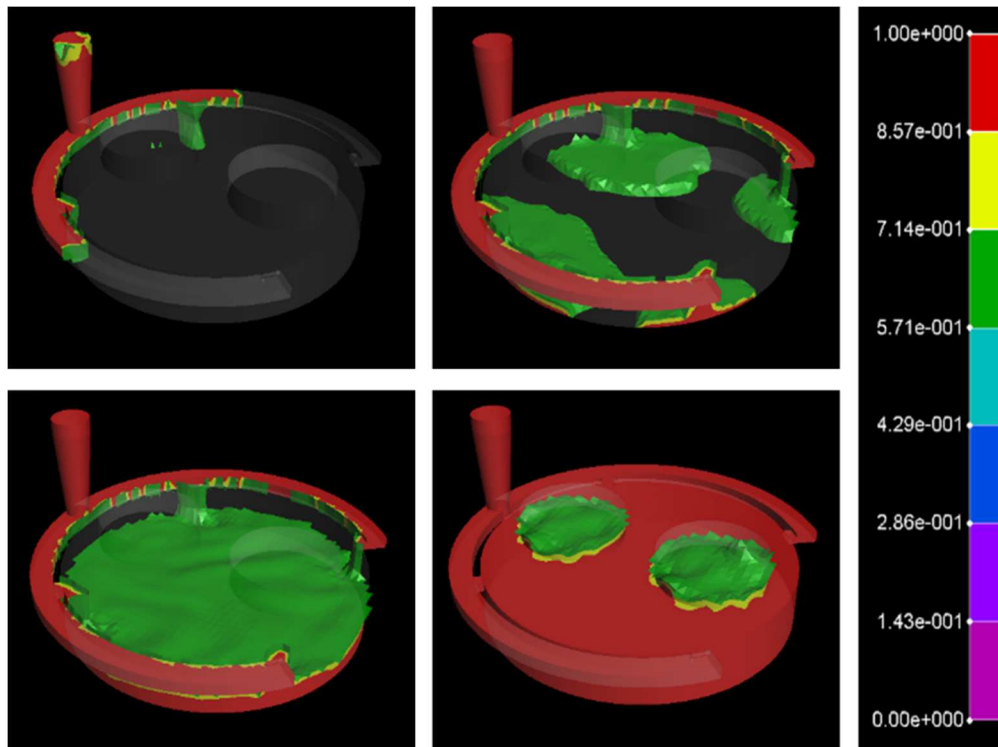
### 9.2.5.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 2 \text{ s}$
- $t_3 = 4,5 \text{ s}$
- $t_4 = 9,5 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

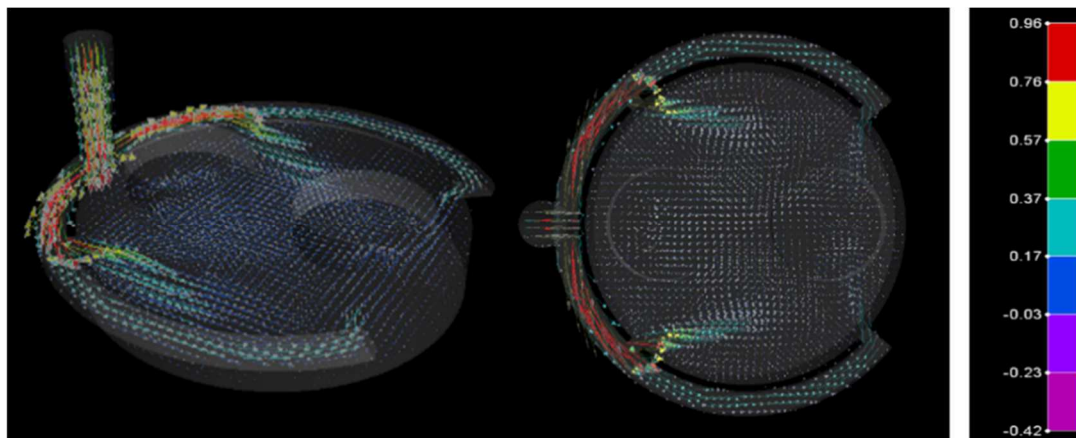
133. irudian mazaroten bolumenaren murrizketa nabari da. Piezaren betetze egokia egiten da baina mazarotak betetzen hasten denean ikusten da geometria osoaren ia bolumen gehiena beteta dagoela, mazarotak betetzeko 0,5 segundo behar ditu bakarrik. Gainera abiaduraren murrizketa nabari da betetzea 10 segundotan egiteko, gainezkabidea hasieran ez delako guztiz betetzen.



133. Irudia: 5. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

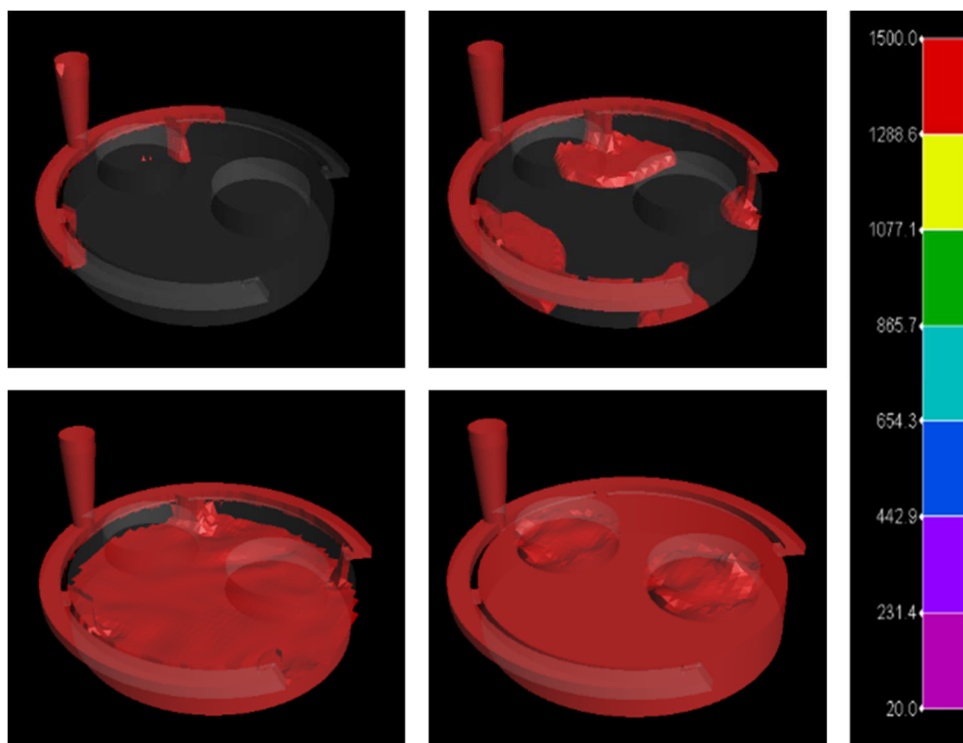
Ildo beretik jarraituz, 134. irudian betetze abiaduraren murrizketa nabari da bertan ere, lortzen den abiadura maximoa 0,96 m/s-koa izanez. Honez gain, aurreko kasu guztietan gertatzen zen bezalako portaera berdina dauka, kanaletan eta erasoetan abiadura handienak eta azken erasoetan abiadura txikiagoak lortuz.



134. Irudia: 5. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

Kasu guztietan gertatzen den moduan betetze temperatura ez da txikitzen eta 1.500°C-tan mantentzen da.



135. Irudia: 5. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)



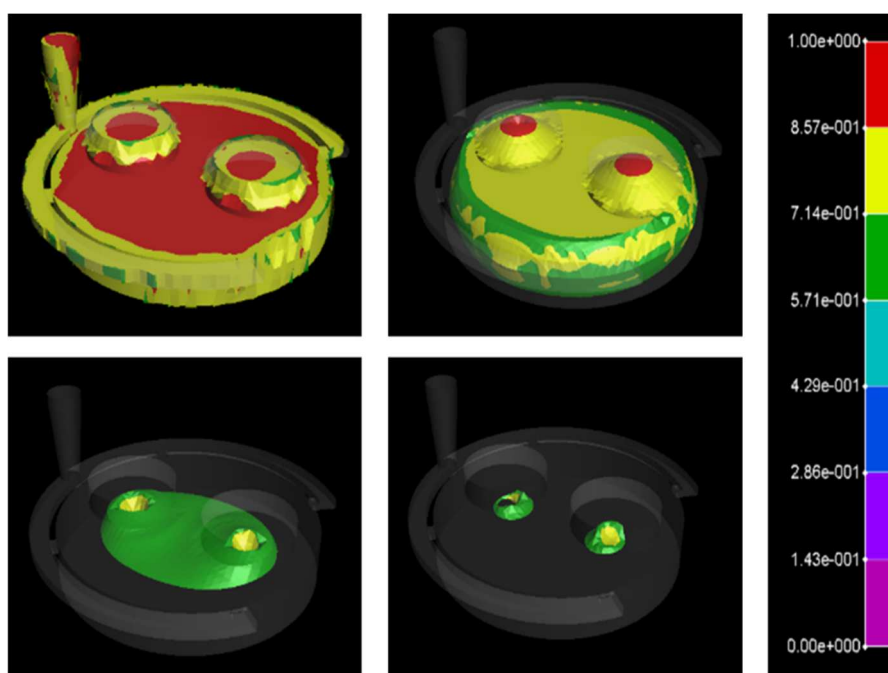
### 9.2.5.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 900 segundo inguru egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 33 \text{ s}$
- $t_2 = 162 \text{ s}$
- $t_3 = 650 \text{ s}$
- $t_4 = 840 \text{ s}$

#### Frakzio likidoa:

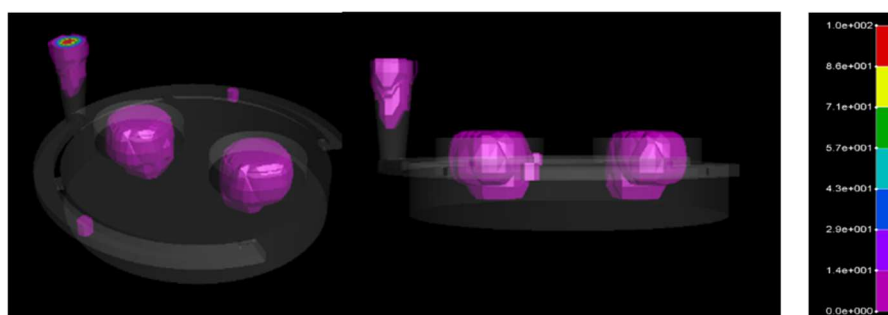
136. irudian mazarotek ez daukate ia eraginik, elikatze sistemaren ostean piezarekin batera solidotzen baita. Geratzen den solidotzeko frakzio handi bat pieza barnean dago, eta azkenengo frakzioa pieza eta mazaroten mugan dago.



136. Irudia: 5. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

Mazaroten bolumena txikiegia da eta 137. irudian ikus daiteke mazaroten ia bolumen guztia uzkuertzen dela, logikoki piezaraino iritsiz. Gainera, eragin handia izan ez arren, kanaletan ere uzkuertura txikia nabari daiteke eta isurbidean handiagoa den uzkuertura.



137. Irudia: 5. Simulazioko uzkuerturaren irudiak

## 9.2.6. SIMULAZIOA

Mazaroten bolumen egokiena aztertuko da, baina aldatuko dena hauen kokapena eta mazaroten arteko distantzia handiegia izango dira. Izango dituen ezaugarriak hauek dira:

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

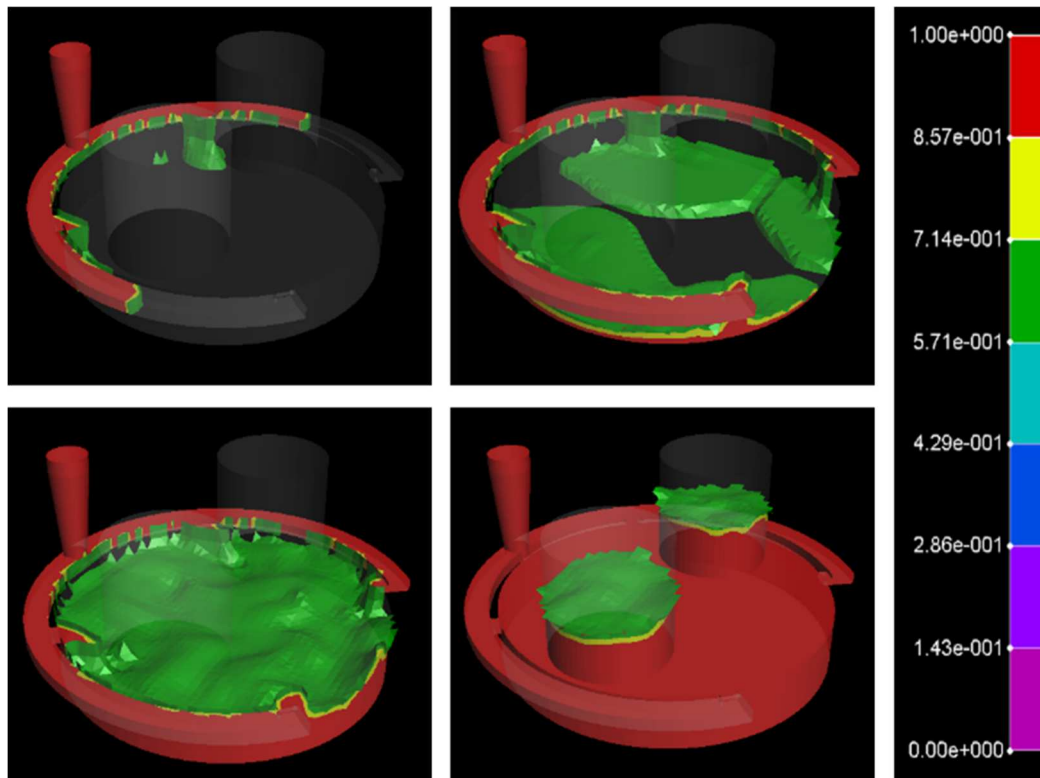
### 9.2.6.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 2 \text{ s}$
- $t_3 = 5 \text{ s}$
- $t_4 = 8,6 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

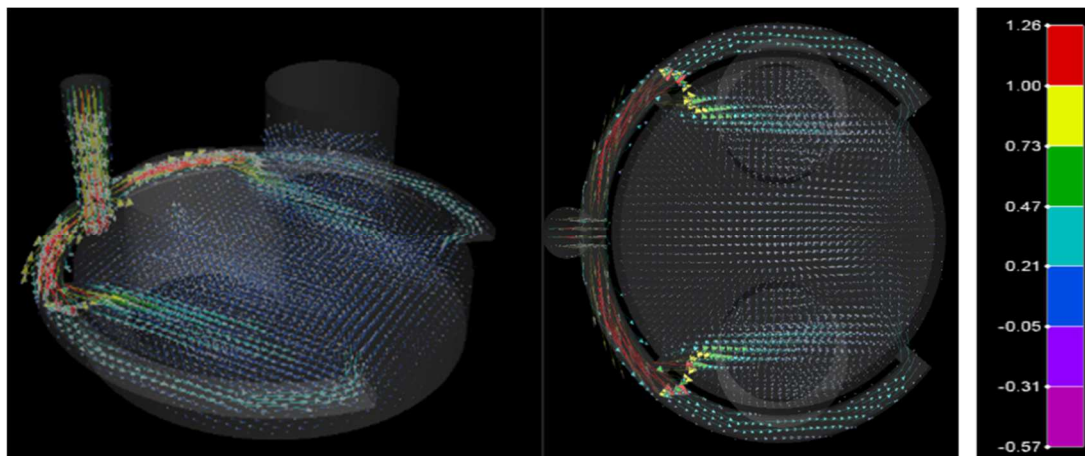
138. irudiko betetzean ez da arazorik nabaritzen, diseinatutako bidea jarraitzen du (isurbidetik kanaletara eta erasoetatik piezara) metalak eta betetzen diren azkenak mazarotak dira, hauen kokapen eta altuera dela eta.



138. Irudia: 6. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

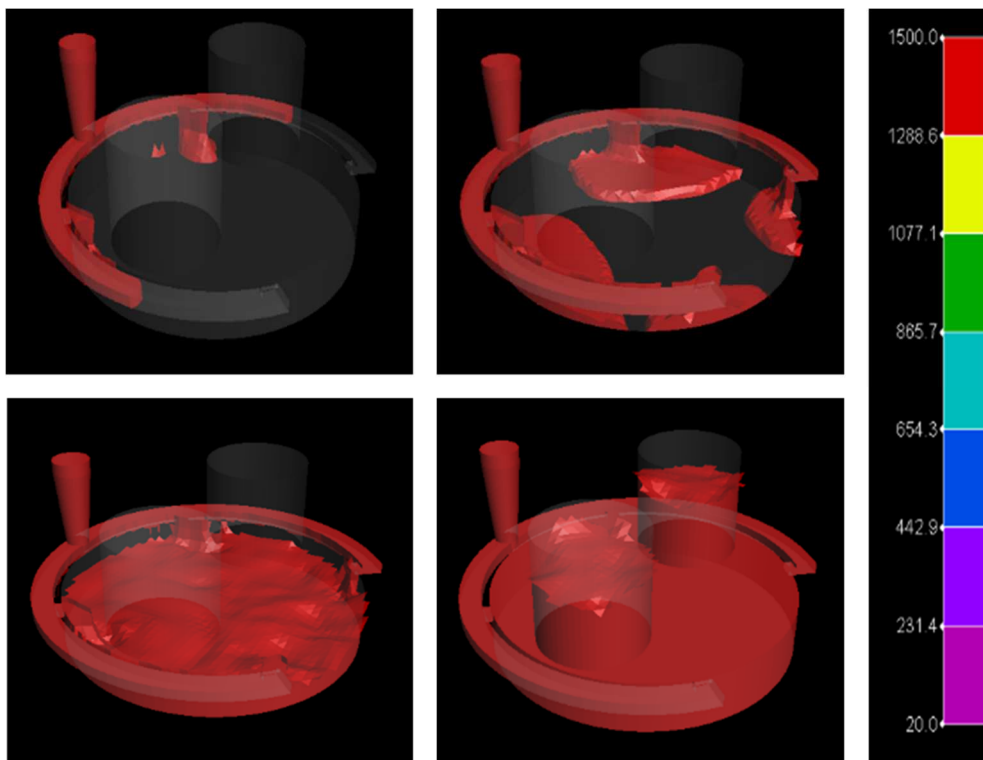
139. irudian abiadura handienak kanaletan eta erasoetan ikus daitezke (sekzioengatik), eta nola azkenengo erasoetan abiadura txikiagoa den iristen den emariagatik. Lortzen den abiadura maximoa 1,26 m/s-koa da eta ez da fluxu zurrunbilotsurik nabari, beraz emaitza ona dirudi.



139. Irudia: 6. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

Simulazio guztietan gertatzen den fenomeno bera azter daiteke, betetzean temperatura ez dela 1.500°C-tik jaitsi.



140. Irudia: 6. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

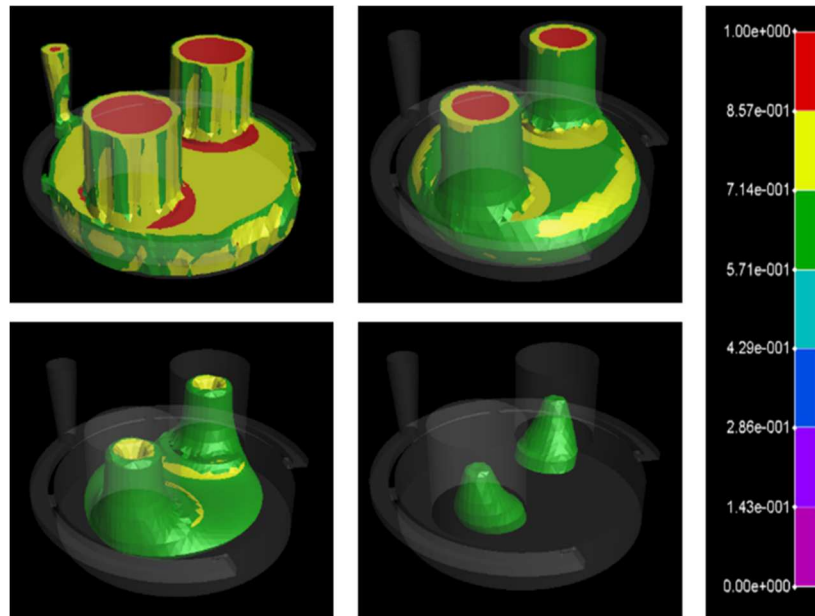
### 9.2.6.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 900 segundo inguruan egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 37 s$
- $t_2 = 243 s$
- $t_3 = 503 s$
- $t_4 = 863 s$

#### Frakzio likidoa:

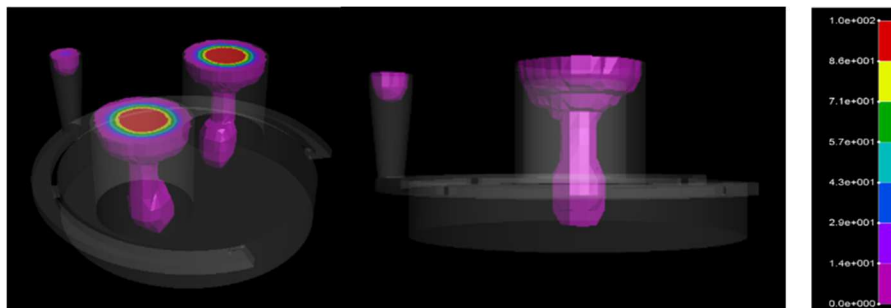
Solidotzeak nahiko zuzena dirudi 141. irudiko azken bi irudietara iritsi arte, non mazarotzen arteko distantzia handiegia nabaritzen den. Erraz ikus daiteke izkinetatik hurbilegi daudela eta ez dutela piezaren erdigunean eragin handirik, solidotzeko geratzen den frakzio handia aurkituz. Hala ere, hau ase ostean geratzen den frakzio gehiena mazarotzetan geratzen da, amaitzeko azken frakzio kasu guztietan bezala pieza eta mazarotzen arteko mugan aurkituz.



141. Irudia: 6. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

Uzkurdura oso handia ematen da mazarotzen gailurretan eta mazarotzen altuera murriztu heinean uzurdura finduz doa piezara iritsi arte, berriz ere loditu egiten da eta piezaren eragiten du (142. irudian ikusgai).



142. Irudia: 6. Simulazioko uzkurduaren irudiak

## 9.2.7. SIMULAZIOA

Mazaroten eragina aztertu ostean betetze denborak aztertuko dira, 7. simulazioan 23 segundoko betetze denbora erabiliz eta ondoren ikus daitezkeen ezaugarriekin.

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

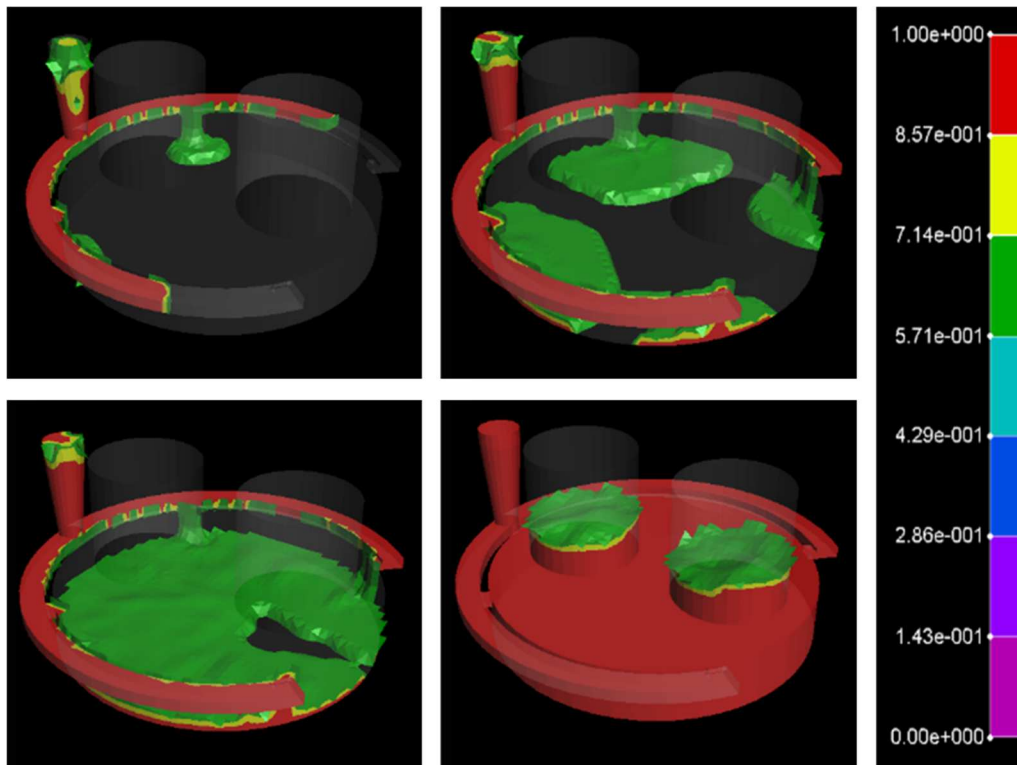
### 9.2.7.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 23 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 1,2 \text{ s}$
- $t_2 = 3,5 \text{ s}$
- $t_3 = 15 \text{ s}$
- $t_4 = 18,5 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

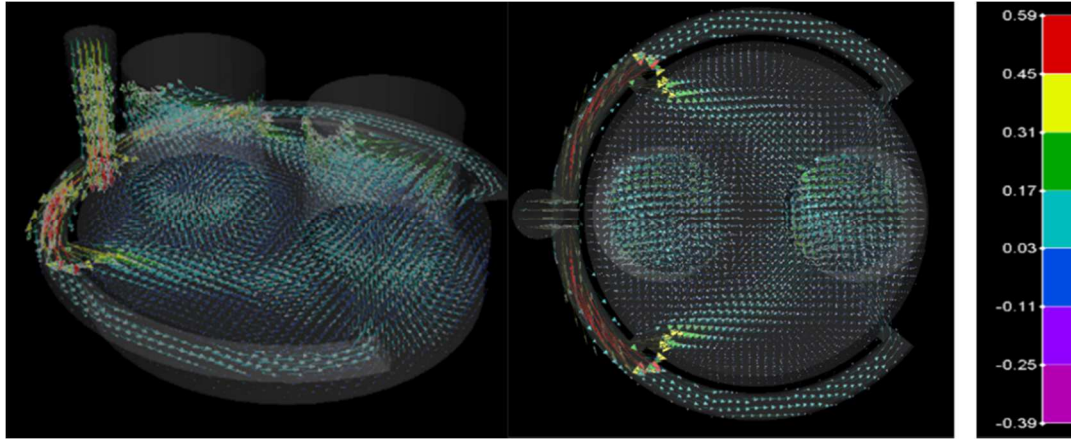
Betetzea espero den eran egin da, lehendabiziko erasoetatik sartuz piezara eta ondoren bigarren erasoetatik, azkenik mazarotak betetzeko. Aztertu daiteke gainezkabidea ez dela hasieratik betetzen eta isurbidea azken momentu arte ez dela betetzen (143. irudira jo).



143. Irudia: 7. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

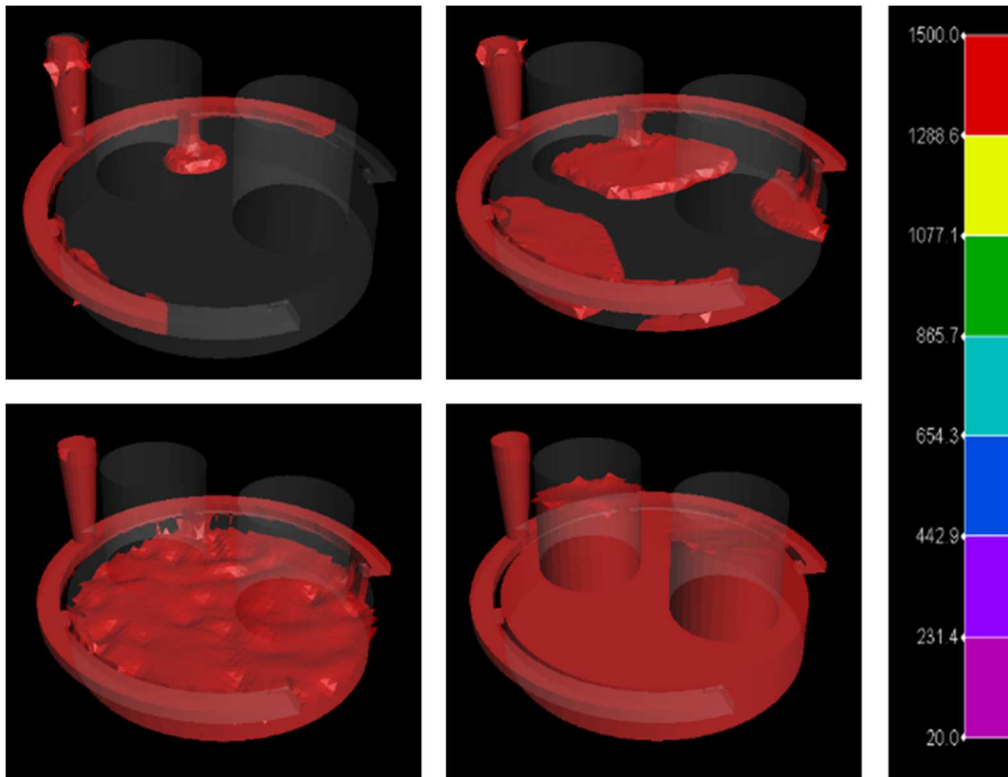
Betetze abiadura murriztu denez, pieza barruan aurki daitekeen abiadura maximoa baita ere, hain zuzen ere 0,59 m/s-ra. Bestela betetze norabidea, abiadura maximoen kokapena eta emari murrizketaren eragina lehenengo erasoetatik aurrera aurreko simulazioetan bezalako da 144. irudian ikus daitekeenez. Ez da fluxu zurrunbilotsurik nabari.



144. Irudia: 7. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

1.500°C-ko isurtze temperatura ez da aldatzen betetzean eta solidotze goiztiarrak saihesten dira.



145. Irudia: 7. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

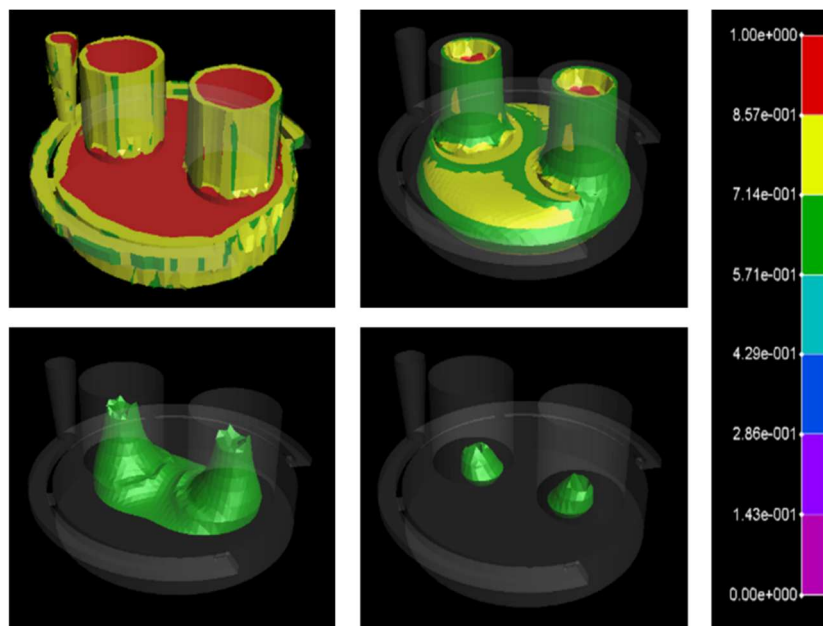
### 9.2.7.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.100 segundo inguruan egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 56 s$
- $t_2 = 318 s$
- $t_3 = 708 s$
- $t_4 = 1.058 s$

#### Frakzio likidoa:

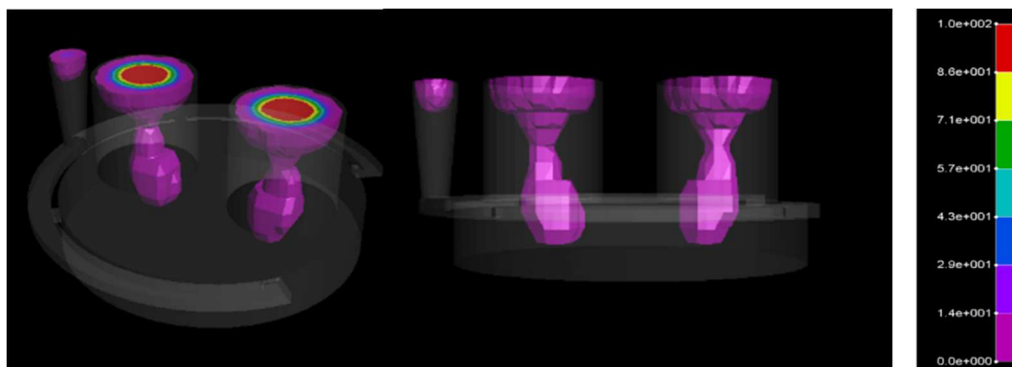
Solidotzea era egokian egiten da 146. irudiko beheko uneetara iritsi arte, solidotzeko geratzen den frakzio txiki bat aurki daitekeelako pieza barruan mazarotak solidotzen dauden momentuan. Gainera azkenengo zatia pieza eta mazarotaren arteko mugan dago.



146. Irudia: 7. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

147. irudiko uzkurduraren zatirik handiena mazarotaren goiko aldean ematen da, erdian zertxobait finduz eta piezara eltzean berriz lodituz eta pieza kaltetuz.



147. Irudia: 7. Simulazioko uzkurduraren irudiak

## 9.2.8. SIMULAZIOA

Mazaroten eragina aztertu ostean betetze denborak aztertuko dira, 7. simulazioan 23 segundoko betetze denbora erabiliz eta ondoren ikus daitezkeen ezaugarriekin.

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

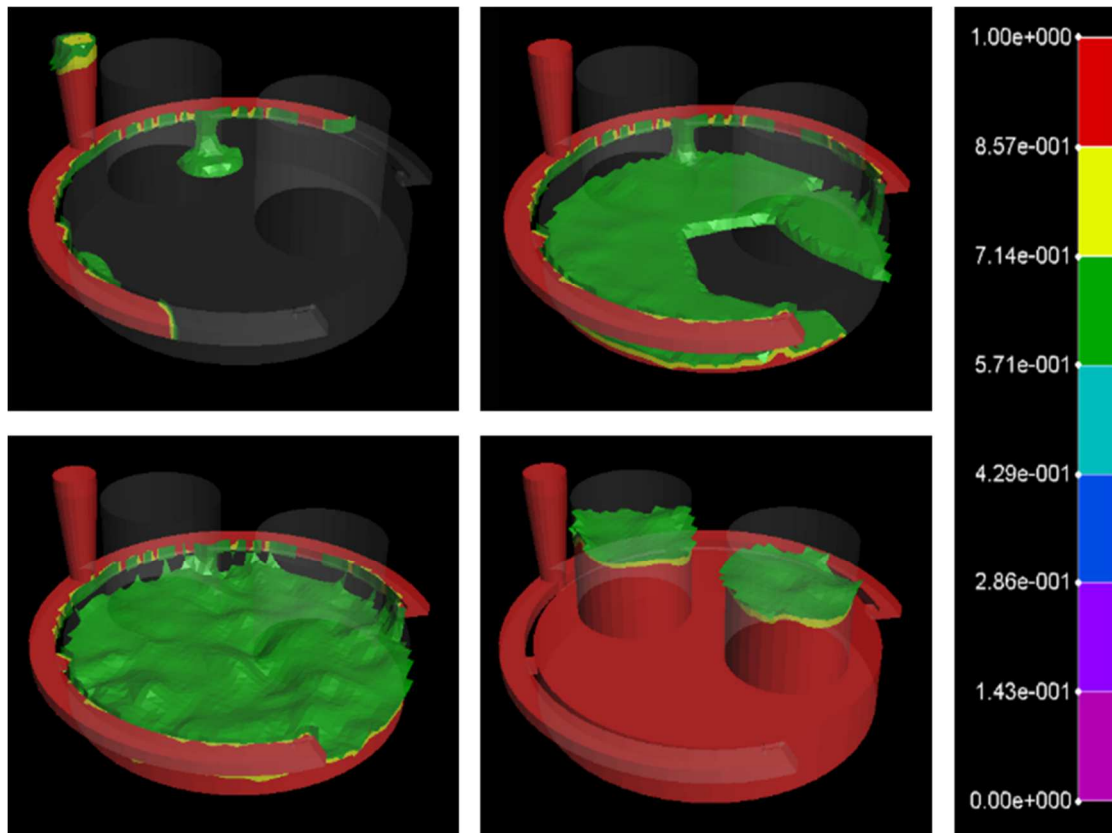
### 9.2.8.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 33 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 1,5 \text{ s}$
- $t_2 = 6,5 \text{ s}$
- $t_3 = 13 \text{ s}$
- $t_4 = 29,5 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

148. irudiko logikoa dirudi, isurbidetik kanalak betez, pieza lehenengo erasoetatik betetzen hasteko. Bigarren erasoetara iristean pieza guztia betetzen hasten da mazarotak bete arte. Gainezkabidea ez da guztiz betetzen hasieratik, beranduago betetzen da guztiz.

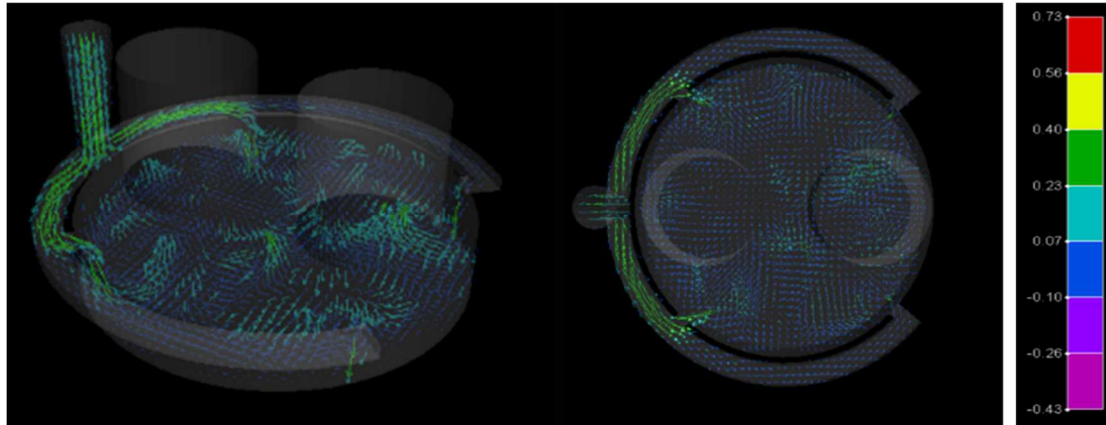


148. Irudia: 8. Simulazioko betetzearen irudiak



**Abiadura:**

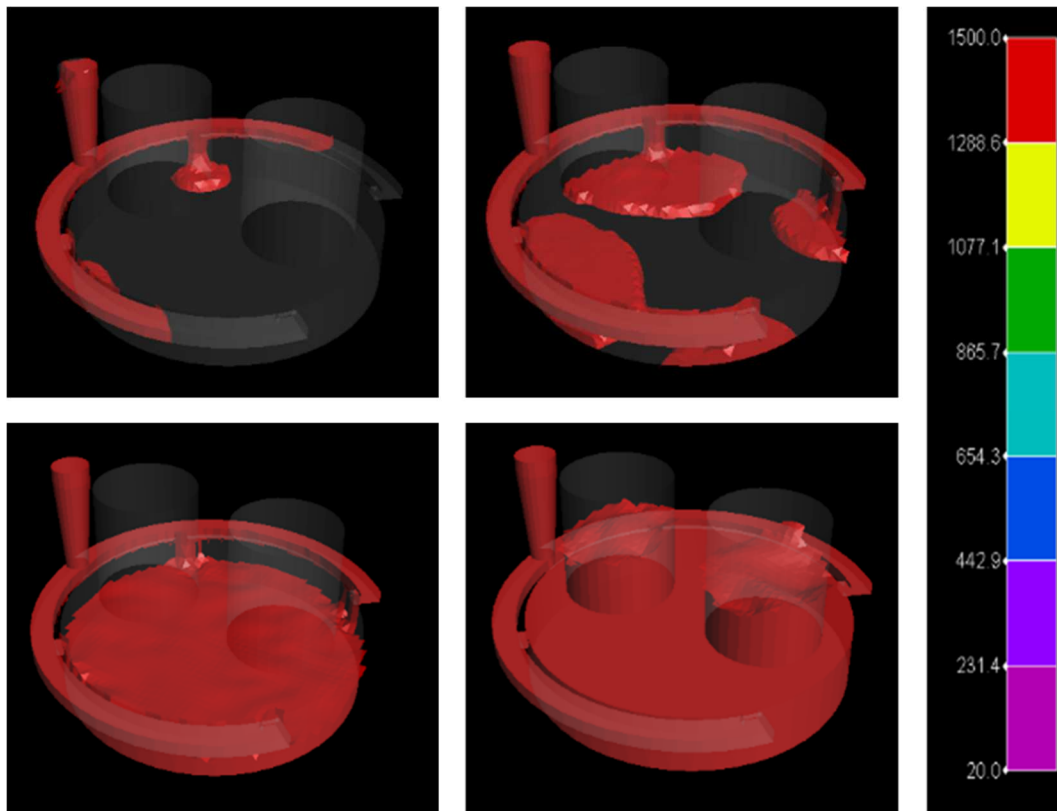
Betetze abiadura txikiagoa denez, abiadura maximoa ere (0,4 m/s-koa 149. irudian). Kanaletan ematen da eta lehenengo erasoetatik igarotzean emaria txikitzen da eta kanaleko abiadura baita ere. Amaitzeko, fluxuak laminarra dirudi.



149. Irudia: 8. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

Isurketa egiteko metalaren temperatura 1.500 °C-koa izango dela finkatu da, eta temperatura hau betetze osoan mantendu behar da solidotze goiztiarrak agertu ez daitezten.



150. Irudia: 8. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

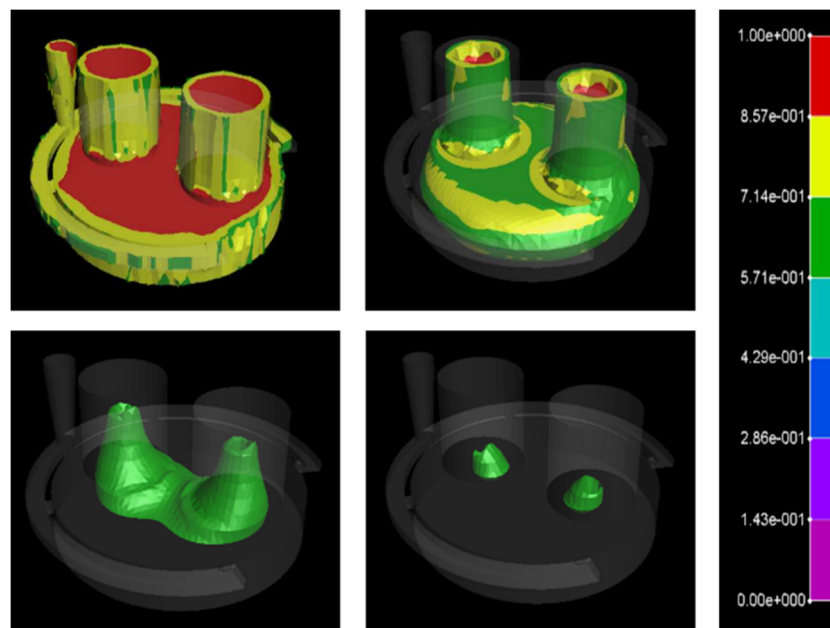
### 9.2.8.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.100-1.150 segundo inguruan egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau unek hautatu dira.

- $t_1 = 65 \text{ s}$
- $t_2 = 278 \text{ s}$
- $t_3 = 738 \text{ s}$
- $t_4 = 1.098 \text{ s}$

#### Frakzio likidoa:

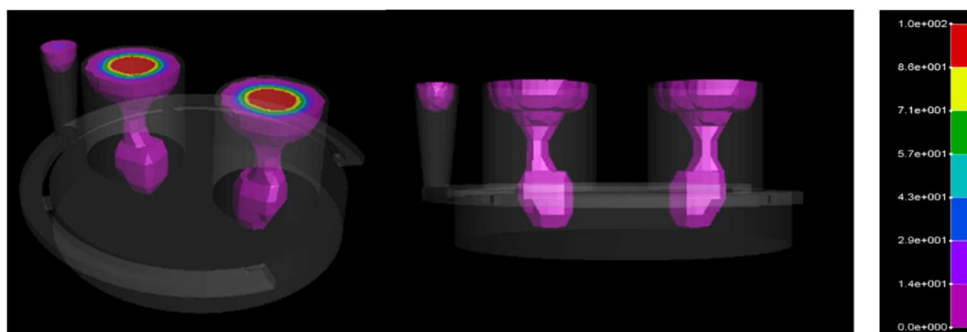
Elikatze sistema da solidotzen lehena, ondoren pieza solidotzen hasteko. Azkenik mazarotak izan beharko lirateke baina mazarotak solidotzen doazen heinean oraindik frakzio bat pieza barnean dago, guztiz solidotzen dagoenean azken frakzioa pieza eta mazaroten mugan geratuz (151. irudian ikusgai).



151. Irudia: 8. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

Ez da uzurdura saihestu mazarota egokiak erabiliz, uzurdura piezara iritsi baita mazarotan behera zihoan heinean findu arren, 152. irudian ikus daitekeen bezala.



152. Irudia: 8. Simulazioko uzkurduraren irudiak

## 9.2.9. SIMULAZIOA

Betetze denborak analizatu ostean sekzio desberdinak aztertuko dira, lehendabiziko honetan PXP-ko sekzioa erabiliz kanal eta erasoetan ondorengo ezaugarriekin:

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

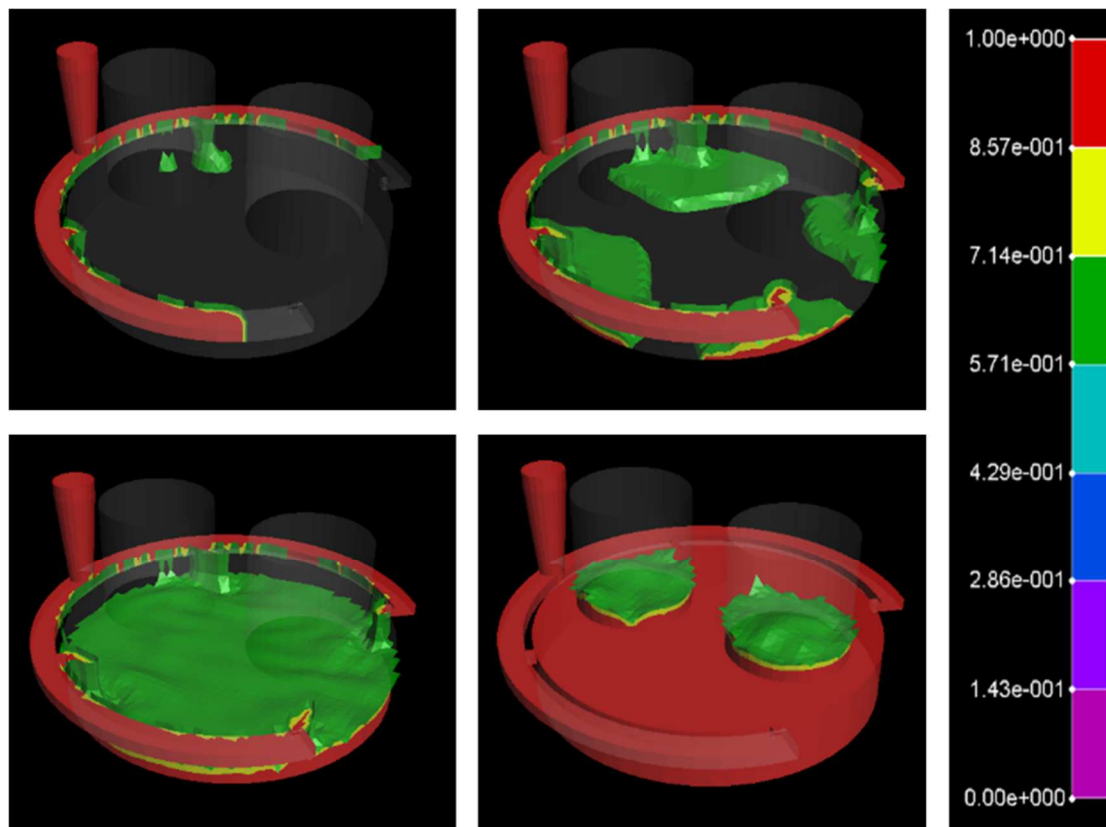
### 9.2.9.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 2 \text{ s}$
- $t_3 = 3,5 \text{ s}$
- $t_4 = 7,5 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

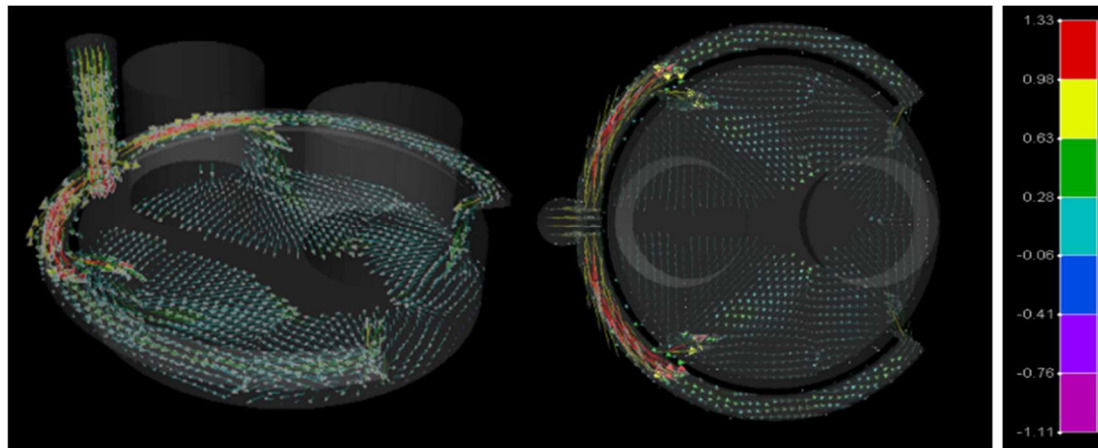
Betetzea espero den norabidean egin da 153. irudian, betetzea fokalagoa dela nabaritzuz erasoetan (erasoen zabalera txikiagoa da eta izkinaren zati txikiagoa betetzen du). Beste guztia espero den moduan egiten da eta azkenik betetzen direnak mazarotak dira.



153. Irudia: 9. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

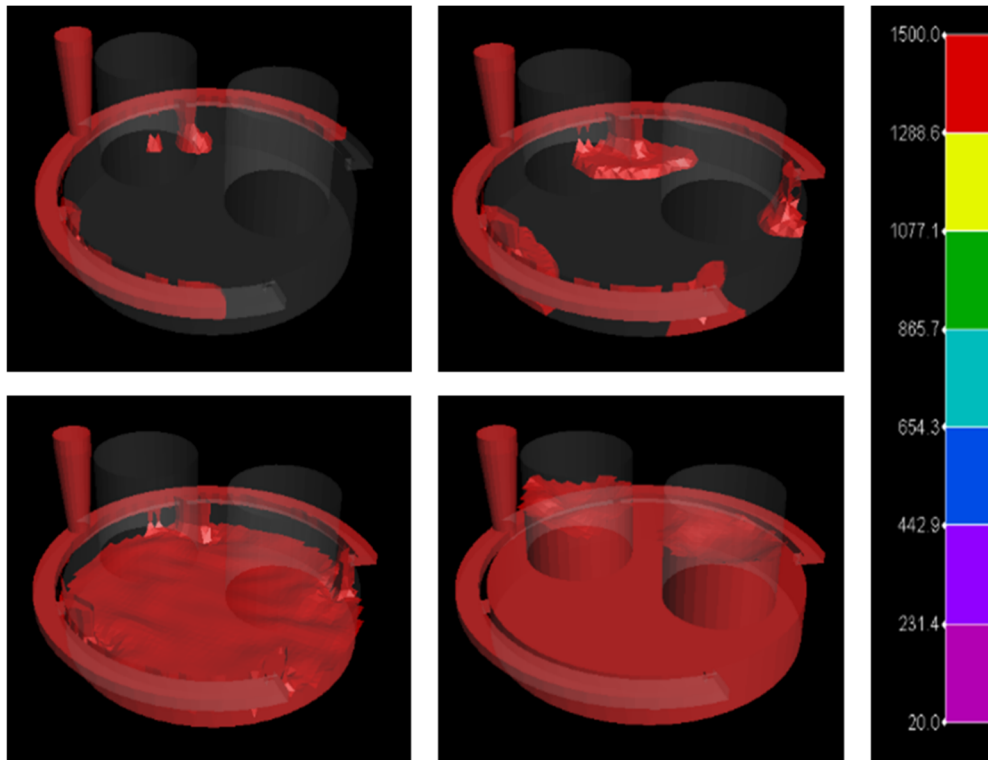
154. irudian abiadura maximoa kanalen erdialdean aurkitzen dira (paretetan zertxobait txikiagoa da), hain zuzen ere 1,33 m/s-koa. Lehen erasoetan ere abiadura maximoa ematen da eta bertatik igaro ostean emaria txikiagoa denez kanaletan eta azken erasoetan abiadura txikiagoa da. Ez da abiadura zurrunbilotsurik aurkitu.



154. Irudia: 9. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

Simulazio guztietan gertatzen den fenomeno bera azter daiteke, betetzean temperatura ez dela 1.500°C-tik jaitsi.



155. Irudia: 9. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

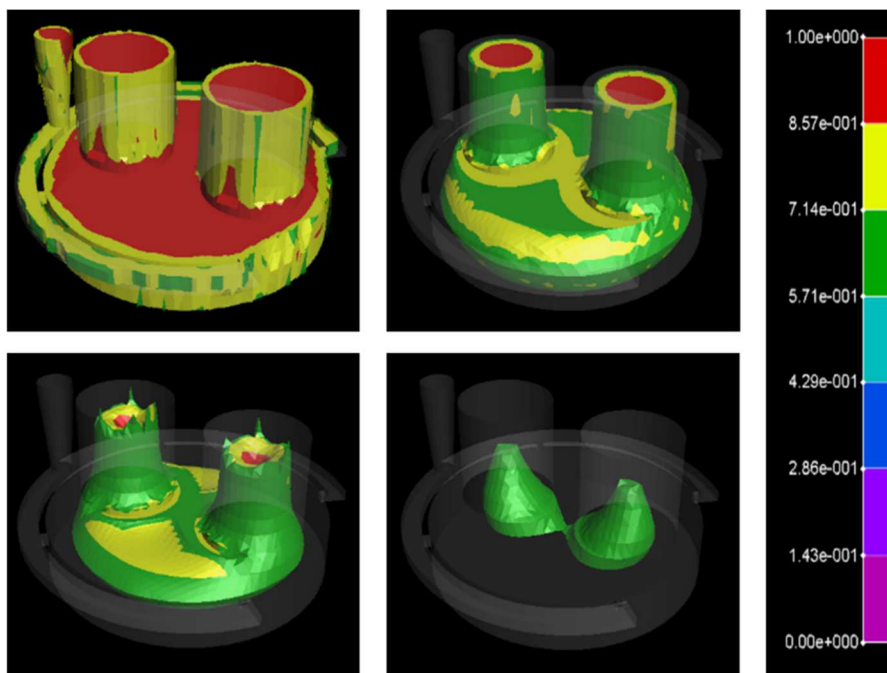
### 9.2.9.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.200 segundo inguruan egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 37 s$
- $t_2 = 244 s$
- $t_3 = 884 s$
- $t_4 = 1.154 s$

#### Frakzio likidoa:

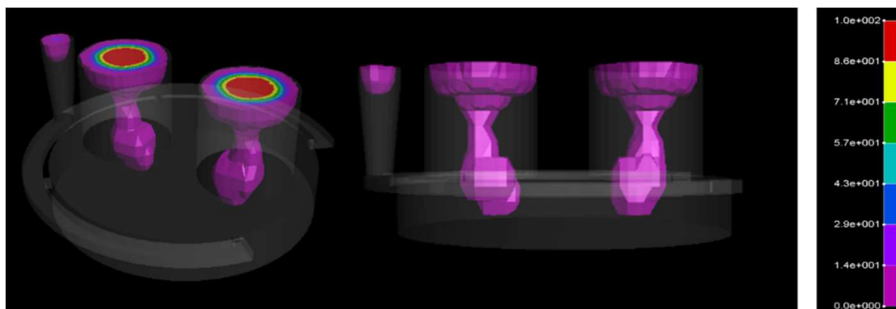
156. irudian betetzea ondo egiten da lehenengo momentuan (elikatze sistema solidotuz) baina mazarotak bakarrik solidotzeko geratzen direnean oraindik frakzio txiki bat aurki daiteke piezan. Gainera zati hau da solidotzen azkena, pieza eta mazaroten artean aurkitzen dena.



156. Irudia: 9. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

157. irudian uzurdura aurkitzen da pieza barruan eta uzurdura handiena mazaroten kontrako aldean ematen da., bitarteko zatian uzkurduarik finena aurkituz.



157. Irudia: 9. Simulazioko uzkurduaren irudiak

## 9.2.10. SIMULAZIOA

Betetze denborak analizatu ostean sekzio desberdinak aztertuko dira, lehendabiziko honetan 3PXP-ko sekzioa erabiliz kanal eta erasoetan ondorengo ezaugarriekin:

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

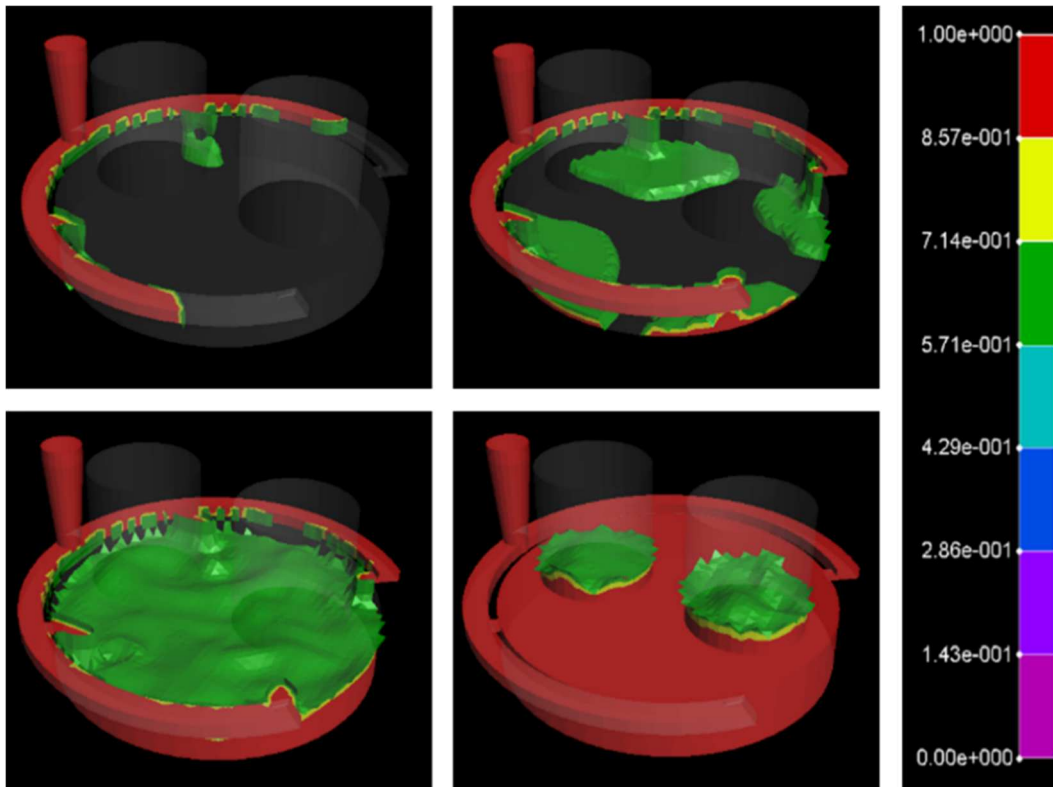
### 9.2.10.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 2 \text{ s}$
- $t_3 = 5 \text{ s}$
- $t_4 = 7,5 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

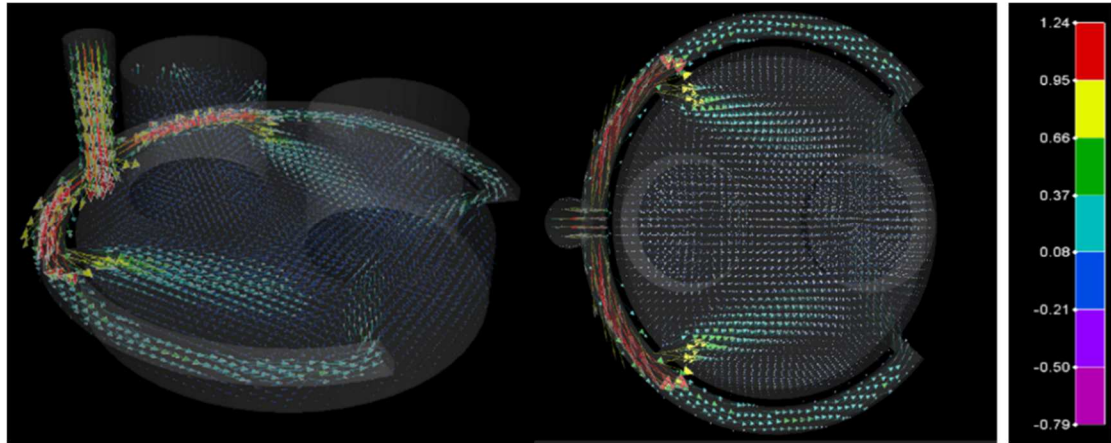
Isurbidetik igaro ostean kanalak bete dira, ondoren erasoetatik pieza elikatzeko (2 pausotan, lehendabizi hurbilen erasoak erabiliz). 158. irudian azter daiteke betetzea nahiko uniformea dela, piezaren barrunbea uniformeki betetz mazarotak betetzen amaitzeko.



158. Irudia: 10. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

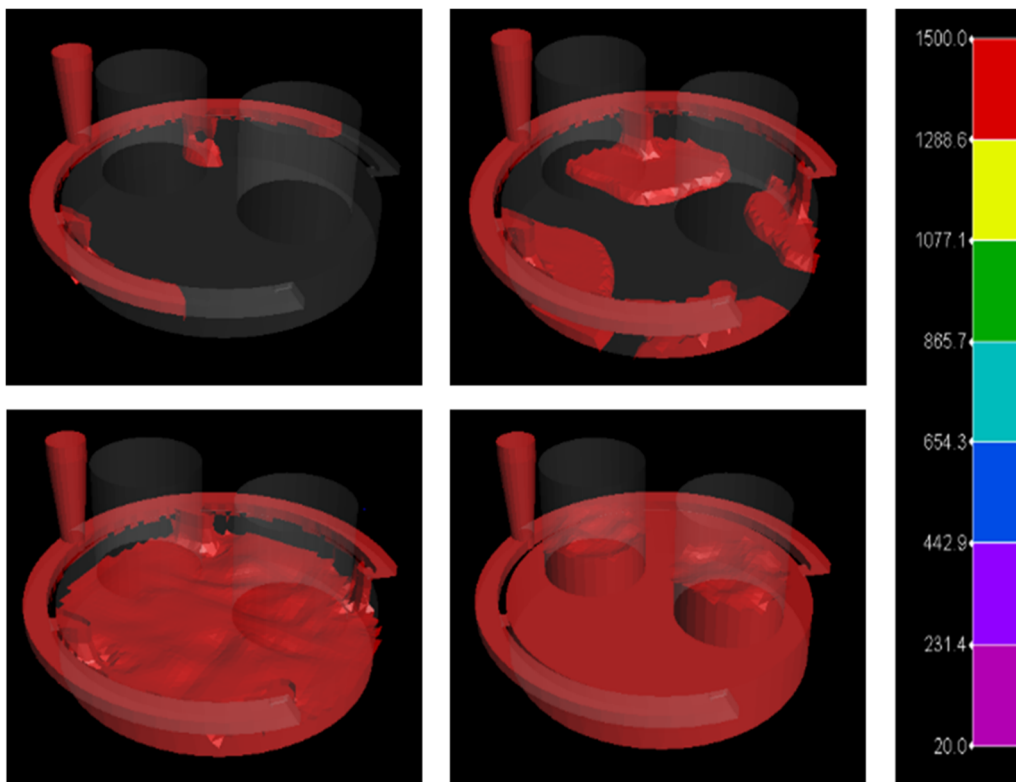
159. irudian espero den moduan kanaletan eta hasierako erasoetan eman da abiadura handiena (1,24 m/s), fluxu zurrunbilotsu gabe eta abiadura murrizketarekin lehenengo erasoak igaro ostean.



159. Irudia: 10. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

Simulazio guztietan gertatu den bezala eta gertatuko den bezala, betetze temperatura mantendu egin da betetze osoan zehar eta solidotze goiztiarrak saihestu dira.



160. Irudia: 10. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

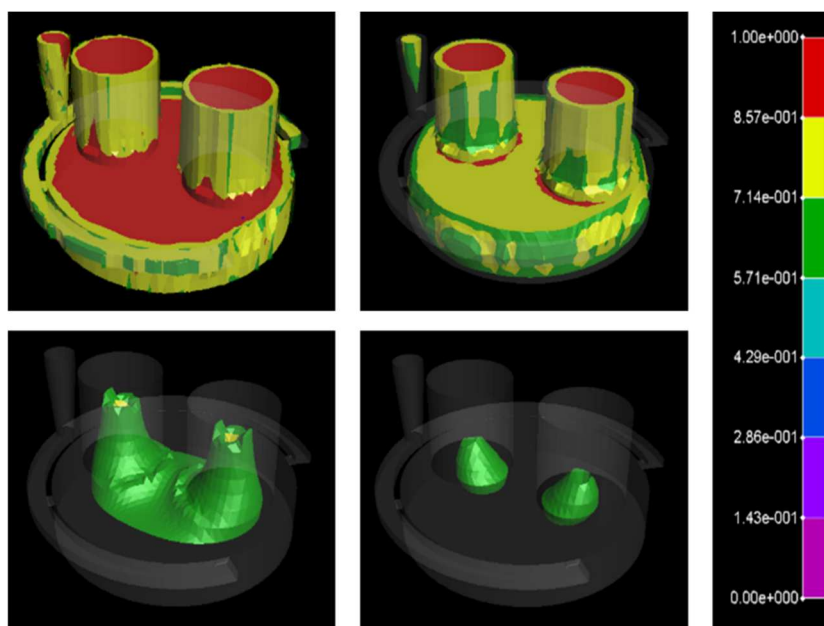
### 9.2.10.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.000 segundotik gora egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau unek hautatu dira.

- $t_1 = 37 s$
- $t_2 = 110 s$
- $t_3 = 674 s$
- $t_4 = 1.004 s$

#### Frakzio likidoa:

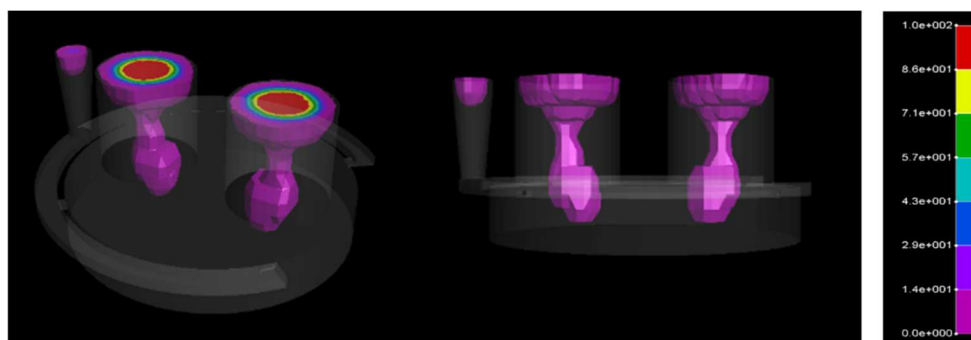
Solidotzea normala dirudi mazarotak solidotzeko unea iritsi arte (161. irudia ikusi), mazarotak solidotzen daudela oraindik frakzio likido handi bat aurki daitekeelako piezan. Gainera solidotzen den azkena pieza eta mazaroteren mugan dago.



161. Irudia: 10. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

Mazarotek ez dute euren lan guztia bete, haiek uzkurtzeaz gain uzkurdura piezaraino iritsi delako. Gainera nahiko zati handi baten, erdi bitarteko zatian uzkurdura nahiko fina izan arren.



162. Irudia: 10. Simulazioko uzkurduraren irudiak



### 9.2.11. SIMULAZIOA

Amaitzeko eraso kopuruaren eragin aztertuko da oraingo honetan 3 eraso erabiliz kanal bakoitzeko, ondorengo ezaugarriak izango dituelarik:

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

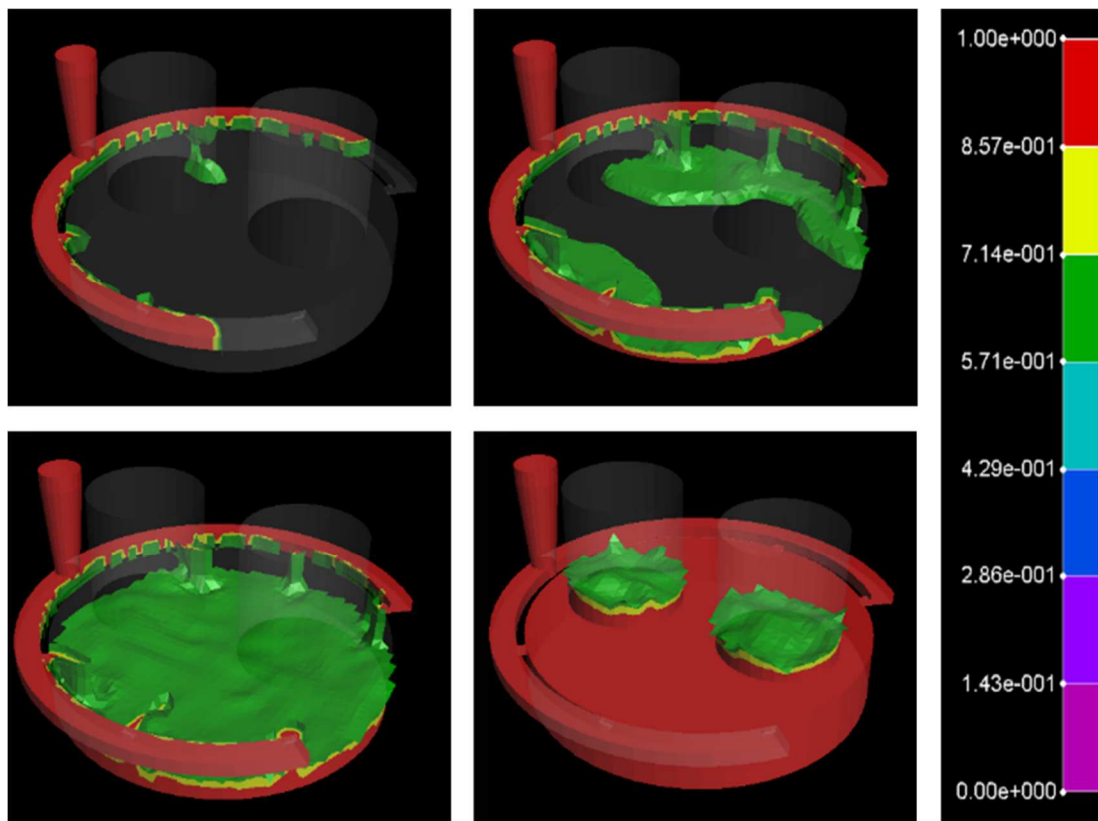
#### 9.2.11.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 2 \text{ s}$
- $t_3 = 3,5 \text{ s}$
- $t_4 = 7,5 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

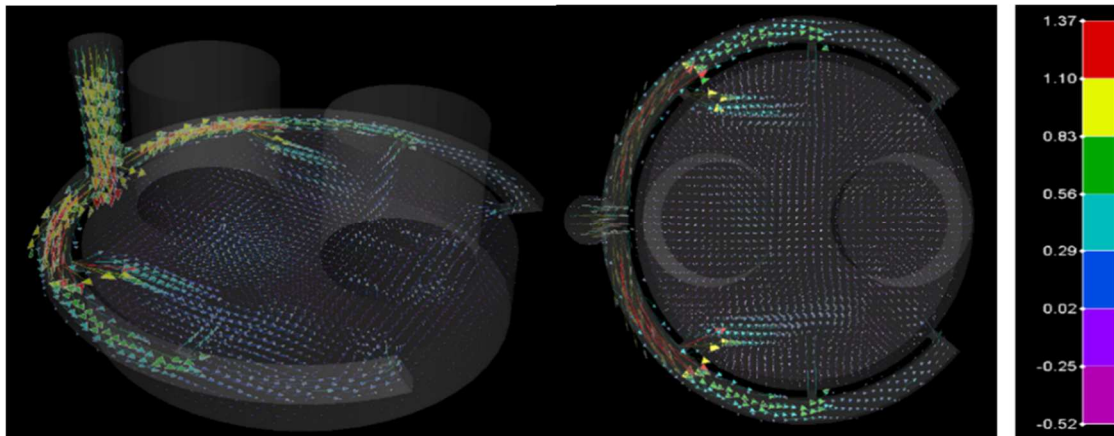
Pareten betetzea era uniformean egiten da 3 erasorekin, kanaletatik igaro ostean piezaren izkina guztia betez. Lehenengo geruza bete ostean era egokian igotzen da metalaren maila mazarotak bete arte (163. irudia ikusi).



163. Irudia: 11. Simulazioko betetzearen irudiak

**Abiadura:**

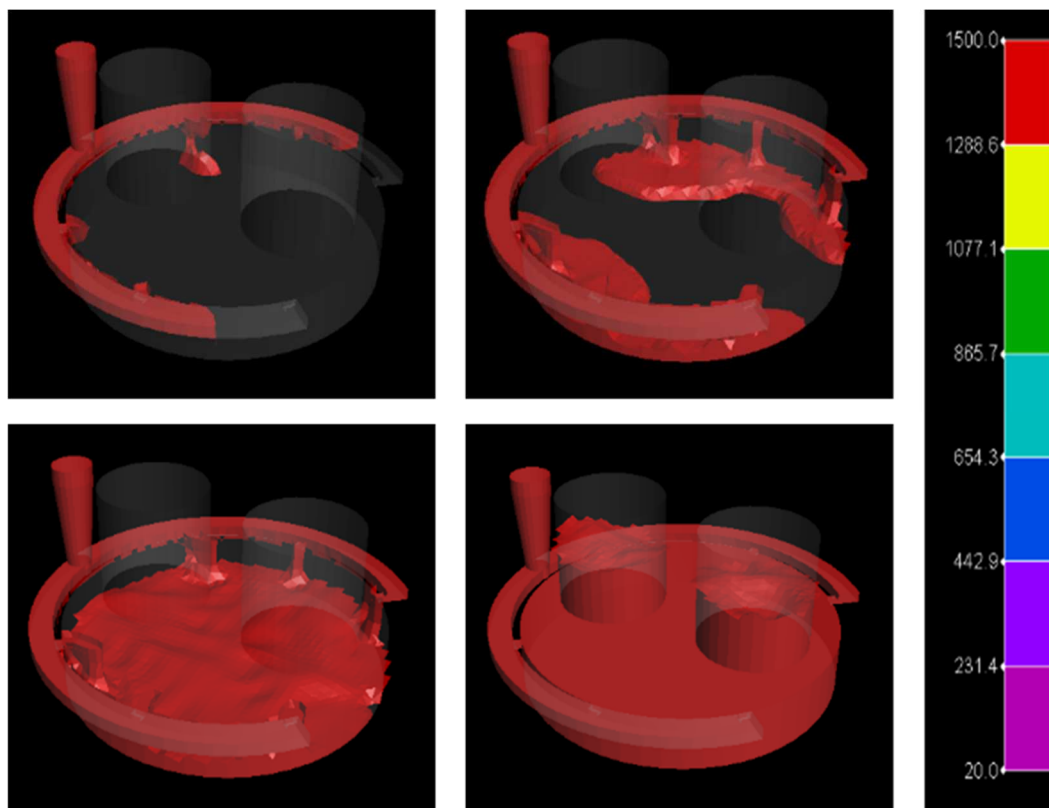
Kanaletako abiadura 3 zatitan banatuta dago, eraso bat aurkitu heinean emaria txikitu egiten delako. Zati hauetan aurkitzen diren abiadurak 1,37 m/s (maximoa), 0,83 m/s eta 0,02 m/s dira isurbidetik hasita. Badirudi fluxua laminarra dela uneoro. (164. irudira jo)



164. Irudia: 11. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

**Temperatura:**

1.500°C-ko isurtze temperatura ez da aldatzen betetzean eta solidotze goiztiarrak saihesten dira.



165. Irudia: 11. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

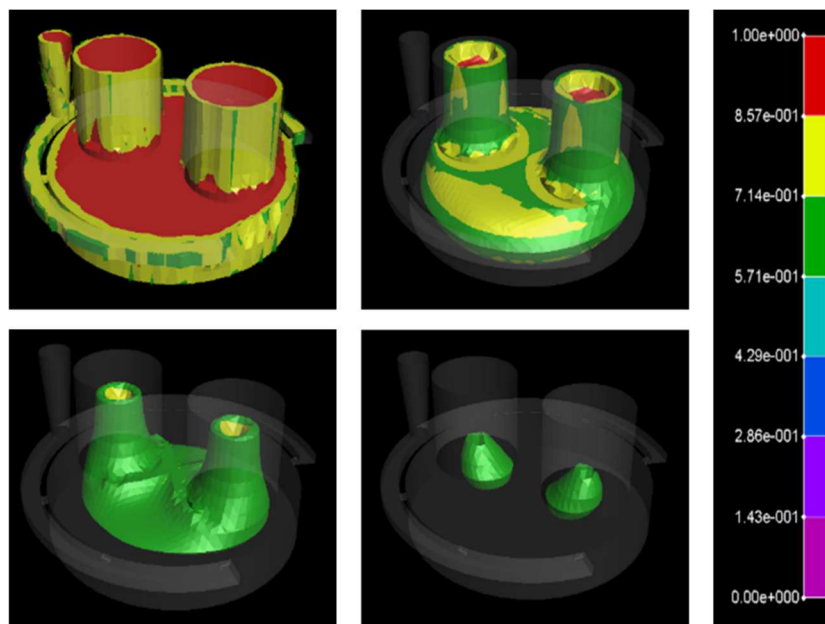
### 9.2.11.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.000 segundotik gora egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 37 s$
- $t_2 = 110$
- $t_3 = 583 s$
- $t_4 = 1.003 s$

#### Frakzio likidoa:

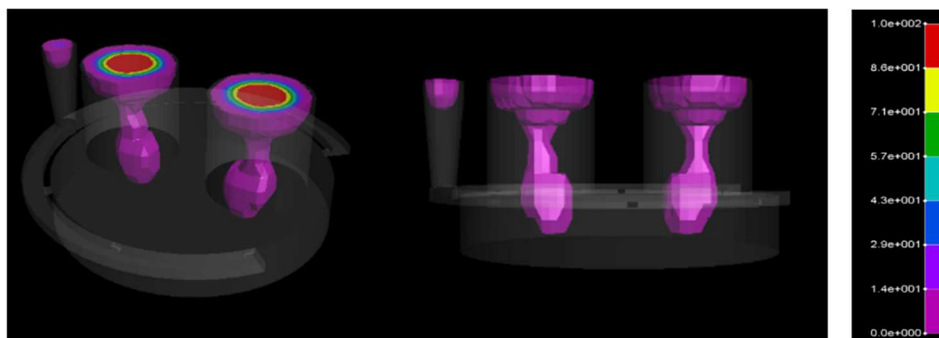
Solidotzeak nahiko zuzena dirudi 166. irudiko azken bi irudietara iritsi arte, piezaren erdigunean solidotzeko geratzen den frakzio handia aurkituz. Hala ere, hau ase ostean geratzen den frakzio gehiena mazarotetan geratzen da, amaitzeko azken frakzio kasu guztietan bezala pieza eta mazarotaren arteko mugan aurkituz.



166. Irudia: 11. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

167. irudian uzurdura piezara iristen dela ikus daiteke, honek dakarren arazoekin. Mazaroten gailurrean ematen da uzurdura handiena eta erdi bitartean uzkurdurarik finena.



167. Irudia: 11. Simulazioko uzkurduraren irudiak

## 9.2.12. SIMULAZIOA

Azkenik simulazioekin amaitzeko, 8 eraso daukan pieza aztertuko da, ondorengo ezaugarriekin:

- $V_M = 2.182.072 \text{ mm}^3 \rightarrow H_M = 145 \text{ mm}, \phi_M = 145 \text{ mm}$
- $N_M = 2$
- $v_2 = 0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $T = 1.500^\circ\text{C}$

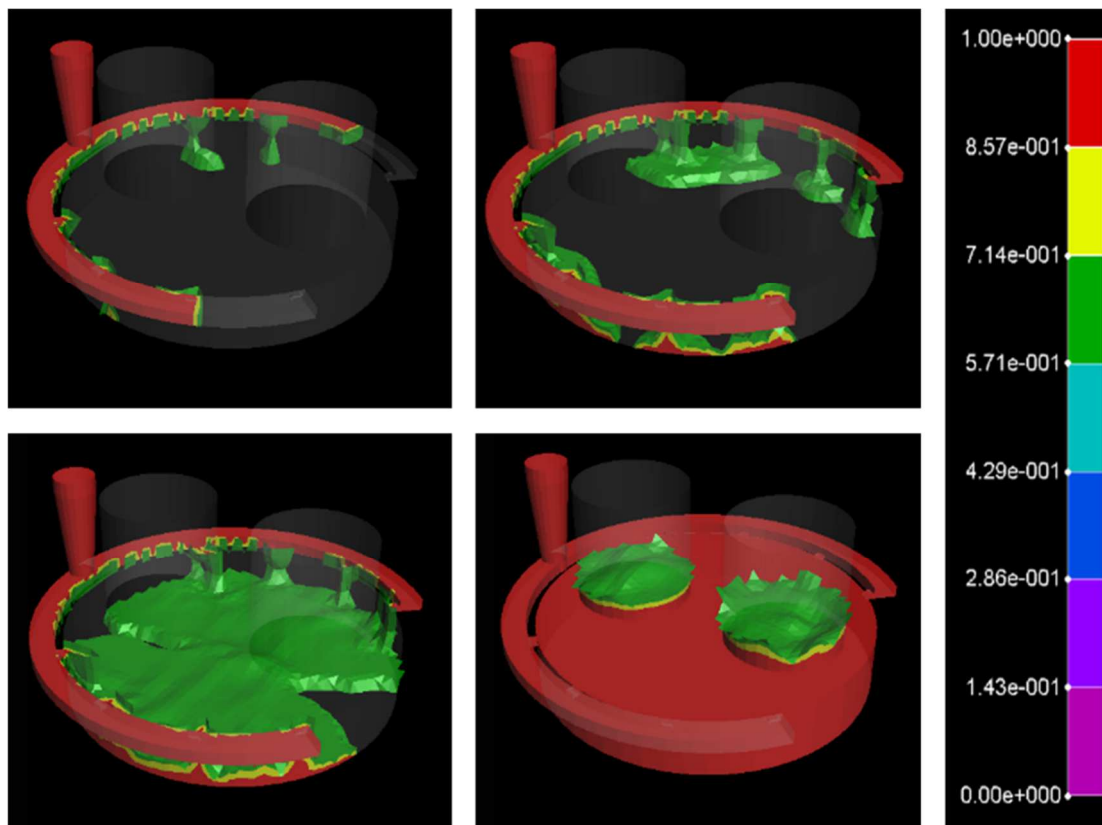
### 9.2.12.1. BETETZEAREN SIMULAZIOA

Simulazioa egin ostean emaitzen arloan ikus daiteke nola betetzea espero zen 10 segundotan egin dela. Beraz, aukeratu diren lau uneak ondorengoak dira:

- $t_1 = 0,5 \text{ s}$
- $t_2 = 2 \text{ s}$
- $t_3 = 3 \text{ s}$
- $t_4 = 7,7 \text{ s}$

#### Betetze-tasa:

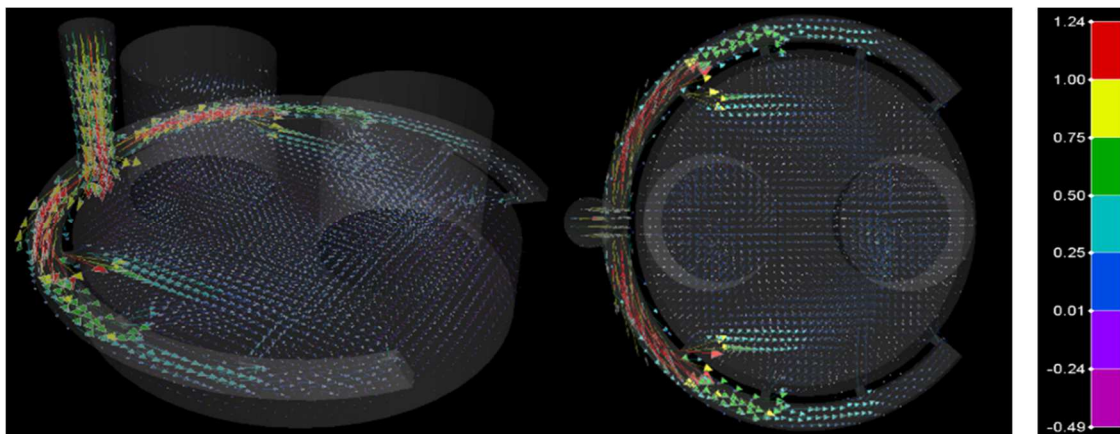
Hasieran betetzea ondo egiten da, kanalak betez eta eraso bakoitzetik pareta guztia ondo betez, baina honen ostean isurbidearen aurkako puntuari gehiago kostatzen zaio betetzea. Honen ostean pieza guztia betetzen da eta azkenik mazarotak (168. irudian ikusgai).



168. Irudia: 12. Simulazioko betetzearen irudiak

### **Abiadura:**

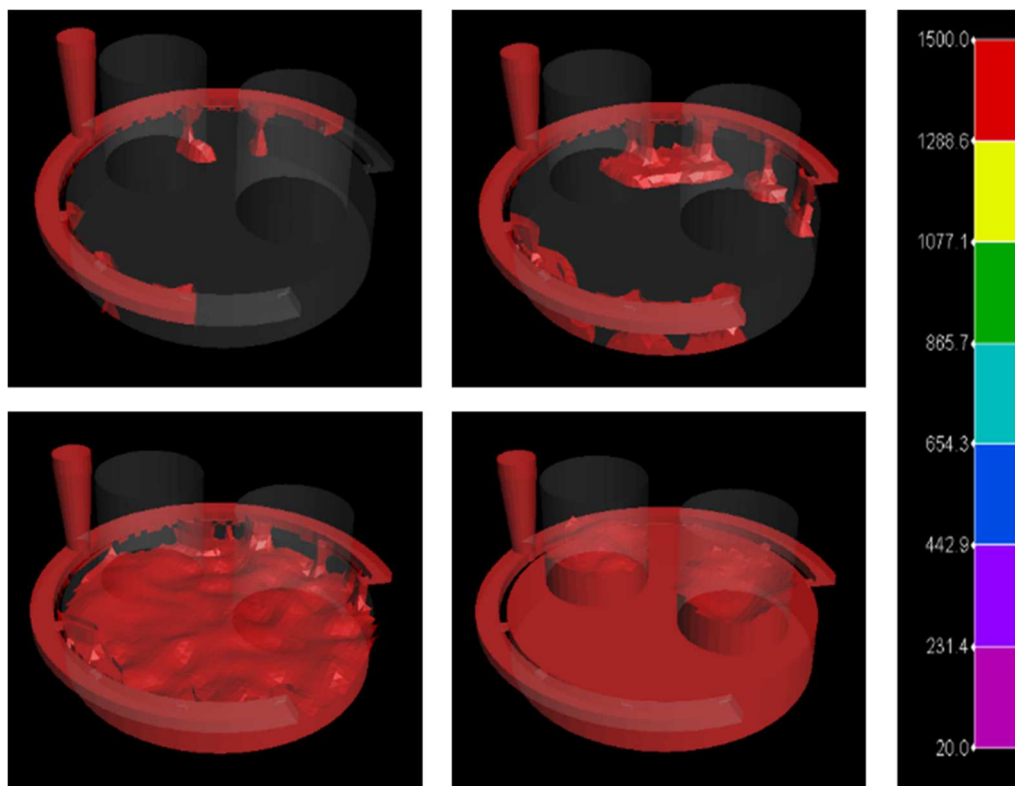
169. irudian 4 zati nabarmendu daitezke kanaletan, erasoen arteko zatiak hain zuzen ere. Zati hauetan lehenengoan abiadura maximoa aurki daiteke (1,24 m/s) eta hemendik aurrera zati bakoitzeko abiadura murriztu egiten da ia abiadura nuluko zatira iritsiz. Amaitzeko, ez da fluxu turbulenturik nabaritu.



169. Irudia: 12. Simulazioko abiaduraren irudiak (abiadurak m/s-tan)

### **Temperatura:**

Isurketa egiteko metalaren temperatura 1.500 °C-koa izango dela finkatu da, eta temperatura hau betetze osoan mantendu behar da solidotze goiztiarrak agertu ez daitezken.



170. Irudia: 12. Simulazioko temperaturaren irudiak (temperatura °C-tan)

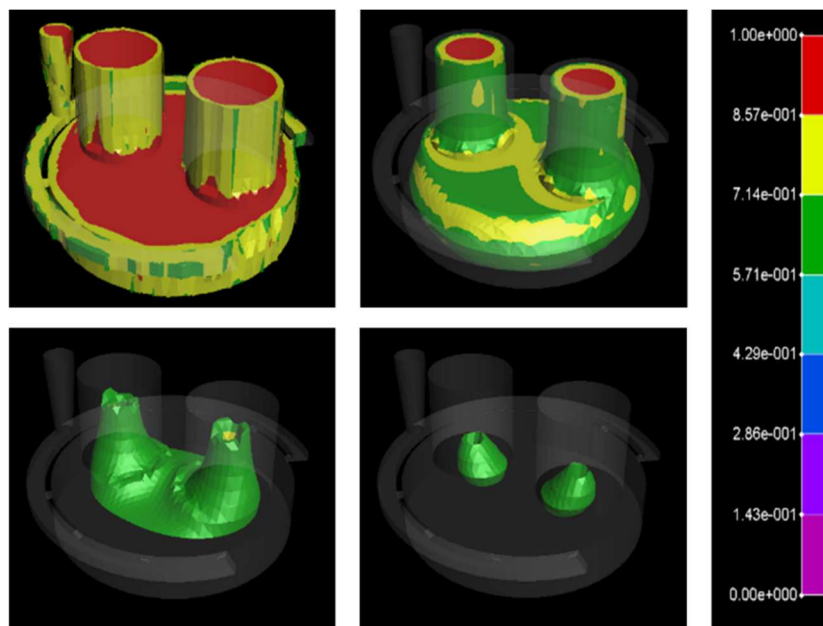
### 9.2.12.2. SOLIDOTZEAREN SIMULAZIOA

Betetzearen simulazioa egin ostean, solidotzea aztertzen da. Ikus daiteke solidotze guztia 1.000 segundotik gora egin dela. Hau dela eta, ondorengo lau uneak hautatu dira.

- $t_1 = 37 s$
- $t_2 = 242 s$
- $t_3 = 672 s$
- $t_4 = 1.012 s$

#### Frakzio likidoa:

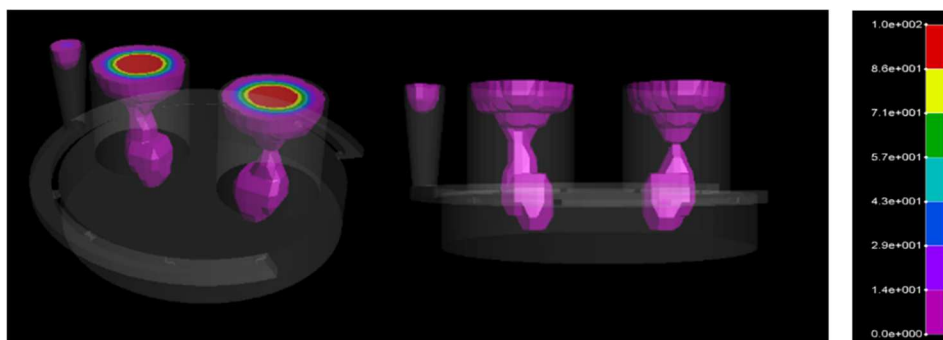
Solidotzea era egokian egiten da 171. irudiko beheko uneetara iritsi arte, solidotzeko geratzen den frakzio txiki bat aurki daitekeelako pieza barruan mazarotak solidotzen dauden momentuan. Gainera azkenengo zatia pieza eta mazarotaren arteko mugan dago.



171. Irudia: 12. Simulazioko solidotzearen irudiak

#### Uzkurdura:

Ezin izan da uzurdura saihestu simulazio hoberenean ere, 172. irudian ikus daitekeen bezala uzurdura piezara iritsi delako. Hala ere, uzurdura handiena mazaroten gailurrean ikus daiteke, ondoren mazarota erdian asko finduz.

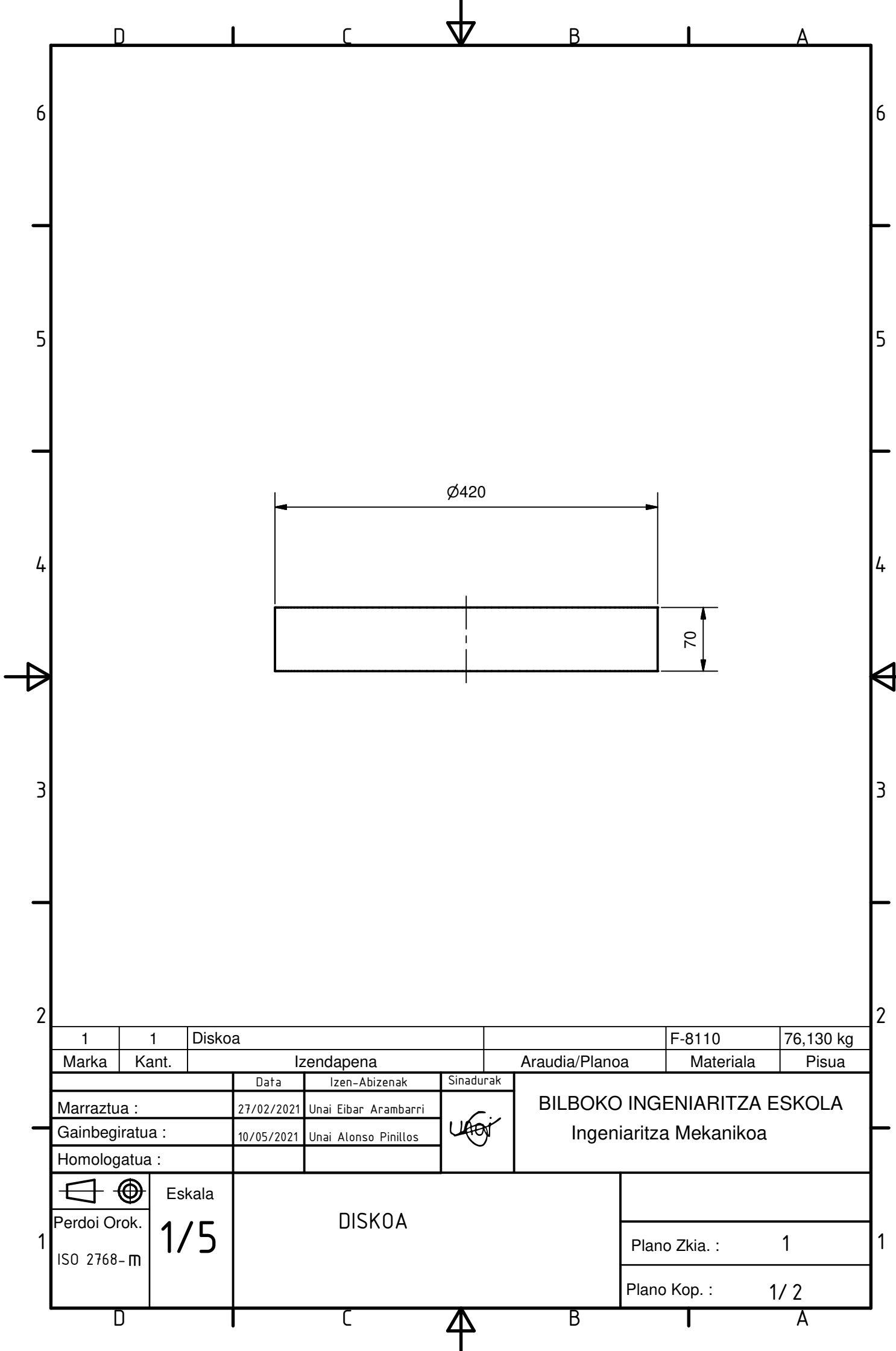



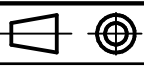
172. Irudia: 12. Simulazioko uzkurduaren irudiak

---

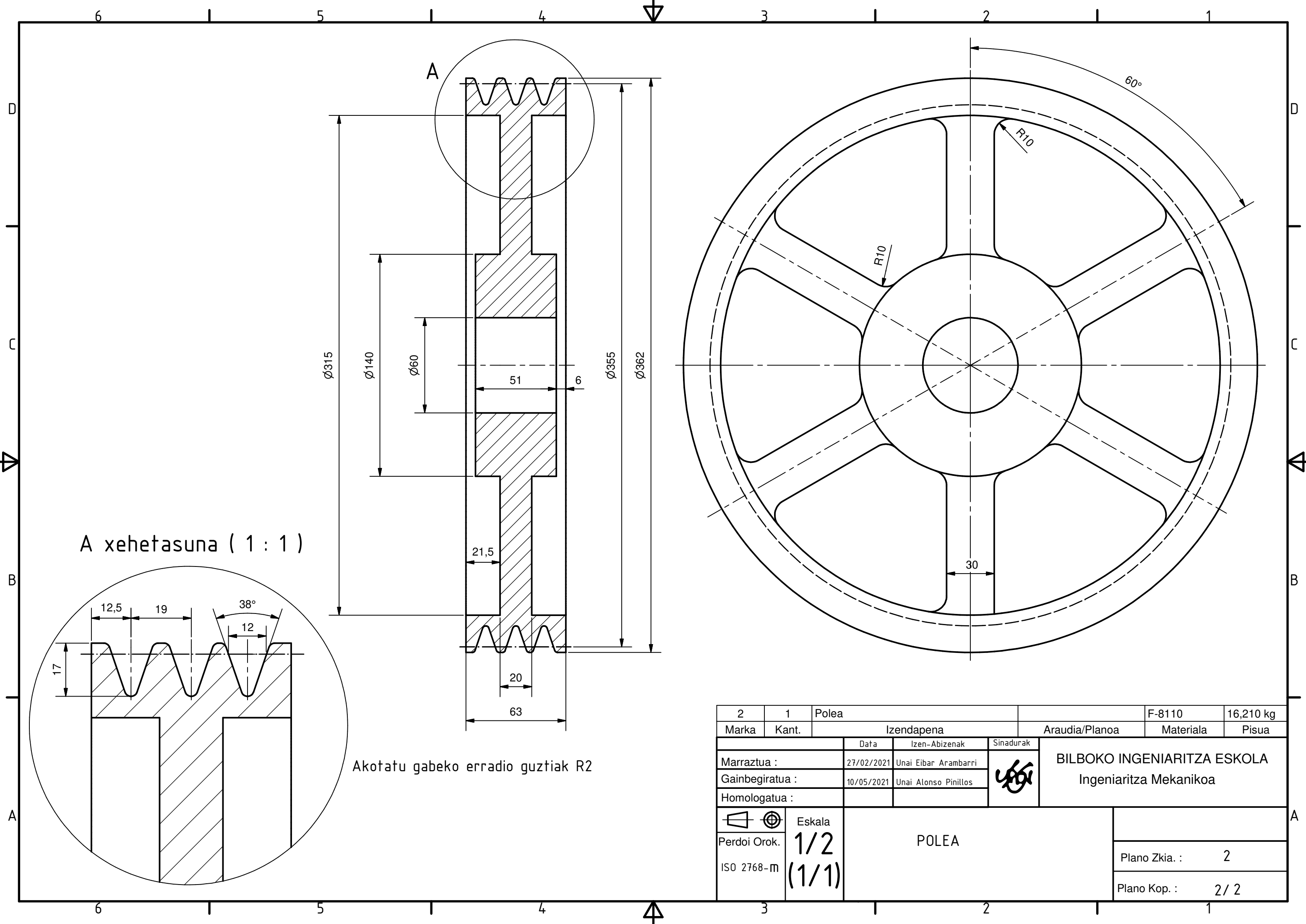
### 9.3. PLANOAK

Diskoa .....	1
Polea .....	2




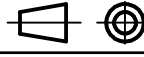
1	1	Diskoa				F-8110	76,130 kg
Marka	Kant.	Izendapena			Araudia/Planoa	Materiala	Pisua
		Data	Izen-Abizenak	Sinadurak	<b>BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA</b> Ingeniaritza Mekanikoa		
Marraztua :		27/02/2021	Unai Eibar Arambarri				
Gainbegiratua :		10/05/2021	Unai Alonso Pinillos				
Homologatua :							
1	 Perdoi Orok. ISO 2768-m	Eskala <b>1/5</b>	DISKOA				
						Plano Zkia. : 1	
						Plano Kop. : 1/2	





A xehetasuna ( 1 : 1 )

Akotatu gabeko erradio guztiak R2

2	1	Polea			F-8110	16,210 kg	
Marka	Kant.	Izendapena			Araudia/Planoa	Materiala	
		Data	Izen-Abizenak	Sinadurak	<b>BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA</b> Ingeniaritza Mekanikoa		
Marrastua :		27/02/2021	Unai Eibar Arambarri				
Gainbegiratua :		10/05/2021	Unai Alonso Pinillos				
Homologatua :							
	Perdoi Orok.	Eskala	POLEA				
ISO 2768-m		1/2 (1/1)					
					Plano Zkia. :	2	
					Plano Kop. :	2 / 2	