
Autor: Juan Daniel Abril Acebes



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Simulación de una isla robotizada para el
proceso de engrapado de seis piezas de
un automóvil**

Autor:

Abril Acebes, Juan Daniel

Tutor:

Herreros López, Alberto

**Dpto. ingeniería de sistemas
y automática**

Valladolid, de 2023

Agradecimientos

Me gustaría destacar que este proyecto no habría sido posible sin el apoyo de todas aquellas personas y entidades que me han respaldado durante este proceso.

En primer lugar, quiero agradecer a mi padre, a mi madre y a mi hermana por todo el cariño y ánimo que me han proporcionado en tiempos difíciles.

A continuación, a mis tutores Alberto Herreros López y a Javier Barrientos Curieses por su predisposición a ayudarme siempre que lo he necesitado y por los consejos, que me han ayudado en muchos momentos.

Seguidamente me gustaría agradecer a ERGOS technology, por prestarme apoyo, material y recursos sin los cuales este proyecto no se habría podido llevar a cabo.

Por último, gracias a mis amigos por amenizar mis días.

Resumen

El trabajo realizado en este proyecto consiste en la programación de una isla robotizada compuesta por 3 robots Fanuc independientes para el proceso de doblado de chapa (Hemming) de 6 útiles de un automóvil. Para su desarrollo se utilizará el programa de roboguide, el cual permite controlar los movimientos de los robots Fanuc. El objetivo de este proyecto es la búsqueda de la aplicación óptima a un proceso industrial real mediante la coordinación de los distintos robots.

Palabras clave: Fanuc, Roboguide, Roldana, Hemming, Robot

Abstract

The work carried out in this project consists in the programming of a robotic island made up of 3 independent Fanuc type robots for the process of plate folding (Hemming) for 6 car's tools. For its development it will be used roboguide which is a program capable of control the movement of the Fanuc's robots. The objective for this project is the development of an optimal solution for a real industrial process by the coordination of the different robots.

Keywords: Fanuc, Roboguide, Roldana, Hemming, Robot

Índice

1. Introducción.....	21
1.1. Motivación	21
1.2. Objetivos	22
1.3. Conocimientos previos.....	22
1.4. Estructura del contenido.....	22
2. Marco teórico y estado del arte.....	23
2.1. Historia de la robótica.....	23
2.2. Aplicación de la robótica a la industria	24
2.3. Clasificación de Robots	25
2.3.1. Clasificación cronológica	25
2.3.1. Clasificación según sus articulaciones.....	26
3. Roboguide	29
3.1. Herramientas de roboguide.....	29
3.2. HandlingPro.....	30
3.2.1. Árbol de Proyecto	31
3.2.2. Barra de herramientas	32
3.2.3. Teach Pendant	33
4. Diseño de la estación	34
4.1. Proceso de Rebordeado (Hemming).....	36
4.1.1. Velocidad durante el proceso	38
4.1.2. Detalles a tener en cuenta sobre el rebordeado.	40
4.2. Seguridad en entornos robotizados industriales	44
4.2.1. Tipo de peligros.....	44
4.2.2. Normativa de seguridad.....	45
5. Programación de la estación.....	46
5.1. Estructura para la definición de los puntos.	46
5.1.1. Comandos adicionales.	48
5.1.2. Sincronización de las señales.	48
5.1.3. Uso de los comandos.	49

5.1.4. Posicionamiento del TCP.....	51
5.1.4. Movimientos del robot.	58
5.1.5. Colisiones.	61
5.2. Desarrollo de la estación.....	64
5.2.1. Útil 1 (Puerta delantera izquierda)	65
5.2.2. Útil 2 (Puerta delantera derecha)	73
5.2.3. Útil 3 (Puerta trasera izquierda).....	78
5.2.4. Útil 4 (Puerta trasera derecha)	84
5.2.5. Útil 5 (Capó)	90
5.2.6. Útil 6 (Portón trasero).....	95
6. Resultados.....	104
6.1. Primera pieza	104
6.1.1. Robot A	104
6.1.2. Robot B.....	110
6.1.3. Robot C.....	120
6.2. Segunda pieza	127
6.2.1. Robot A	127
6.2.2. Robot B.....	133
6.2.3. Robot C.....	141
6.3. Tercera pieza.....	150
6.3.1. Robot A	150
6.3.2. Robot B.....	159
6.3.3. Robot C.....	169
6.4. Cuarta pieza	175
6.4.1. Robot A	175
6.4.2. Robot B.....	181
6.4.3. Robot C.....	187
6.5. Quinta pieza	196
6.5.1. Robot A	196
6.5.2. Robot B.....	201
6.5.3. Robot C.....	206
6.6. Sexta pieza	211
6.6.1. Robot A	211
6.6.2. Robot B.....	219
6.6.3. Robot C.....	225

7. Conclusiones y futuras líneas de trabajo	235
7.1. Conclusiones	235
7.2. Futuras líneas de trabajo	236
BIBLIOGRAFÍA.....	237

Índice de figuras

Figura 1. Paloma de Arquitas y Arquitas de Talento (fuente historia-biografía.com)	23
Figura 2. Caballero mecánico (fuente wikipedia.com)	24
Figura 3. Robot Puma (fuente personal.us.es)	25
Figura 4. Robot antropomórfico (fuente campetella.com).....	26
Figura 5. Robot Scara (fuente Fanuc.eu)	26
Figura 6. Robot cartesiano de 2 ejes (fuente plástico.com).....	26
Figura 7. Robot cilíndrico (fuente platea.pntic.mec.es).....	27
Figura 8. Robot esférico (fuente isa.uniovi.es)	27
Figura 9. Robot paralelo (fuente urany.net)	27
Figura 10. Robot colaborativo (fuente innovaciondigital360.com).....	28
Figura 11. Visión del Handling Pro.....	30
Figura 12. Árbol de proyectos. Controladores	31
Figura 13. Árbol de proyectos. Machines	31
Figura 14. Árbol de proyectos, Fixtures	31
Figura 15. Barra de herramientas	32
Figura 16. Teach pendant física (fuente Fanuc.eu)	33
Figura 17. Teach pendant simulación.....	33
Figura 18. Robot R 2000iB/210F.....	34
Figura 19. Detalle de las roldanas	34
Figura 20. Estación sin moldes	34
Figura 21. Puerta delantera izquierda	35
Figura 22. Puerta delantera derecha	35
Figura 23. Puerta trasera izquierda	35
Figura 24. Puerta trasera derecha	35
Figura 25. Capó.....	35
Figura 26. Portón.....	35
Figura 27. ‘Hemming’ por matriz convencional (fuente researchgate.net)	36
Figura 28. “Roller Helming” (fuente researchgate.net)	37
Figura 29. Diferencia de velocidades.....	38
Figura 30. Tramo lineal.....	39
Figura 31. Tramo curvo.....	39
Figura 32. La roldana grande choca con el cuerpo del útil.	40
Figura 33. Roldana pequeña accede sin problemas al útil.	41
Figura 34. Lateral para rebordear.....	41
Figura 35. Roldana grande a 45°	42
Figura 36. Tramo realizado a 45°	42
Figura 37. Roldana grande a 90°	43
Figura 38. Roldana pequeña a 90°	43
Figura 39. Tramo realizado a 90°	43
Figura 40. Marca de certificación europea.....	45
Figura 41. Tipos de terminación de movimiento (fuente infopl.net)	47

Figura 42. Tabla de conexión entre señales.....	49
Figura 43. Programa Main del robot A	49
Figura 44. Programa Main del robot B	50
Figura 45. Programa Main del robot C	50
Figura 46. TCP predeterminado	51
Figura 47. Selección de un espacio para la herramienta	52
Figura 48. Cargar el adaptador del robot	52
Figura 49. Adaptador del robot	53
Figura 50. Creación de la herramienta	53
Figura 51. Adaptador de la herramienta.....	54
Figura 52. Adaptador de la roldana.....	54
Figura 53. Roldana.....	55
Figura 54. Herramienta con sus distintas entidades.....	55
Figura 55. TCP colocado.....	56
Figura 56. TCP de la roldana grande.....	56
Figura 57. TCP de la roldana pequeña	57
Figura 58. Creación de los programas	58
Figura 59. Posicionamiento de un robot B respecto a la cara del molde	59
Figura 60. Diferentes puntos disponibles.....	59
Figura 61. Creación de puntos	60
Figura 62. Menú de colisiones	61
Figura 63. Configuración de colisiones	62
Figura 64. Colisión con la zona lateral	62
Figura 65. Colisión con el molde	63
Figura 66. Ejemplo de colisiones con el molde y la pieza.....	63
Figura 67. Detalle de los Robots A, B y C.....	64
Figura 68. Fijaciones de varios útiles.....	64
Figura 69. Puerta delantera izquierda	65
Figura 70. Apoyos superiores.....	65
Figura 71. Apoyos de la zona izquierda.....	66
Figura 72. Ausencia de sujeciones en la parte inferior	66
Figura 73. Ventosa.....	67
Figura 74. Ventosas zona inferior.....	67
Figura 75. Esquemas de trayectorias útil	67
Figura 76. Trayectoria del robot C en simulación.....	68
Figura 77. Esquema engrapado 45° Robot A	69
Figura 78. Esquema engrapado 90° Robot A	70
Figura 79. Esquema engrapado 45° Robot B	70
Figura 80. Esquema engrapado 90° Robot B	71
Figura 81. Esquema engrapado 45° Robot C	71
Figura 82. Esquema engrapado 90° Robot C	72
Figura 83. Programas Main del Robot C	72
Figura 84. Puerta delantera derecha	73
Figura 85. Ventosas del segundo molde.....	73
Figura 86. Esquemas de trayectorias útil 2	74
Figura 87. Esquema engrapado 45° Robot A	75
Figura 88. Esquema engrapado 90° Robot A	75
Figura 89. Esquema engrapado 45° Robot B	76
Figura 90. Esquema engrapado 90° Robot B	76

Figura 91. Esquema engrapado 45° Robot C	77
Figura 92. Esquema engrapado 90° Robot C	77
Figura 93. Puerta trasera izquierda	78
Figura 94. Sujeciones del útil 3.....	78
Figura 95. Ventosas del útil 3	79
Figura 96. Esquemas de trayectorias útil 3	79
Figura 97. Esquema engrapado 45° Robot A	80
Figura 98. Esquema engrapado 90° Robot A	81
Figura 99. Esquema engrapado 45° Robot B	82
Figura 100. Esquema engrapado 90° Robot B	82
Figura 101. Esquema engrapado 45° Robot C	83
Figura 102. Esquema engrapado 90° Robot C	84
Figura 103. Puerta trasera derecha	84
Figura 104. Ventosas del cuarto molde	85
Figura 105. Esquemas de trayectorias útil 4	85
Figura 106. Esquema engrapado 45° Robot A	86
Figura 107. Esquema engrapado 90° Robot A	87
Figura 108. Esquema engrapado 45° Robot B	87
Figura 109. Esquema engrapado 90° Robot B	88
Figura 110. Esquema engrapado 45° Robot C	89
Figura 111. Esquema engrapado 90° Robot C.....	89
Figura 112. Capó	90
Figura 113. Ventosas del quinto molde	90
Figura 114. Esquemas de trayectorias útil 5	91
Figura 115. Esquema engrapado 45° Robot A	92
Figura 116. Esquema engrapado 90° Robot A	92
Figura 117. Esquema engrapado 45° Robot B	93
Figura 118. Esquema engrapado 90° Robot B	93
Figura 119. Esquema engrapado 45° Robot C	94
Figura 120. Esquema engrapado 90° Robot C	94
Figura 121. Portón trasero.....	95
Figura 122. Ejemplo de choque de robots A y C debido a mala programación..	95
Figura 123. Detalle de una de las esquinas interiores	96
Figura 124. Fijaciones cerradas	96
Figura 125. Fijaciones abiertas	96
Figura 126. Fijaciones obstruyendo zonas del útil.....	97
Figura 127. Ventosas útil 6.....	97
Figura 128. Esquemas de trayectorias útil 6	98
Figura 129. Esquema engrapado 45° Robot A	99
Figura 130. Entrada a 90° de la herramienta	99
Figura 131. Herramienta atravesando al útil.....	99
Figura 132. Entrada a 90° de la herramienta	100
Figura 133. Herramienta y útil sin tocarse	100
Figura 134. Esquema engrapado 90° Robot A	100
Figura 135. Herramienta haciendo la pasada a 90°	101
Figura 136. Esquema engrapado 45° Robot B	101
Figura 137. Esquema engrapado 90° Robot B	102
Figura 138. Esquema engrapado 45° Robot C	103
Figura 139. Esquema engrapado 90° Robot C	103

Figura 140. Pieza 1, robots en posición inicial	104
Figura 141. Robot A, engrapado a 45°	104
Figura 142. Robot A, aproximación a la pieza.....	105
Figura 143. Robot A, cambio de velocidad al llegar al giro	105
Figura 144. Robot A, engrapado lateral	105
Figura 145. Robot A final del recorrido	106
Figura 146. Robot A vuelta a la posición inicial	106
Figura 147. Robot A, a la espera de que todos los robots terminen su pasada a 45°	106
Figura 148. Robot A, engrapado a 90°	107
Figura 149. Robot A cambio de herramienta	107
Figura 150. Robot A, aproximación a la pieza.....	107
Figura 151. Robot A, deja de aplicar presión.....	108
Figura 152. Robot A, cambio de herramienta [1]	108
Figura 153. Robot A, cambio de herramienta [2]	108
Figura 154. Robot A, continua el recorrido con la nueva herramienta	109
Figura 155. Robot A, necesidad de cambio de herramienta por el cambio brusco de concavidad.....	109
Figura 156. Robot A, roldana pequeña	109
Figura 157. Robot A, roldana final del recorrido	110
Figura 158. Robot A permite el movimiento del robot B.....	110
Figura 159. Robot B, engrapado a 45°	110
Figura 160. Robot B, aproximación a la pieza.....	111
Figura 161. Robot B, pasada al lateral	111
Figura 162. Robot B, pasada al lateral final.....	111
Figura 163. Robot B, movimiento hacia la zona superior	112
Figura 164. Robot B, en espera hasta que el robot C permita continuar su movimiento	112
Figura 165. Robot B en posición para evitar colisión.....	113
Figura 166. Robot B trayectoria hacia el interior de la ventana	113
Figura 167. Robot B, aproximación zona interior	113
Figura 168. Posición de los tres robots durante la figura 166.....	114
Figura 169. Robot B, roldana grande fin de trayecto.....	114
Figura 170. Robot B, roldana grande zona interior.....	114
Figura 171. Robot B, a la espera del resto de robots	115
Figura 172. Robot B, engrapado a 90°	115
Figura 173. Robot B, aproximación al útil.....	116
Figura 174. Robot B, detalle de la pasada.....	116
Figura 175. Robot B aproximación zona superior	116
Figura 176. Robot B, a la espera del robot C	117
Figura 177. Robot B, zona superior	117
Figura 178. Robot B con respecto a C	117
Figura 179. Robot B permite el movimiento de C	118
Figura 180. Robot B en espera del robot A	118
Figura 181. Robot B, finalización lado interior	118
Figura 182. Robot B vuelve a posición inicial	119
Figura 183. Robot C, engrapado a 45°	120
Figura 184. Robot C procede a moverse a la esquina directamente.	120
Figura 185. Robot C, aproximación a la pieza a 45°	120

Figura 186. Robot C se mueve a la esquina sin cambiar la roldana.....	121
Figura 187. Robot C permite el movimiento del robot B	121
Figura 188. Robot C cambia a la roldana pequeña [1].....	121
Figura 189. Robot C cambia a la roldana pequeña [2].....	122
Figura 190. Finalización la pasada a 45°	122
Figura 191. Robot C, engrapado a 90°	122
Figura 192. Robot C, aproximación a la pieza a 90°.....	123
Figura 193. Robot C, movimiento hacia la esquina sin cambio de herramienta	123
Figura 194. Robot C, imposibilidad de continuar con la misma roldana. Movimiento hacia la esquina.	123
Figura 195. Robot C permite el movimiento del robot B	124
Figura 196. Robot C detenido hasta que B le permita continuar	124
Figura 197. Robot C respecto de B	124
Figura 198. Robot C cambio a roldana pequeña [1]	125
Figura 199. Robot C cambio a roldana pequeña [2]	125
Figura 200. Robot C final de recorrido 90°.....	125
Figura 201. Robot C vuelta a posición inicial.....	126
Figura 202. Pieza 2, robots en posición inicial	127
Figura 203. Robot A, engrapado a 45°	127
Figura 204. Robot A en espera al robot B	128
Figura 205. Posición del robot A con respecto al robot B.....	128
Figura 206. Robot A, aproximación a la pieza a 45°.....	129
Figura 207. Robot A giro de 45°.....	129
Figura 208. Robot A fin del engrapado	129
Figura 209. Robot A, en espera a finalización de los otros dos robots	130
Figura 210. Robot A, engrapado 90°	130
Figura 211. Robot A en espera del robot B	130
Figura 212. Robot A respecto al robot B.....	131
Figura 213. Robot A aproximación a la pieza	131
Figura 214. Robot A, detalle del giro	131
Figura 215. Robot A cambio de roldana [2]	132
Figura 216. Robot A cambio de roldana [1].....	132
Figura 217. Robot A finalización del engrapado.....	132
Figura 218. Robot A finalización del proceso.....	133
Figura 219. Robot B, engrapado 45°	133
Figura 220. Robot B aproximación al útil.....	134
Figura 221. Robot B envía señal de movimiento al robot A.....	134
Figura 222. Robot B en espera de la señal del robot C	135
Figura 223. Robot B finalización de la pasada interior a 45°.....	135
Figura 224. Robot B detenido para evitar colisiones	135
Figura 225. Robot B aproximación zona interior de la ventana	136
Figura 226. Robot B desbloquea el movimiento del robot	136
Figura 227. Robot B finalización de la pasada interior a 45°.....	136
Figura 228. Robot B en espera de la finalización de los otros dos robots	137
Figura 229. Robot B engrapado 90°	137
Figura 230. Robot B aproximación al útil a 90°.....	137
Figura 231. Robot B permite el movimiento del robot A	138
Figura 232. Robot B a la espera del robot C	138

Figura 233. Robot B finalización de la pasada superior a 90°	138
Figura 234. Robot B entrada de la roldana pequeña	139
Figura 235. Robot B aproximación de la roldana pequeña a la zona interior...	139
Figura 236. Robot B desbloqueo del movimiento del robot C	139
Figura 237. Robot B finalización de la pasada interior a 90°	140
Figura 238. Robot B salida de la zona interior	140
Figura 239. Robot B posición inicial	140
Figura 240. Robot C engrapado 45°	141
Figura 241. Robot C aproximación a la pieza.....	141
Figura 242. Robot C cambio de la zona de la pieza a engrapar [1]	141
Figura 243. Robot C cambio de la zona de la pieza a engrapar [2]	142
Figura 244. Robot C aproximación a la pieza para el engrapado de la esquina	142
Figura 245. Robot C desbloqueo del movimiento del robot B	142
Figura 246. Robot C cambio de roldana [1].....	143
Figura 247. Robot C cambio de roldana [2].....	143
Figura 248. Robot C finalización de la pasada a 45° y desbloqueo del movimiento del robot B	144
Figura 249. Robot C en espera de la finalización de los otros dos robots	144
Figura 250. Robot C engrapado 90°	144
Figura 251. Robot C aproximación a la pieza 90°	145
Figura 252. Robot C cambio de la zona a engrapar [1]	145
Figura 253. Robot C cambio de la zona a engrapar [2]	145
Figura 254. Robot C aproximación a la pieza para el engrapado de la esquina	146
Figura 255. Robot C desbloqueo del movimiento del robot B	146
Figura 256. Robot C a la espera de la señal del robot B	146
Figura 257. Robot C detenido para evitar colisión	147
Figura 258. Robot C cambio de roldana [1].....	148
Figura 259. Robot C cambio de roldana [2].....	148
Figura 260. Robot C finalización de la pasada a 90°	148
Figura 261. Robot C vuelta a la posición inicial.....	149
Figura 262. Pieza 3, robots en posición inicial	150
Figura 263. Robot A engrapado 45°	150
Figura 264. Robot A aproximación a la pieza a 45°	151
Figura 265. Robot A cambio de roldana [1]	151
Figura 266. Robot A cambio de roldana [2].....	151
Figura 267. Robot A finalización engrapado lateral derecho a 45°	152
Figura 268. Robot A movimiento al lado opuesto	152
Figura 269. Robot A aproximación al lateral izquierdo de la pieza	152
Figura 270. Robot A desbloquea el movimiento del robot C.....	153
Figura 271. Robot A, cambio de roldana [1].....	153
Figura 272. Robot A, cambio de roldana [2].....	153
Figura 273. Robot A, fin del trayecto y desbloqueo del movimiento del robot B	154
Figura 274. Robot A en espera de la finalización de los otros dos robots	154
Figura 275. Robot A esperando a la señal del robot B.....	154
Figura 276. Robot A aproximación a la pieza.....	155
Figura 277. Robot A movimiento con cambio de roldana	155
Figura 278. Robot A finalización proceso de engrapado lateral derecho.....	155
Figura 279. Robot A movimiento con cambio de roldana	156

Figura 280. Robot A en espera a la señal de movimiento del robot C	156
Figura 281. Robot C en posición cercana al Robot A	156
Figura 282. Robot A cambio a la roldana grande [1]	157
Figura 283. Robot A cambio a la roldana grande [2]	157
Figura 284. Robot A en espera a la señal de movimiento del robot C	157
Figura 285. Robot C manda señal de movimiento al robot A	158
Figura 286. Robot A termina recorrido a 90°	158
Figura 287. Robot A vuelve a la posición inicial	158
Figura 288. Robot B, engrapado a 45°	159
Figura 289. Robot B deja de aplicar presión	159
Figura 290. Robot aproximación a la pieza	159
Figura 291. Robot B movimiento hacia la zona superior	160
Figura 292. Robot B aproximación zona superior	160
Figura 293. Robot B a la espera de la señal del robot C	160
Figura 294. Robot C manda la señal de movimiento al A	161
Figura 295. Robot B finaliza el engrapado de la zona superior	161
Figura 296. Robot B envía señal de movimiento al robot C	161
Figura 297. Robot B usando la roldana pequeña para el engrapado a 45°	162
Figura 298. Robot B cambio de roldana [1]	162
Figura 299. Robot B cambio de roldana [1]	162
Figura 300. Robot B finalización pasada zona interior	163
Figura 301. Robot B finalización engrapado de 45°	163
Figura 302. Robot B movimiento con la roldana pequeña para realizar el giro	163
Figura 303. Robot B se desplaza para la siguiente pasada	164
Figura 304. Robot B, engrapado a 90°	164
Figura 305. Robot B aproximación a la pieza	164
Figura 306. Robot B envía señal de movimiento al robot A	165
Figura 307. Robot B cambio de posición de la roldana [1]	165
Figura 308. Robot B cambio de posición de la roldana [2]	165
Figura 309. Robot B a la espera de la señal de movimiento de C	166
Figura 310. Robot C envía señal al robot B	166
Figura 311. Robot B se desplaza hacia la zona interior	166
Figura 312. Robot B aproximación a la zona interior	167
Figura 313. Robot B envía señal de movimiento al robot C	167
Figura 314. Robot B finaliza el engrapado a 90° de la zona interior	167
Figura 315. Robot B, engrapado de la esquina superior	168
Figura 316. Finalización del proceso	168
Figura 317. Robot B en posición inicial	168
Figura 318. Robot C engrapado 45°	169
Figura 319. Robot C aproximación a la pieza	169
Figura 320. Robot C envía señal de movimiento al robot B y espera a recibir señal de este	169
Figura 321. Robot C cambia de herramienta a la roldana grande	170
Figura 322. Robot C en espera a recibir señal de A	170
Figura 323. Robot C finaliza la pasada a 45°	170
Figura 324. Robot C vuelve a la posición inicial	171
Figura 325. Robot C engrapado a 90°	171
Figura 326. Robot C aproximación a la pieza	171
Figura 327. Robot C, roldana grande no accede a la esquina	172

Figura 328. Robot C cambio de la roldana [2].....	172
Figura 329. Robot C cambio de la roldana [1].....	172
Figura 330. Robot C, mecanizado de la esquina anteriormente omitida	173
Figura 331. Robot C, continua el recorrido y envía señal de movimiento al robot A.....	173
Figura 332. Robot C finaliza el recorrido con la roldana grande y espera a recibir señal del robot B.....	173
Figura 333. Robot C, finaliza la esquina, permitiendo el movimiento del robot A	174
Figura 334. Robot C, vuelta a la zona inicial.....	174
Figura 335. Pieza 4, robots en posiciones iniciales.....	175
Figura 336. Robot A, engrapado 45°	175
Figura 337. Robot A aproximación a la pieza	176
Figura 338. Robot en espera de recibir señal de movimiento del robot C	176
Figura 339. Robot A, finalización de la pasada a 45°	176
Figura 340. Robot A, vuelta a posición inicial y espera a señal del robot B	177
Figura 341. Robot A, en espera a finalización de los otros robots.....	177
Figura 342. Robot A, engrapado 90°	178
Figura 343. Robot A, aproximación a la pieza.....	178
Figura 344. Robot A envía señal de movimiento al robot B	179
Figura 345. Robot A, cambio de herramienta [1]	179
Figura 346. Robot A, cambio de herramienta [2]	179
Figura 347. Robot A, finalización del proceso y envío de señal a los otros dos robots.....	180
Figura 348. Robot A, vuelta a la posición inicial.....	180
Figura 349. Robot B, engrapado a 45°	181
Figura 350. Robot B, aproximación a la pieza y posterior envío de señal al robot C	181
Figura 351. Robot B en espera a la señal del robot A.....	182
Figura 352. Aproximación a la zona interior de la pieza	182
Figura 353. Robot B, Finalización engrapado zona interior	182
Figura 354. Robot B, cambio de roldana	183
Figura 355. Robot B, fin del engrapado de 45° y envío de señal al robot A	183
Figura 356. Robot B, en espera a la finalización de los otros robots.....	183
Figura 357. Robot B, engrapado a 90°	184
Figura 358. Robot B, aproximación a la pieza y posterior envío de señal al robot	184
Figura 359. Robot B en espera a que el robot A le envíe señal de movimiento	185
Figura 360. Robot B finalización engrapado lateral	185
Figura 361. Robot B cambio de roldana	185
Figura 362. Robot B finalización engrapado lateral	186
Figura 363. Robot B finalización engrapado zona interior	186
Figura 364. Robot B engrapado parte interior a 90°	186
Figura 365. Robot B vuelta a la posición inicial.....	187
Figura 366. Robot C, engrapado a 45°	187
Figura 367. Robot C, aproximación a la pieza y espera posterior a la señal del robot B.....	188
Figura 368. Robot C, cambio de zona de la pieza.....	188
Figura 369. Robot C, aproximación a la zona inferior cambiando la roldana ..	188

Figura 370. Robot C envía señal de movimiento al robot A.....	189
Figura 371. Robot C, cambio de roldana	189
Figura 372. Robot C, salto de la esquina [1].....	189
Figura 373. Robot C, salto de la esquina [2].....	190
Figura 374. Robot C, cambio de roldana	190
Figura 375. Robot C, finalización pasada a 45°	190
Figura 376. Robot C en espera a la finalización de los otros dos robots	191
Figura 377. Robot C, engrapado a 90°	192
Figura 378. Robot C, espera a recibir la señal del robot B y aproximación a la pieza.	192
Figura 379. Robot C, cambio a la roldana grande	193
Figura 380. Robot C, cambio a la roldana pequeña	193
Figura 381. Robot C en espera de la señal del robot A y envío posterior de la señal al robot B.....	193
Figura 382. Robot C aproximación a la zona inferior.....	194
Figura 383. Robot C, cambio de roldana grande	194
Figura 384. Robot C, cambio a roldana pequeña	194
Figura 385. Robot C , finalización engrapado 90°	195
Figura 386. Robot C, vuelta a la zona inicial.....	195
Figura 387. Pieza 4, robots en posiciones iniciales.....	196
Figura 388. Robot A, engrapado 45°	196
Figura 389. Robot A, aproximación a la pieza.....	197
Figura 390. Robot A envía la señal de movimiento al robot C	197
Figura 391. Robot A, finalización pasada a 45°	198
Figura 392. Robot A a la espera de señal de B.....	198
Figura 393. Robot A en espera a la finalización de los otros dos robots	198
Figura 394. Robot A, engrapado 90°	199
Figura 395. Robot A, aproximación a la pieza.....	199
Figura 396. Robot A envía señal de movimiento al robot B	200
Figura 397. Robot A a la espera de la señal de C.....	200
Figura 398. Robot A finalización pasada a 90°	200
Figura 399. Robot B, engrapado a 45°	201
Figura 400. Robot B, aproximación a la pieza.....	201
Figura 401. Robot B, envío de señal de movimiento al robot A.....	202
Figura 402. Robot B, en espera a la señal de C	202
Figura 403. Robot B, finalización engrapado a 45°	202
Figura 404. Robot B, engrapado a 90°	203
Figura 405. Robot B, aproximación a la pieza.....	203
Figura 406. Robot B espera de la señal de A y envío de la señal de C	204
Figura 407. Robot B, cambio a la roldana pequeña	204
Figura 408. Robot B, cambio a la roldana grande	204
Figura 409. Robot B, cambio a la roldana grande	205
Figura 410. Robot B, finalización engrapado a 90°	205
Figura 411. Robot C, engrapado a 45°	206
Figura 412. Robot C, aproximación a la pieza.....	206
Figura 413. Robot C, envío de señal de movimiento al robot C.....	207
Figura 414. Robot C en espera hasta recibir la señal de movimiento del robot A	207
Figura 415. Robot C finalización engrapado a 90°	207

Figura 416. Robot C a la espera de la finalización de los otros robots.....	208
Figura 417. Robot C, engrapado a 90°	208
Figura 418. Robot C, aproximación a la pieza.....	209
Figura 419. Robot C, a la espera de la señal de movimiento del robot C.....	209
Figura 420. Robot C, envío de la señal de movimiento al robot A.....	209
Figura 421. Robot C, cambio a la roldana pequeña.....	210
Figura 422. Robot C, cambio a la roldana grande	210
Figura 423. Robot C, finalización engrapado a 90°	210
Figura 424. Pieza 6, robots en posiciones iniciales.....	211
Figura 425. Robot A, engrapado 45°	211
Figura 426. Robot A, aproximación a la pieza.....	212
Figura 427. Robot A, cambio de roldana [1].....	212
Figura 428. Robot A, cambio de roldana [2].....	212
Figura 429. Robot A, pasada curva interior [1].....	213
Figura 430. Robot A, pasada curva interior [2].....	213
Figura 431. Robot A, pasada curva interior [3].....	213
Figura 432. Robot A, finalización pasada a 45°	214
Figura 433. Robot A, en espera a la finalización de los otros dos	214
Figura 434. Robot A, engrapado a 90°	215
Figura 435. Robot A, aproximación a la pieza.....	215
Figura 436. Robot A, pasada curva interior [1].....	216
Figura 437. Robot A, pasada curva interior [2].....	216
Figura 438. Robot A, pasada curva interior [3].....	216
Figura 439. Robot A, cambio de roldana [1].....	217
Figura 440. Robot A, cambio de roldana [2].....	217
Figura 441. Robot A, a la espera del robot B	217
Figura 444. Robot A, vuelta a posición inicial.....	218
Figura 443. Robot A, finalización de la pasada a 90°	218
Figura 442. Robot A, a la espera del robot C	218
Figura 445. Robot B, engrapado a 45°	219
Figura 446. Robot B, aproximación a la pieza.....	219
Figura 447. Robot B, cambio de roldana [1].....	220
Figura 448. Robot B, cambio de roldana [2].....	220
Figura 449. Robot B, finalización engrapado a 90°	220
Figura 450. Robot B, a la espera de finalización de los otros robots.....	221
Figura 451. Robot B, engrapado a 90°	221
Figura 452. Robot B, aproximación a la pieza.....	222
Figura 453. Robot B, envío de señal de movimiento al robot C y espera de la señal de movimiento de C	222
Figura 454. Robot B, envío de señal de movimiento al robot A y espera a señal de movimiento de A	223
Figura 456. Robot B, cambio de roldana [2].....	223
Figura 455. Robot B, cambio de roldana [1].....	223
Figura 457. Robot B, finalización engrapado a 90°	224
Figura 458. Robot B en posición inicial	224
Figura 459. Robot C engrapado a 45°	225
Figura 460. Robot C, aproximación a la pieza.....	225
Figura 461. Robot C, cambio de roldana [1].....	226
Figura 462. Robot C, cambio de roldana [2].....	226

Figura 463. Robot C, roldana pequeña para el engrapado de la curva interior.	226
Figura 464. Robot C, pasada curva interior [1].....	227
Figura 465. Robot C, pasada curva interior [2].....	227
Figura 466. Robot C, pasada curva interior [3].....	227
Figura 467. Robot C, roldana grande para terminar la finalización.....	228
Figura 468. Robot C, finalización pasada 45°.....	228
Figura 469. Robot C, espera a la finalización de los otros robots.....	228
Figura 470. Robot C, engrapado a 90°.....	229
Figura 471. Robot C, aproximación a la pieza.....	229
Figura 472. Robot C, uso de la roldana pequeña para en engrapado de la curva interior.....	230
Figura 473. Robot C, curva interior [1].....	230
Figura 474. Robot C, curva interior [1].....	230
Figura 475. Robot C, pasada curva interior [3].....	231
Figura 476. Robot C, cambio de roldana tras la curva interior.....	231
Figura 477. Robot C en espera a la señal del robot B.....	231
Figura 478. Robot C cambio de roldana para mecanizar el cambio de concavidad y la esquina.....	232
Figura 479. Robot C envía señal de movimiento al robot B y permanece en espera a la señal del robot A.....	232
Figura 480. Robot C, en espera de la señal de movimiento del robot B.....	232
Figura 481. Robot C, finalización del engrapado a 90°.....	233
Figura 482. Robot C, vuelta a la posición inicial.....	233

1.Introducción

1.1. Motivación

La robótica siempre ha sido un área que me ha llamado especialmente la atención debido a la gran cantidad de aplicaciones que presenta en múltiples ámbitos como el industrial, el doméstico o el recreativo. Desde que era pequeño me ha parecido fascinante la posibilidad de programar un robot y observar cómo este cumple la función asignada, y tanto la carrera como este proyecto me han permitido ponerlo en práctica. Una de mis primeras experiencias con esta rama del conocimiento fue durante la asignatura de Sistemas Robotizados, en la cual pude ver con mucho más detalle estos conceptos, y aprendí a utilizar el programa *Robotstudio* para el control de robots de tipo ABB.

Debido a esto, decidí enfocar mi trabajo de fin de grado en el campo de la robótica y tomé la decisión de hacer las prácticas en Ergos Technology S.L. Esta es una empresa que, entre otros, se dedica a la realización y puesta en marcha de diferentes proyectos de automatización y robótica.

Uno de mis objetivos principales a la hora de realizar este TFG ha sido la aplicación de los conocimientos sobre robótica adquiridos en la universidad en un entorno de trabajo real y más complejo que los vistos hasta ahora.

Este trabajo surge por tanto de las prácticas desarrolladas en Ergos Technology S.L., donde estuve programando los movimientos de varios robots que trabajan sobre la misma pieza con el problema que supone que tres robots se encuentren trabajando simultáneamente en un espacio reducido.

1.2. Objetivos

Los principales objetivos del proyecto son:

- Control de diferentes robots trabajando de forma continua y coordinada.
- Aplicación de los conceptos desarrollados durante las prácticas de empresa.
- Estudiar un caso real de plegado de chapa en útiles industriales.
- Estudio de funcionamiento de los robots Fanuc.

1.3. Conocimientos previos

Para el desarrollo del proyecto, se han requerido principalmente conocimientos sobre el funcionamiento de robots, en concreto, sobre el funcionamiento de brazos robóticos. Al ser estos brazos robots de la marca Fanuc se necesita conocer el software de *Roboguide* en el que se centrará este proyecto.

1.4. Estructura del contenido

El proyecto estará estructurado de la siguiente manera:

- Introducción teórica de la historia de la robótica para dar contexto al proyecto.
- Explicación del programa utilizado para la programación de la estación, introduciendo conceptos generales del mismo para seguidamente entrar en detalle de las nociones específicas utilizadas.
- Ilustración de la estación a realizar, fundamento teórico de los conceptos y normativa a utilizar.
- Creación de las herramientas, movimientos, trayectorias y colisiones de los robots para cada pieza.
- Resultados de las simulaciones de todas las piezas.
- Conclusiones obtenidas de la simulaciones y posibles mejoras de funcionamiento.
- Referencias bibliográficas.

2. Marco teórico y estado del arte

2.1. Historia de la robótica

El concepto de robot se empezó a acuñar a partir de la Revolución Industrial, pero hay pruebas de la existencia de lo que se podrían llamar robots o autómatas desde hace miles de años. [1]

Ya en el antiguo **Egipto** (alrededor del XVI a.C) las estatuas de sus dioses construidas en templos religiosos tenían sistemas que les permitían mover la cabeza. Los egipcios las consultaban con frecuencia y estas respondían con un movimiento de cabeza. [3]

En **Grecia** el matemático **Arquitas de Talento** (430-360 a.C) desarrolló un mecanismo parecido a una paloma la cual era capaz de volar alrededor del 400 a.C. Esta era propulsada por unos chorros de vapor al calentarse agua de un depósito en su interior. [4]

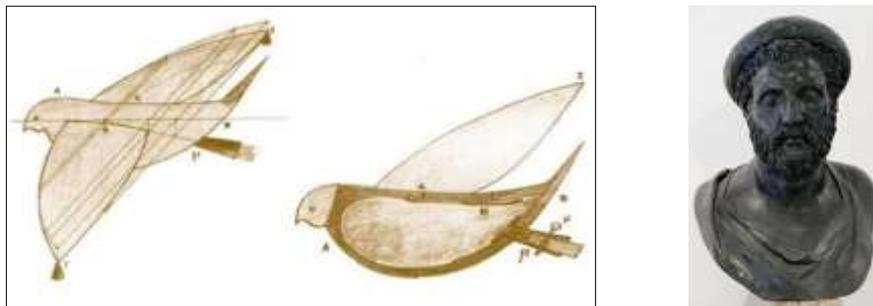


Figura 1. Paloma de Arquitas y Arquitas de Talento (fuente historia-biografia.com)

En la Alejandría griega, ingenieros de la ciudad crearon varios autómatas. Uno de los últimos de estos ingenieros fue **Heron de Alejandría** [4] (10-75 d.C) quien escribió el primer libro de robótica de la historia “Autómata”. En él se habla de los pájaros de Herón, unos pájaros de construidos en una fuente capaces de volar, beber y gorjear funcionando de manera automática.

En la Edad Media el monje **Alberto Magno** [2] (1204-1282) construyó un autómata de hierro el cual era usado como mayordomo al poder andar y abrir la puerta del monasterio.

El autómata más antiguo del mundo conservado en la actualidad data del siglo XIV siendo este el gallo del reloj de la catedral de Estrasburgo [3]. Este movía el pico y las alas al dar la hora. Estuvo en funcionamiento hasta 1789.

Se le atribuye a **Leonardo da Vinci** (1452-1519) el diseño de un caballero mecánico [2] el cual mediante un sistema de poleas podía mover la cabeza, mandíbula y ponerse en guardia mediante un movimiento de brazos.



*Figura 2. Caballero mecánico
(fuente wikipedia.com)*

En los siglos XVII-XVIII los relojeros europeos crearon diferentes autómatas con forma de muñecos. Entre ellos, el suizo **Pierre Jaquet-Droz** (1721-1790) diseñó un autómata con forma de niño capaz de mover los ojos la boca y realizar 4 dibujos diferentes [3].

2.2. Aplicación de la robótica a la industria

El término “robot” es usado por primera vez en 1920 por el escritor checo **Karel Capek** [3] en su obra *Robots Universales Rossum (R.U.R.)*. En checo la palabra robot (“robota”) significa trabajo forzado o servidumbre representado en la obra como un humanoide diseñado para aliviar la carga de trabajo a los humanos.

No es hasta 1954 que aparece el primer robot diseñado por el inventor Estadounidense **George Devol** [3] (1912-2011). Este brazo robot llamado Unimate se instaló en una fábrica de General Motors en 1961 y se encargaba de cargar y descargar piezas de una máquina de fundición por inyección. En 1973 la empresa sueca ASEA creó el **robot IRB6**, siendo el primer robot con accionamiento totalmente eléctrico.

En 1978 la empresa 'Unimation' construye el robot **PUMA** (Programable Universal Machine for Assembly) a partir del cual se basarán la mayor parte de los brazos robóticos industriales actuales.



Figura 3. Robot Puma (fuente personal.us.es)

2.3. Clasificación de Robots

2.3.1. Clasificación cronológica [5]

Generación	Tipo de robot	Características
Primera	Robots manipuladores	Realizan tareas previamente programadas sin retroalimentación (no hay comunicación con el entorno).
Segunda	Robots en aprendizaje	Toman retroalimentación del entorno por medio de sensores. Pueden moverse a través de raíles.
Tercera	Robots con sensores	Robots programables mediante lenguajes de programación de alto nivel. Gama más alta de tareas.
Cuarta	Robots móviles	Capacidad de aprendizaje a través de la experiencia (mediante lógica difusa y redes neuronales). Capaces de moverse libremente.
Quinta	Robots inteligentes	Aún en desarrollo. Robots con inteligencia artificial plena.

2.3.1. Clasificación según sus articulaciones [\[6,7\]](#)

- **Robots antropomórficos:** constan de 6 grados de libertad.



*Figura 4. Robot antropomórfico
(fuente campetella.com)*

- **Robots scara:** robot de desplazamiento horizontal con 4 grados de libertad. Tienen mucha precisión y velocidad.



*Figura 5. Robot Scara
(fuente Fanuc.eu)*

- **Robots cartesianos:** robot con 3 ejes perpendiculares (X,Y, Z). Los ejes solo se desplazan de forma lineal.



Figura 6. Robot cartesiano de 2 ejes (fuente plástico.com)

- **Robots cilíndricos:** los robots tienen un movimiento de rotación sobre la base y uno prismático para la altura y el radio. Presenta 3 grados de libertad (2 lineales y uno de rotación).

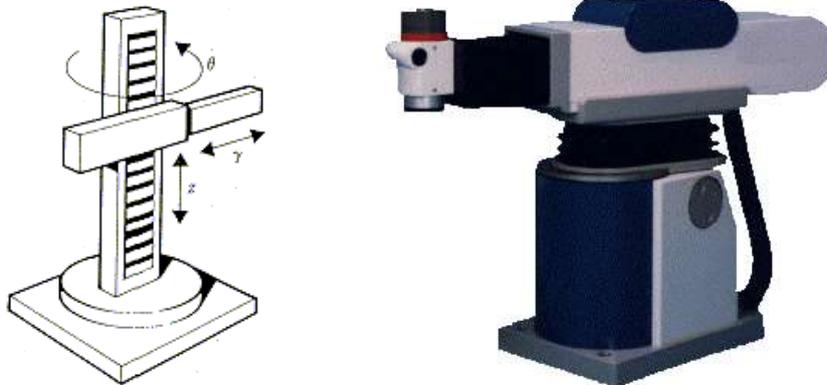


Figura 7. Robot cilíndrico (fuente platea.pntic.mec.es)

- **Robots esféricos:** los robots tienen dos movimientos de rotación, uno para la base y otra para la altura y uno prismático para el radio.

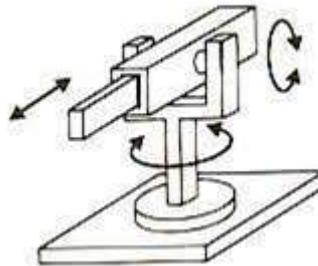


Figura 8. Robot esférico (fuente isa.uniovi.es)

- **Robots paralelos:** robots de 3 grados de libertad basados en una serie de articulaciones prismáticas. Están conectados a la base del robot y a una articulación esférica de 3 grado de libertad. El efector final es siempre paralelo a la base.



Figura 9. Robot paralelo (fuente urany.net)

- **Robots colaborativos (cobots):** robots diseñados para interactuar con humanos sin necesidad de medidas de seguridad como vallas.



Figura 10. Robot colaborativo (fuente innovaciondigital360.com)

3. Roboguide

Roboguide es un software de simulación 3D de robots Fanuc destinado a la programación de los movimientos y los comandos de los programas de los robots de la marca. Las nuevas configuraciones de movimiento requieren mucho menos tiempo de desarrollo. La capacidad de exportar los programas diseñados de forma offline a los soportes físicos implica que la repercusión en la producción industrial es mínima.

A mayores, *Roboguide* permite importar modelos de piezas como archivos CAD haciendo que no sea necesario desarrollarlos en el mismo, permitiendo ahorrar su tiempo de diseño.

3.1. Herramientas de *Roboguide*

En función de qué tarea se quiera realizar, se dispone de diferentes herramientas software para llevarlas a cabo. Las principales de ellas son:

- **ChamferingPro:** permite generar y simular programas de desbarbado automáticamente. Para generar las trayectorias, solo es necesario trazar los contornos en el CAD 3D. [\[9\]](#)
- **HandlingPro:** simula y prueba procesos de manipulación de materiales realizando estudios de viabilidad sin necesidad de desarrollarlo de forma física. [\[9\]](#)
- **PaintPro:** orientado a las trayectorias del robot para procesos de pintura. Dispone de funciones diseñadas para el control de las pistolas de pintura. [\[9\]](#)
- **OLPCPRO:** software de desarrollo de programas de robots para desarrollo y mantenimiento de programación Karel y teach Pendant. [\[9\]](#)
- **PalletPro:** permite usar un software de paletización offline. Estos datos se pueden cargar en un robot con capacidad de paletizada. [\[9\]](#)
- **WeldPro:** simula procesos de soldadura por arco. [\[9\]](#)
- **iRPickPRO:** simula aplicaciones 'pick and plate' de alta velocidad. [\[9\]](#)

3.2. HandlingPro

Para este proyecto se utilizará HandlingPro con lo que vamos a verlo con más detalle.

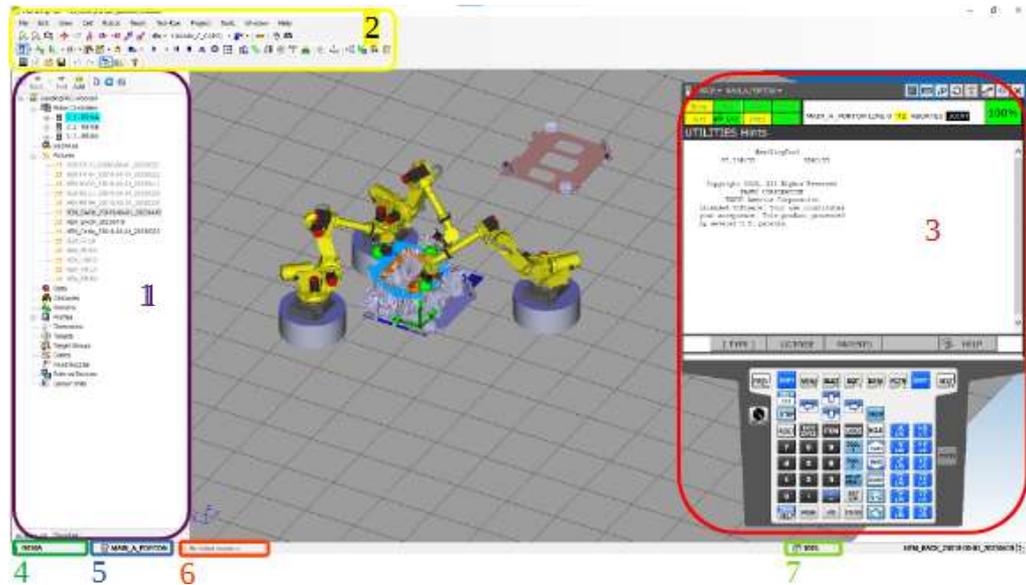


Figura 11. Visión del Handling Pro

Siendo las partes fundamentales del mismo:

1. Árbol de Proyecto
2. Barra de Herramientas
3. TeachPendant
4. Robot seleccionado
5. Programa seleccionado
6. Errores detectados
7. Velocidad de la simulación

Los puntos 4 al 7 son auto explicativos por lo que no se desarrollarán, sin embargo, se entrará en más detalle con respecto a los puntos 1, 2 y 3.

3.2.1. Árbol de Proyecto

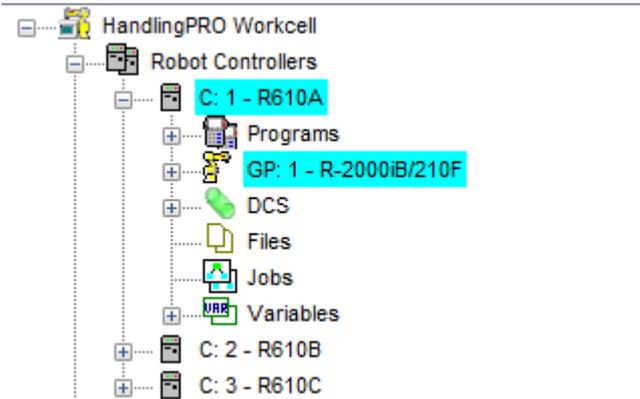


Figura 12. Árbol de proyectos. Controladores

En el árbol de proyectos se encuentran los apartados correspondientes al control de los robots. En este caso se presentan 3 robots, cada uno con varios directorios. El directorio 'Programs' presenta los programas que utiliza el robot como, por ejemplo, las trayectorias seguidas por el robot en el que está programado. En GP se encuentran las herramientas utilizadas por el robot (pudiendo ser una o varias). En 'variables' se encuentran las variables con las que el robot ha sido programado.



Figura 13. Árbol de proyectos. Machines

El apartado de 'Machines' es donde se encuentran las máquinas que el programa va a utilizar. En este caso está vacío ya que no cuenta como máquinas como podrían ser cintas transportadoras, fresadoras...

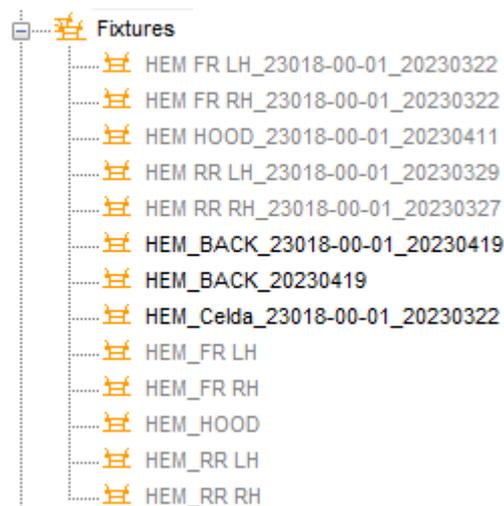


Figura 14. Árbol de proyectos, Fixtures

En 'fixtures' se encuentran los soportes y moldes con los que los robos trabajarán.

Los 3 'fixtures' marcados en negro significan que actualmente son visibles en el **HandlingPro** mientras que los sombreados se encuentran ocultos.

3.2.2. Barra de herramientas

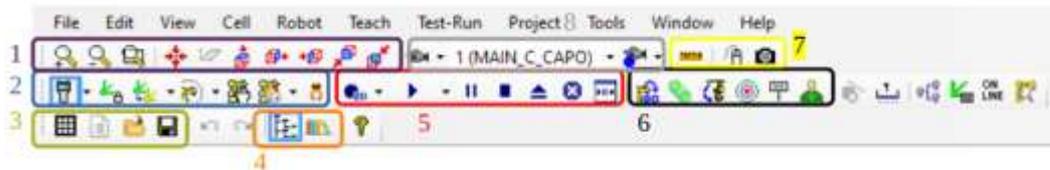


Figura 15. Barra de herramientas

Las principales funciones de la barra de herramientas son los marcados con los diferentes colores, siendo estos:

1. Los tres primeros iconos corresponden a las órdenes acercar, alejar y centrar vista respectivamente, así como centrar la perspectiva en cierto objeto y ver el proyecto desde diferentes perspectivas.
2. El primer icono empezando por la izquierda es el de mostrar/ocultar el 'teach pendant'. Los dos siguientes son guardar la posición del robot y devolverlo a la posición previamente guardada. La siguiente muestra una esfera alrededor del robot, representando el espacio de trabajo con y sin herramienta en él. La siguiente te permite mover los ejes del robot de forma manual y la de su derecha manda los robots a una posición guardada llamada 'Home'. La última abre o cierra la pinza en caso de que el robot tuviese alguna.
3. Menú con las funciones más utilizadas como añadir robot, obstáculo, guardar celda, arrancar simulación... Así como iconos para añadir celda, abrirla y guardarla.
4. Abrir el **árbol de proyectos** y la librería de imágenes.
5. Iconos con relación a la ejecución de la simulación como: grabado de la misma, arranque, parada, abortar ejecución, resetear, parada inmediata y panel de control de los anteriormente mencionados.
6. Movimiento de TCP, mostrar/ocultar el DCS de los diferentes objetos, mover el TCP del robot seleccionado con respecto a diferentes sistemas (vértice, punto medio, donde hagas 'click'). También mostrar si es válido el movimiento entre puntos, añadir etiquetas y mostrar operario.
7. Regla para medir distancias entre diferentes puntos, comandos para el control del ratón y guardar imagen.
8. Guardar vista del 3D en función del programa seleccionado y llevar la vista hasta la posición guardada.

3.2.3. Teach Pendant



Figura 16. Teach pendant física (fuente Fanuc.eu)



Figura 17. Teach pendant simulación

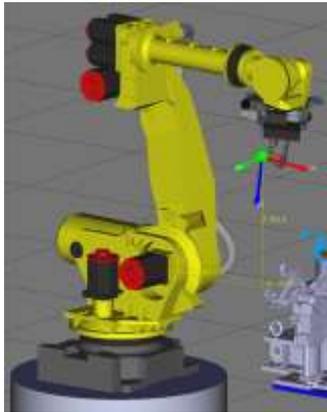
El teach pendant es una consola de mano que permite el control del robot con ella, así como recibir información de la ejecución del programa como pueden ser notificaciones o errores que puedan darse. También permite programar al robot desde su interfaz (como lo puedes hacer desde el ordenador). Está compuesta por la pantalla, que muestra lo que sucede durante el programa y la botonera. Desde la botonera puedes desplazarte por los distintos menús, haciendo posible cambiar entre los modos automático y manual y permitiéndote, entre otros, variar la posición de los ejes o alternar velocidades de estos.

Cuenta con un pulsador en la parte trasera denominado ‘mano del hombre muerto’. Este es un sistema de seguridad que no permite que se use el teach pendant a menos que esté pulsado. De esta manera, se pueden evitar accidentes en caso de que por ejemplo alguien o algo entre en la zona de trabajo mientras el operario se encuentra manejando el robot. Cuando el operario se percate de ello bastará con dejar de accionar el pulsador para que el robot se detenga de forma inmediata evitando así posibles accidentes.

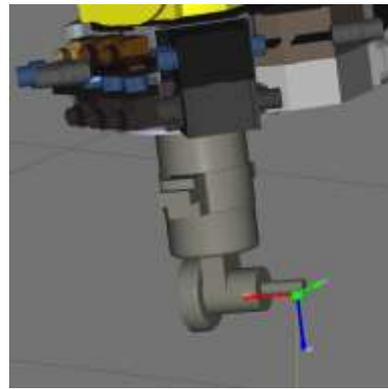
Esta consola es una forma de programar robots ‘in situ’ o de hacer variaciones a programas ya existentes en caso de que requieran de una modificación.

4. Diseño de la estación

Esta estación es una simulación de una estación real de una fábrica de automóviles, la cual está diseñada para hacer el doblado de chapa de las puertas delanteras y traseras de un coche, así como su capó y portón trasero. La estación está compuesta por 3 robots R-2000iB/210F [8] equipados cada uno de ellos con dos roldanas de diferente diámetro.



*Figura 18. Robot R
2000iB/210F*



*Figura 19. Detalle de las
roldanas*

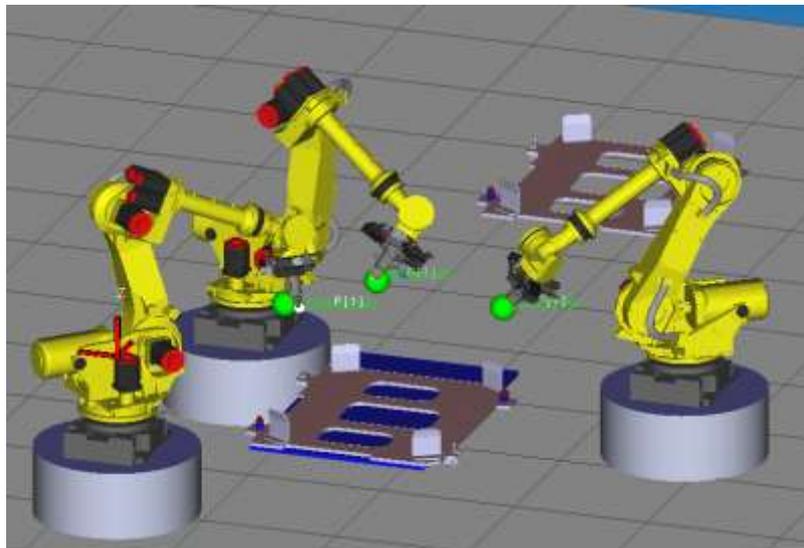


Figura 20. Estación sin moldes

La estación cuenta con un soporte donde se colocarán los moldes para los útiles, siendo este compatible con los 6 moldes.

Los útiles en cuestión son los siguientes:

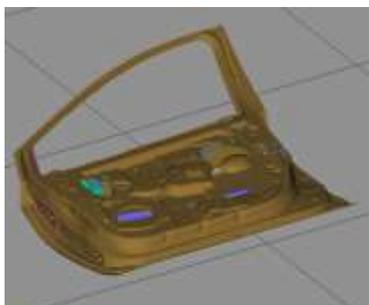


Figura 22. Puerta delantera derecha

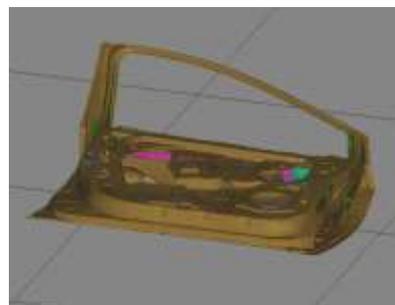


Figura 21. Puerta delantera izquierda

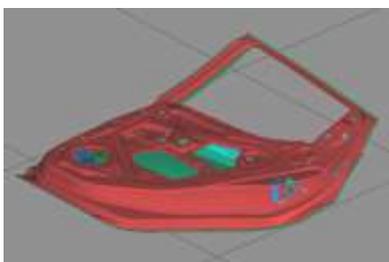


Figura 24. Puerta trasera derecha

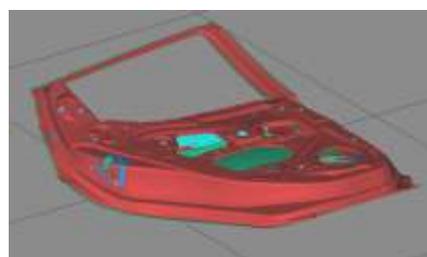


Figura 23. Puerta trasera izquierda

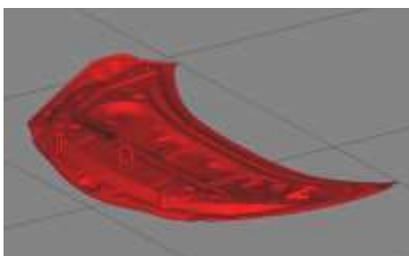


Figura 25. Capó

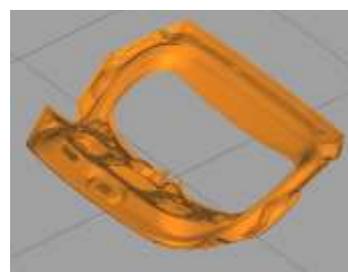


Figura 26. Portón

4.1. Proceso de Rebordeado (Hemming).

El proceso de rebordeado ('Hemming') [11] es una técnica de moldeado en frío para la unión de chapas, usado tanto para la unión de componentes del mismo material como para componentes de materiales distintos.

Para ello, los bordes de la parte exterior se doblan hacia la parte inferior, uniendo ambas de forma permanente.

Este método es especialmente usado durante la fabricación de piezas de automóviles como puertas, capós, maleteros o guardabarros.

Existen dos procesos de rebordeado:

- **Rebordeado por matriz convencional.** Utilizado para procesos de producción masiva. El proceso se lleva a cabo tal y como indica la **figura 27**, en la que la parte exterior es doblada en varios pasos hasta llegar al doblado final. Este proceso es caro, pero con un tiempo de ciclo muy bajo.

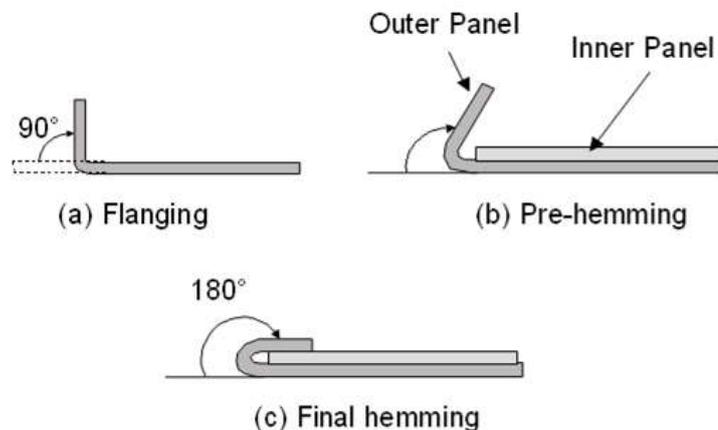


Figura 27. 'Hemming' por matriz convencional (fuente *researchgate.net*)

- **Rebordeado por rodillo.** Este proceso es realizado por un robot industrial equipado con una herramienta de rodillo la cual llevará a cabo el engrapado. Normalmente este proceso se divide en varias partes, encargándose el robot de realizar diferentes pasadas a la pieza con ángulos cada vez más cerrados hasta que se juntan las dos piezas (ilustrado en la **figura 28** donde el rodillo realiza 3 pasadas). Las herramientas son más baratas que las requeridas en el de matriz convencional pero el tiempo de ciclo es mucho mayor al seguir el robot una trayectoria definida. Sin embargo, es un proceso más flexible que el anterior debido a la capacidad de trabajar en diferentes piezas reprogramando al robot, lo que en el rebordeado por matriz no es posible.

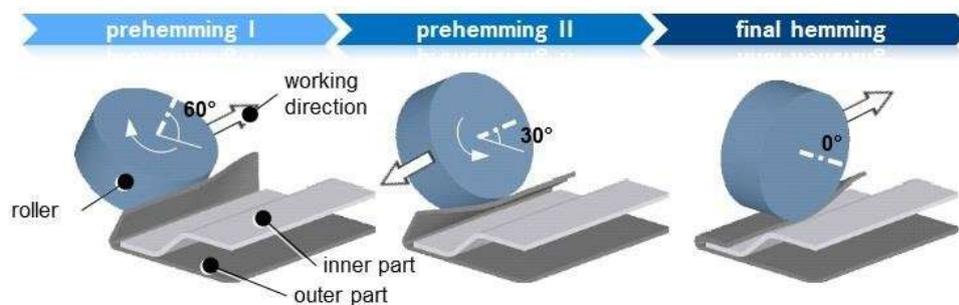


Figura 28. "Roller Hemming" (fuente researchgate.net)

Para minimizar los problemas que surgen a la hora de realizar el proceso, principalmente por el aumento del tiempo de ciclo, es común adoptar una serie de medidas como son:

- **Incrementar el número de robots disponibles:** cada robot tardará menos al tener menos superficie en la que trabajar
- **Que un solo robot tenga más de un set de herramientas:** así no pierde tiempo al no necesitar ir a cambiar la herramienta en medio del proceso.

4.1.1. Velocidad durante el proceso

La velocidad estará limitada según los siguientes supuestos:

- **Movimiento en vacío:** 500-1500 mm/sec CNT100. Los movimientos alejados del útil priorizan la velocidad con poca precisión.
- **Movimiento de aproximación:** 500 mm/sec CNT100. A la hora de acercarse al útil se reducirá su velocidad.
- **Aplicar presión en el útil:** 50 mm/sec CNT0. Es necesario baja velocidad y máxima precisión para no deformar la zona donde se empezará a aplicar presión.
- **Movimiento sobre el útil:** 100-400 mm/sec CNT50-CNT100. Las velocidades oscilarán según se requiera por la geometría de la pieza. En tramos rectos la velocidad llegará a los 400 mm/sec CNT100 mientras que zonas menos lineales se reducirá entre 300-100 mm/sec con CNT50. En zonas de cambios de concavidad o las esquinas, la velocidad será de 100 deg/sec CNT 50.
- **Dejar de aplicar presión:** 50 mm/sec CNT0. Para evitar que el útil sea proyectado hacia afuera se liberará la presión poco a poco.

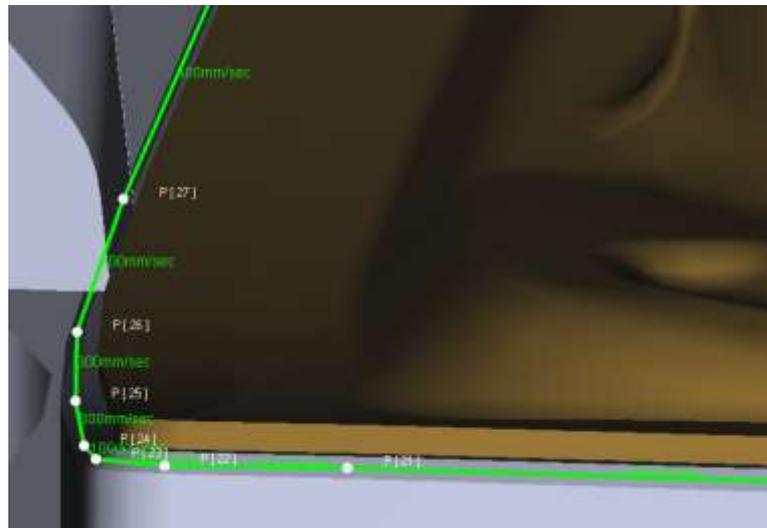


Figura 29. Diferencia de velocidades

La distancia entre puntos también se tendrá en cuenta pues cuanto más lineal sea el tramo menos puntos serán necesarios para crear la trayectoria, mientras que en zonas curvas se requerirá de un mayor número de puntos.



Figura 30. Tramo lineal

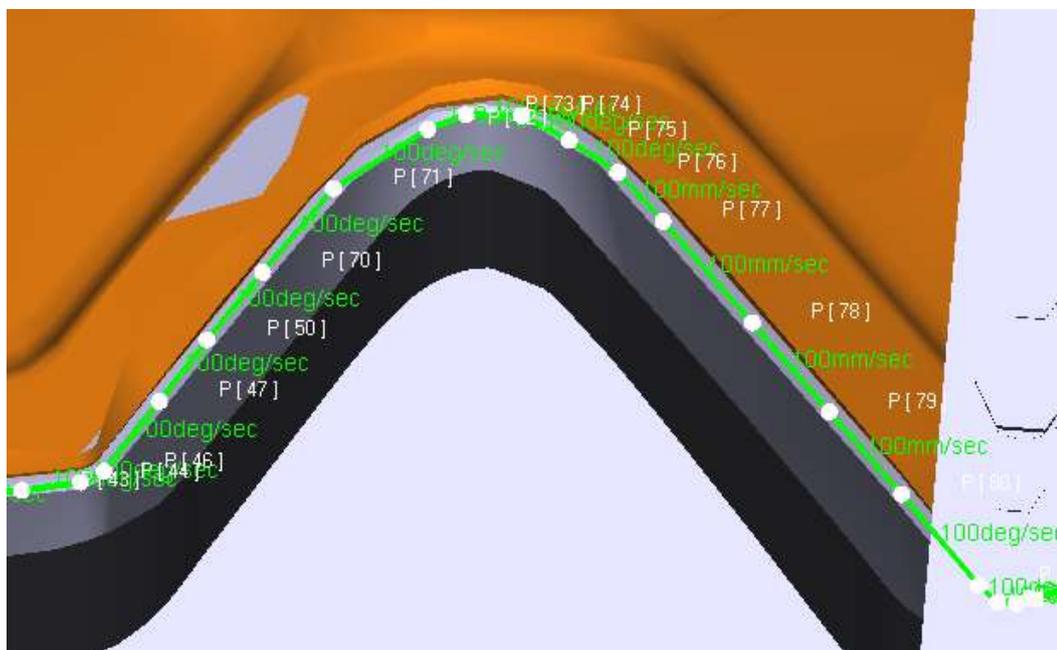


Figura 31. Tramo curvo

4.1.2. Detalles a tener en cuenta sobre el rebordeado.

En este proyecto se utilizará el proceso de rebordeado por rodillo. Se dispondrá de 2 rodillos (los cuales denominaremos roldanas) de 17 y 90 mm de diámetro.

En este proceso se realizarán dos pasadas sobre los útiles. La primera ('prehemming') a 45° con respecto al útil y la segunda ('hemming') a 90°.

Siempre que sea posible, se procurará utilizar la roldana de 90 mm; sin embargo, la herramienta es demasiado grande en ciertas zonas donde se produce un cambio de concavidad o cuando la pieza se dobla sobre sí misma, haciendo que la roldana golpee e impidiendo su uso. En estos casos el robot recurrirá a la herramienta de 17 mm.

Esto se puede apreciar en las **figuras 32 y 33**:

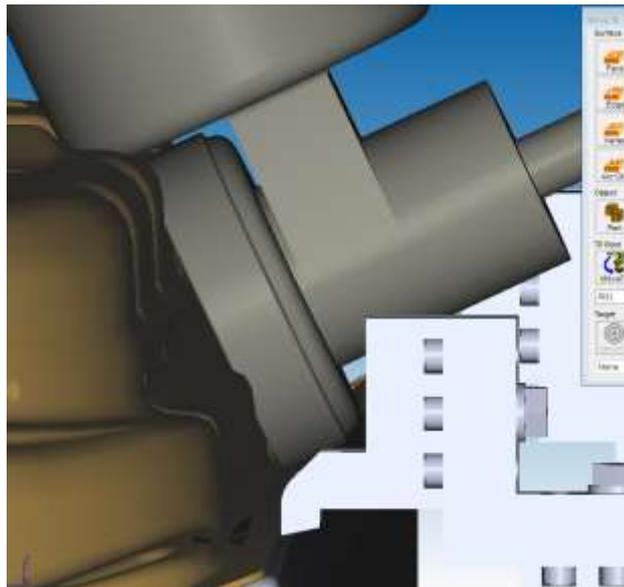


Figura 32. La roldana grande choca con el cuerpo del útil.

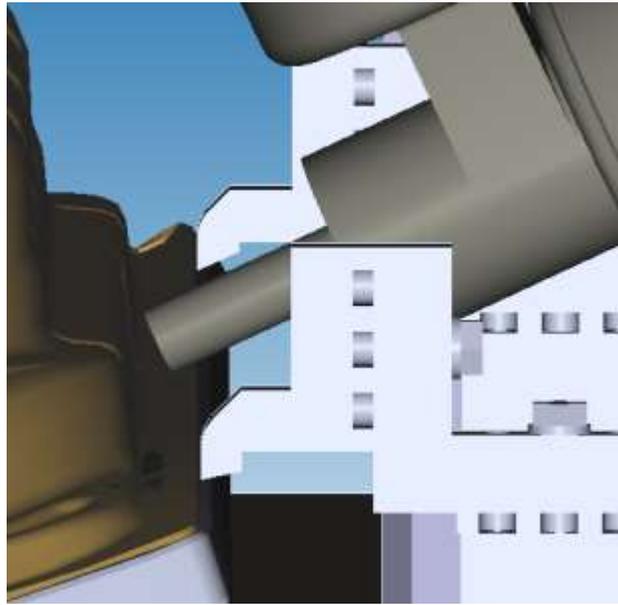


Figura 33. Roldana pequeña accede sin problemas al útil.

En este caso se puede apreciar que, aunque este lado del útil no presente problemas de concavidad o giros cerrados que pueden darle problemas a la roldana grande, no es posible su uso. Esto se debe a que al tener que hacer una pasada a 90° con respecto al molde, la herramienta chocará con el mismo, por lo que será necesario cambiar la herramienta cuando se produce un cambio en la altura del útil.

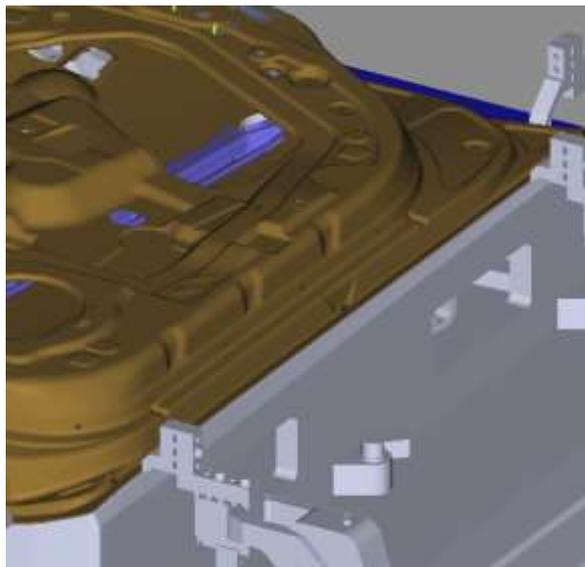


Figura 34. Lateral para rebordear

Tomando como ejemplo la **Figura 34**, las pasadas a 45° y 90° se realizan con herramientas diferentes. La primera pasada se realizará con la roldana grande (en caso de que ambas puedan realizar el mecanizado, se priorizará la grande ya que es más rápida).

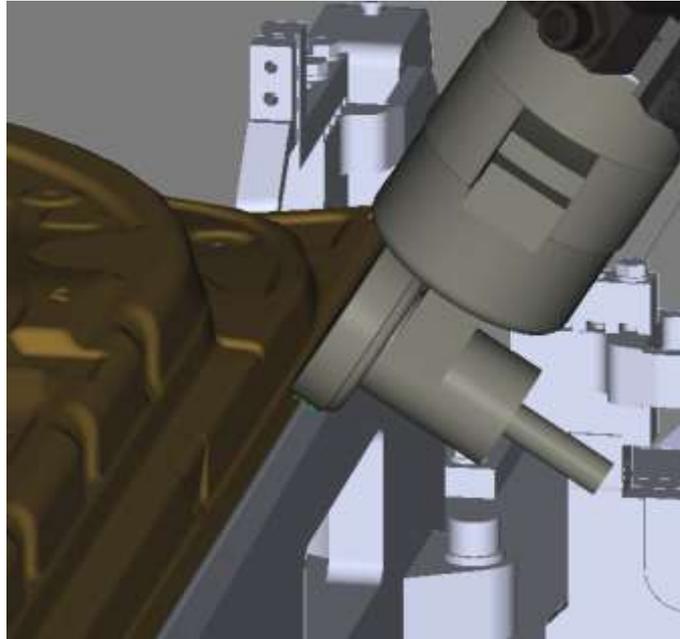


Figura 35. Roldana grande a 45°



Figura 36. Tramo realizado a 45°

La pasada a 90° es más compleja debido a la necesidad de cambiar la herramienta llegado a cierto punto. Esto ralentiza el proceso, al ser necesario que el robot se aleje del útil, gire la herramienta 180°, vuelva a aproximarse al punto anterior y luego continúe con el proceso.

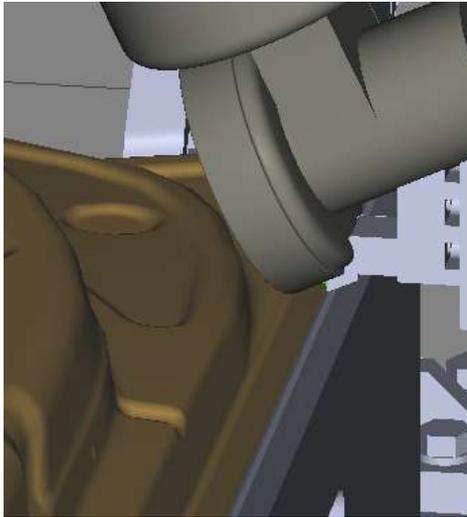


Figura 37. Roldana grande a 90°



Figura 38. Roldana pequeña a 90°



Figura 39. Tramo realizado a 90°

4.2. Seguridad en entornos robotizados industriales

El trabajo con robots industrial puede presentar peligros para el operario. Por ello existe una normativa para evitar este tipo de accidentes.

4.2.1. Tipo de peligros

Mala instalación. Una mala instalación de un sistema robótico hace que el entorno de trabajo no sea seguro y presente problemas por no tener en cuenta las medidas de comprobación entre otros motivos. [\[12\]](#)

Exposición a corrientes eléctricas. Se debe controlar la energía que contienen los robots ya sea por estar conectados a una fuente de energía, mal aislamiento de los cables o porque cuentan con energía residual almacenada. Por ello se debe restringir el acceso no autorizado a estas zonas minimizando así los riesgos para las personas. [\[12\]](#)

Errores de control. Fallos eléctricos o de software pueden producir movimientos no deseados del robot pudiendo poner en peligro la instalación. [\[12\]](#)

Fallos humanos. Pese a ser peligros poco comunes, ya que la introducción de robots busca evitar entre otros este tipo de fallos, se dan por un mal mantenimiento o mala programación por parte de un humano. [\[12\]](#)

Peligro mecánico. Debe existir una protección de las máquinas en caso de existir piezas móviles que puedan causar golpes, cortes o atrapamientos. [\[12\]](#)

Proyección de materiales. En algunas instalaciones pueden producirse chispas, motas de polvo o piezas eyectadas. [\[12\]](#)

4.2.2. Normativa de seguridad.

Es a partir de los años 90 con el incremento en el uso de la robótica en el ámbito industrial que se necesitó crear las primeras normativas legales con respecto a la seguridad y el uso de robots y sistemas robotizados para garantizar la seguridad de las personas.

Para el uso de maquinaria se seguirá la **Directiva 2006/42/CE** [\[13\]](#) del Parlamento Europeo y del Consejo la cual servirá como referencia.

La maquinaria que cumpla los requisitos especificados en la directiva vendrá con la marca de certificación europea para poder ser comercializado.



Figura 40. Marca de certificación europea

Siguiendo la directiva europea surgen las dos normativas en uso en España con respecto al uso de robots. Siendo estas:

UNE-EN ISO 10218-1:2012. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. [\[14\]](#) En esta norma se recogen las directrices para la creación de un diseño seguro, así como el correcto uso de los robots.

UNE-EN ISO 10218-2:2011. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. [\[15\]](#) En esta norma se recogen las normas para la integración de los robots en una o varias celdas. En la integración se tratarán aspectos relacionados con la información del diseño, fabricación, mantenimiento y retirada de servicios de robots o celdas.

5. Programación de la estación

El fin de esta estación es desarrollar una isla robotizada para un proceso de 'Hemming' en los seis útiles previamente mencionados.

Será necesario hacer seis programas distintos ya que, aunque los útiles son parecidos no es posible adaptar los programas al ser los tiempos de ejecución de cada robot diferentes en función del tipo de útil en el que se esté trabajando.

5.1. Estructura para la definición de los puntos.

La programación se ha realizado a través del teach pendant. Este sistema se basa en la creación de rutinas de movimiento para que las sigan los robots. Esto quiere decir que, para programar al robot, se deberá llevarle a ese punto en la simulación y guardar su posición. El robot realizará la cinemática inversa para ajustar sus ejes y poder llegar de forma satisfactoria al punto requerido.

Los parámetros para configurar a la hora de definir un punto son [\[10\]](#):

J P [1] 50% FINE Arc Start [5]

De izquierda a derecha, los parámetros para la definición de un punto son:

1. Los comandos del tipo de movimiento son:

- **J**: movimiento de la articulación.
- **L**: movimiento lineal.
- **C**: movimiento circular.

2. Tipos de posición:

- **P**: posición en el programa (programa local).
- **PR**: registro de posición (programa global).

3. Número de la posición o del registro.

4. Velocidad a la que se moverá al punto. La velocidad puede ser definida de varias maneras:

- **%**: velocidad en tanto por ciento respecto de los ejes.
- **inch/min**: velocidad en pulgadas/minuto.

- **deg/sec**: velocidad en grados/segundo.
- **mm/sec**: velocidad en milímetros/segundo.
- **cm/min**: velocidad en centímetros/minuto.
- **seg**: velocidad en segundos.

5. Tipo de terminación de movimiento.

- **Fine**: precisión fina. Usado para un punto exacto de llegada.
- **CNT**: continua. Usado cuando se necesita cierta tolerancia (el número de la tolerancia va desde 0 a 100). Este es el tipo de terminación más usada de las dos.

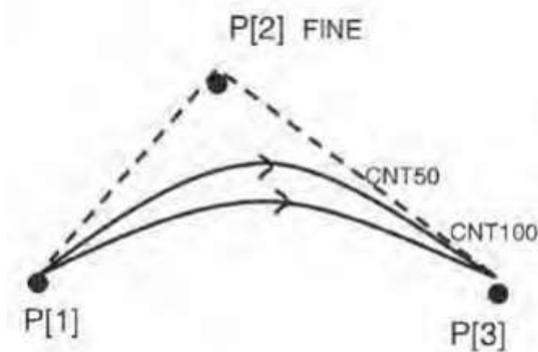


Figura 41. Tipos de terminación de movimiento (fuente infoplcn.net)

6. Opciones de movimiento (opcionales):

- **ACC**: aceleración/desaceleración (de 0 a 150).
- **Tool_offset, PR[_]**: mueve al robot a la posición correspondiente añadiendo un registro de posición adicional. La razón del empleo de esta opción se explicará con detalle más adelante.

5.1.1. Comandos adicionales.

A la hora de coordinar los distintos programas, se necesitarán órdenes adicionales para su correcta ejecución. Las más usadas en este proyecto son:

- **Llamada a programa:** se usa el comando **CALL** para llamar a una subrutina. Esto será utilizado para llamar todos los programas del mismo robot desde una instrucción MAIN que coordinará el resto de rutinas.
- **Instrucción de espera:** la utilización del comando **WAIT** permitirá detener la ejecución de un programa hasta recibir una señal. Esta señal puede ser una espera (pasado cierto tiempo) o una confirmación, las cuales serán las señales de entrada y salida.
- **Instrucción de sistema de referencia:** al tener dos herramientas distintas y por tanto dos TCP diferentes, será necesario ir alternando entre ambos según sea necesario. Por ello se utilizará **UTOOL_NUM** ya que cada herramienta tiene definido un número y esto permitirá ir alternando entre ellos.

5.1.2. Sincronización de las señales.

La mayor parte de las veces será necesario que los robots se coordinen entre ellos ya que, al estar trabajando en un mismo útil, siendo este de un tamaño reducido, mientras que las roldanas presentan un tamaño considerable, es relativamente fácil que se provoquen varias colisiones.

Esto será solucionado mediante el uso de señales de entrada y salida (DI y DO). Para ello se irán relacionando las señales en función de cuando colisionen y qué robots será necesario detener en cada momento, lo cual está representado en la **Figura 42**.

Para crear estas señales se hará desde el menú principal: Cell→ I/O InterConnects→ Add. De esta manera, se crean automáticamente una señal de entrada y otra de salida, pudiendo elegir qué señal se relaciona con qué robot y los números de estas señales.

Num Points	Output Dev	Type	Start Point	I/O Tag	Input Dev	Type	Start Point	I/O Tag
1	R610C	DO	1	DO[1]	R610A	DI	1	DI[1]
1	R610C	DO	1	DO[1]	R610B	DI	1	DI[1]
1	R610C	DO	2	DO[2]	R610A	DI	2	DI[2]
1	R610B	DO	2	DO[2]	R610A	DI	3	DI[3]
1	R610A	DO	2	DO[2]	R610B	DI	2	DI[2]
1	R610A	DO	3	DO[3]	R610B	DI	3	DI[3]
1	R610A	DO	3	DO[3]	R610C	DI	3	DI[3]
1	R610B	DO	3	DO[3]	R610A	DI	4	DI[4]
1	R610B	DO	3	DO[3]	R610C	DI	4	DI[4]
1	R610C	DO	3	DO[3]	R610A	DI	5	DI[5]
1	R610C	DO	3	DO[3]	R610B	DI	4	DI[4]
1	R610A	DO	1	DO[1]	R610C	DI	1	DI[1]
1	R610B	DO	6	DO[6]	R610C	DI	6	DI[6]
1	R610B	DO	7	DO[7]	R610A	DI	7	DI[7]

Figura 42. Tabla de conexión entre señales

En esta tabla se observan todas las señales utilizadas en el programa. En las 2 primeras líneas, por ejemplo, se ve como la señal DO[1] del robot C (R610C) activa las señales DI[1] de los robots A y B.

5.1.3. Uso de los comandos.

```

15/15
1: UTOOL_NUM=1
2: DO[2]=OFF
3: DO[3]=OFF
4:J @P[1] 100% CNT100
5: DO[3]=ON
6: WAIT DI[5]=ON AND DI[4]=ON
7: CALL MOV_ROBOT_A_45_IZQUIERDA
8:J P[3] 100% CNT100
9:L @P[1] 1500mm/sec CNT100
10: DO[3]=ON
11: WAIT DI[5]=ON AND DI[4]=ON
12: DO[2]=OFF
13: CALL MOV_ROBOT_A_90_IZQUIERDA
14:J @P[2] 100% CNT100
[End]

```

Figura 43. Programa Main del robot A

El programa empieza definiendo la herramienta que usa el robot, siendo esta la roldana grande (la cual tiene asignada el número 1). Pone a 0 las señales 2 y 3 del robot A, los cuales están conectadas con los robots B y C.

A continuación, lleva el robot a una posición concreta con movimiento de los ejes con una velocidad del 100% de los mismos con poca precisión (CNT100 no aproxima bien el punto final).

Una vez allí esperará a que los otros dos robots le envíen una señal para poder ejecutar la primera de sus 2 subrutinas. Al terminar esta se moverá a otro punto de forma **Joint** a una velocidad del 50% de sus ejes con poca precisión.

Esto hará que envíe una señal y espere a que los otros dos robots hagan lo propio, realizando la segunda subrutina y moviéndose a un punto final donde el programa termina.

```
17/17
1: DO[6]=OFF
2: DO[3]=OFF
3: DO[2]=OFF
4: UTOOL_NUM=1
5:J @P[1] 100% CNT100
6: DO[3]=ON
7: WAIT DI[3]=ON AND DI[4]=ON
8: CALL MOV_ROBOT_B_45_IZQUIERDA
9: UTOOL_NUM=1
10:L @P[1] 1500mm/sec CNT100
11: DO[2]=OFF
12: DO[3]=ON
13: WAIT DI[3]=ON AND DI[4]=ON
14: CALL MOV_ROBOT_B_90_IZQUIERDA
15: UTOOL_NUM=1
16:J @P[1] 100% CNT100
[End]
```

Figura 44. Programa Main del robot B

```
16/16
1: UTOOL_NUM=1
2: DO[1]=OFF
3: DO[2]=OFF
4: DO[3]=OFF
5:J @P[1] 100% CNT100
6: DO[3]=ON
7: WAIT DI[3]=ON AND DI[4]=ON
8: CALL MOV_ROBOT_C_45_IZQUIERDA
9: UTOOL_NUM=1
10:L @P[1] 1000mm/sec CNT100
11: DO[3]=ON
12: WAIT DI[3]=ON AND DI[4]=ON
13: CALL MOV_ROBOT_C_90_IZQUIERDA
14: UTOOL_NUM=1
15:J @P[1] 100% CNT100
[End]
```

Figura 45. Programa Main del robot C

Las figuras 42, 43 y 44 permiten observar las conexiones entre los tres robots.

5.1.4. Posicionamiento del TCP.

Las cotas grabadas de los distintos puntos (en coordenadas cartesianas) están referidas al TCP de la herramienta. El TCP (Tool Central Point o Punto central de la herramienta) es el punto utilizado para el posicionamiento del robot. Cuando se carga cada robot R-2000iB/210F en el programa, el TCP está situado en el extremo del eje 6 del robot. Este es un TCP predeterminado, el cual se deberá modificar cuando se le añadan las herramientas.

Existen varios métodos para situar el TCP de una herramienta como el método de los tres puntos, el método de 6 puntos o el **método directo**, siendo este último el usado en esta estación.

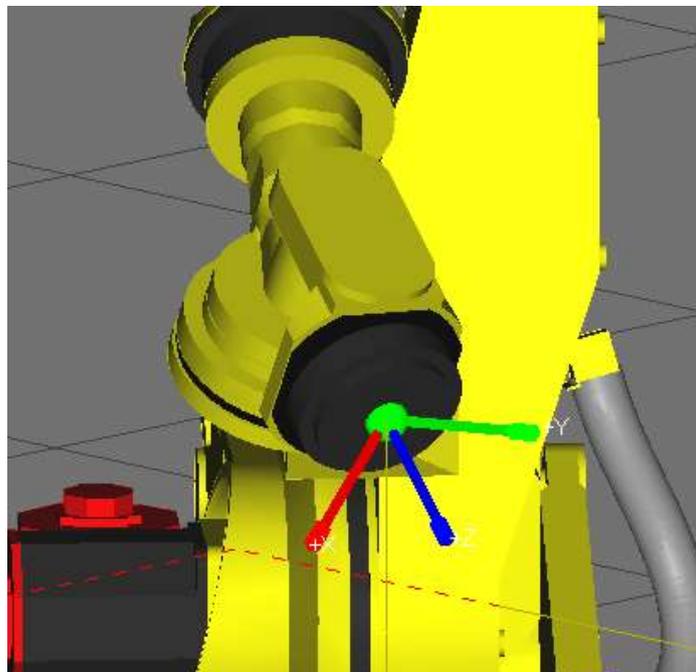


Figura 46. TCP predeterminado

En primer lugar, se deberá cargar la herramienta desde un archivo externo. En este caso, la herramienta se divide en 4 partes distintas, siendo estas el adaptador del lado del robot, el adaptador del lado de la herramienta, el adaptador de la roldana y la roldana.

Para la creación de la herramienta se selecciona el GP de un robot (en este caso del C), y se selecciona un espacio de herramienta vacío.

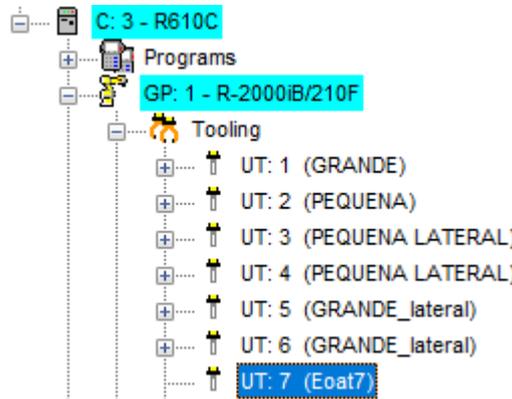


Figura 47. Selección de un espacio para la herramienta

En el espacio de la herramienta seleccionada se necesitará cargar el archivo CAD donde se encuentre el útil que se vaya a usar.

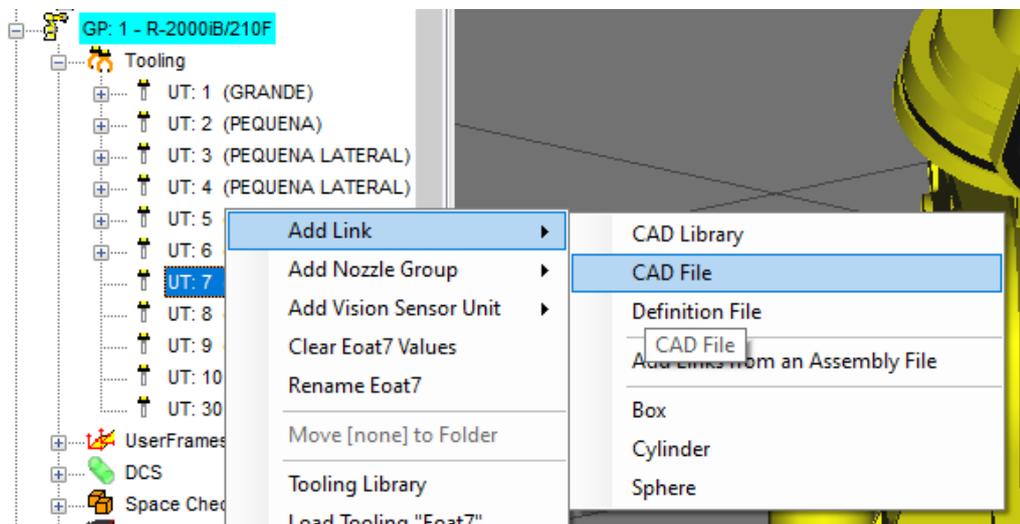


Figura 48. Cargar el adaptador del robot

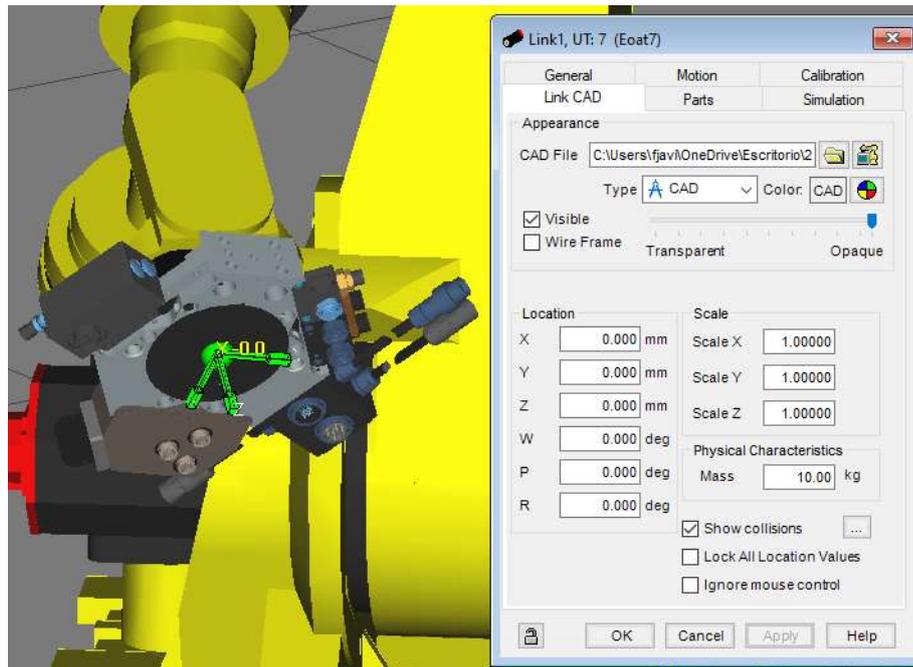


Figura 49. Adaptador del robot

Una vez cargado el adaptador del robot se añade el adaptador de la herramienta.

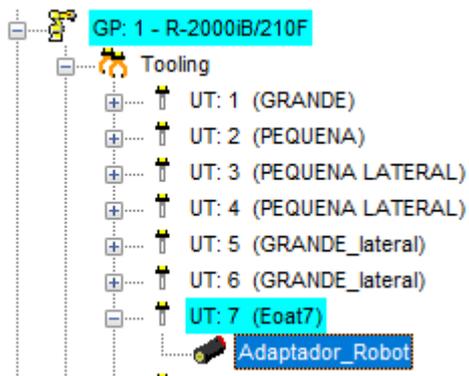


Figura 50. Creación de la herramienta

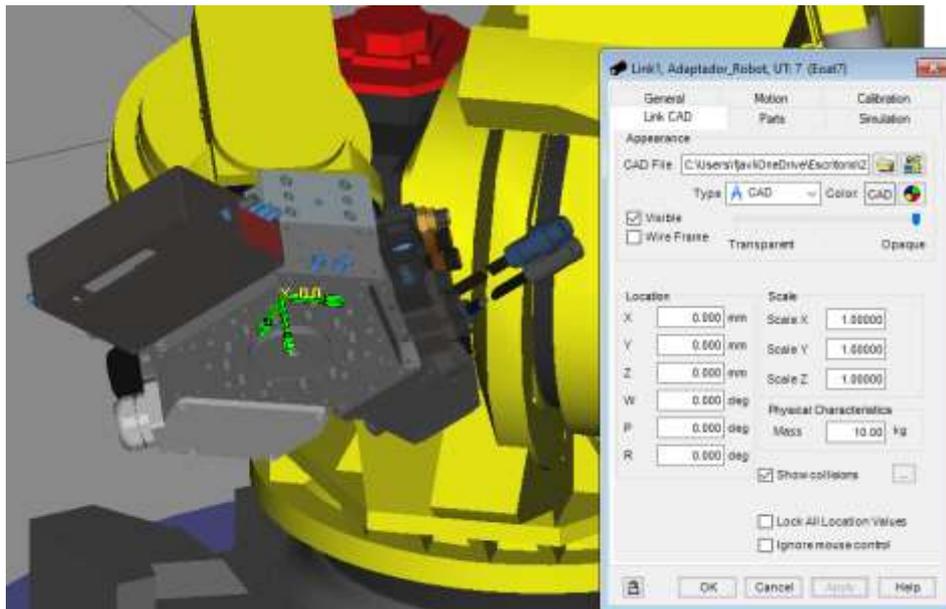


Figura 51. Adaptador de la herramienta

Se repite este proceso con el adaptador de la roldana y la roldana hasta terminar la herramienta.

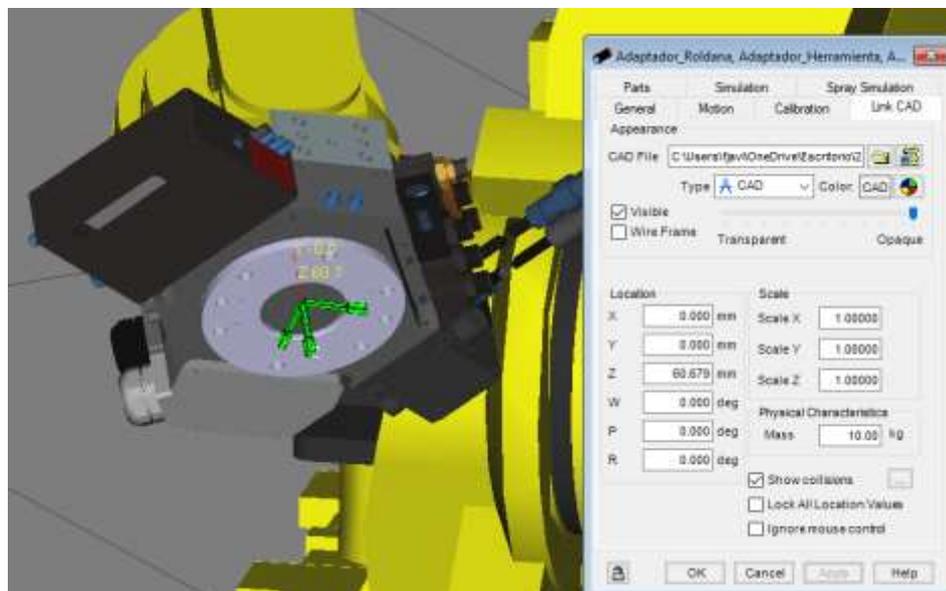


Figura 52. Adaptador de la roldana

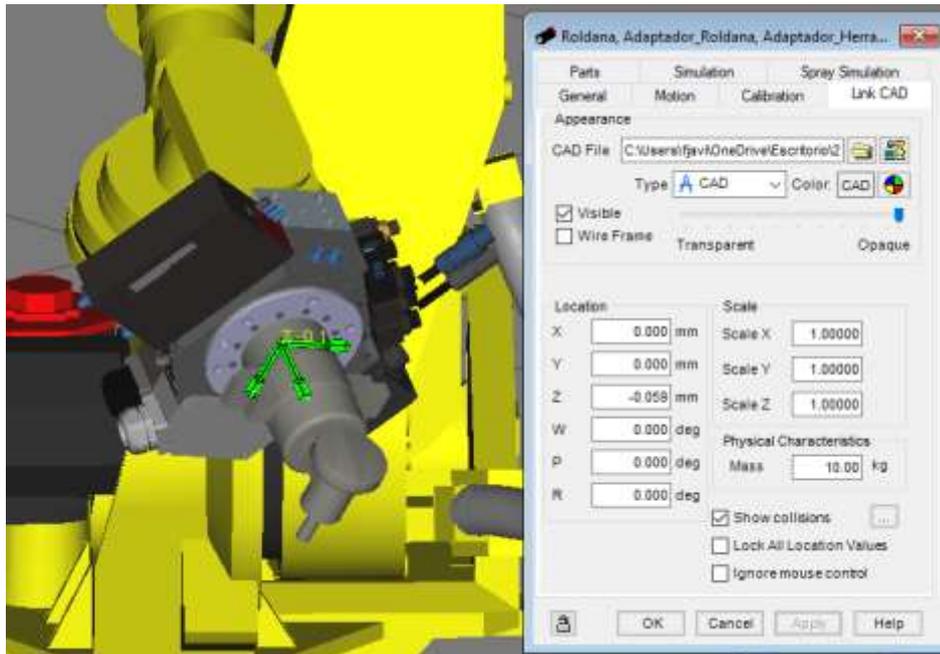


Figura 53. Roldana

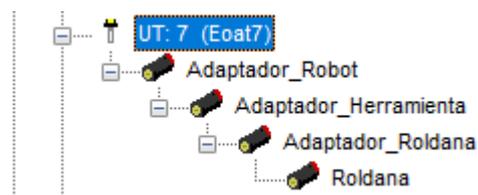


Figura 54. Herramienta con sus distintas entidades

Con la herramienta terminada se deberá fijar el TCP para una de las dos roldanas, bien la grande o la pequeña. Para ello se deberá seleccionar el UT:7 y en el apartado **UTOOL** configurar la posición y orientación del TCP.

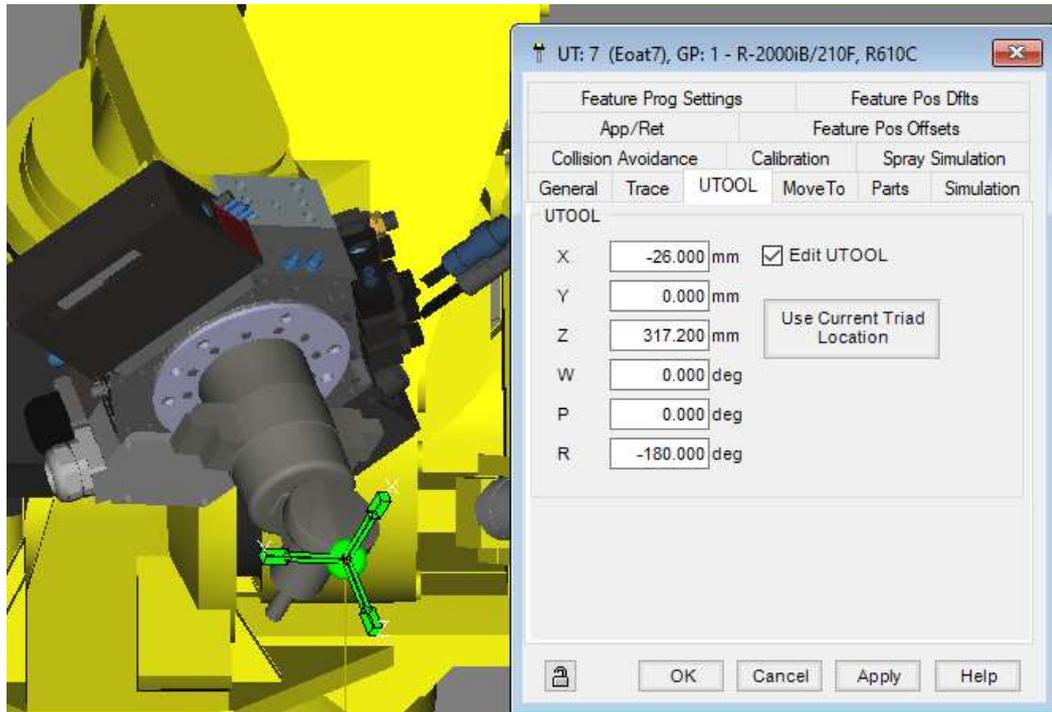


Figura 55. TCP colocado

El eje Z se coloca siempre de forma perpendicular a la herramienta, formando los ejes X e Y el triedro directo. Usando la herramienta para medir distancias, se coloca el TCP en el medio de la roldana grande siendo este el punto de referencia a la hora de definir trayectorias.

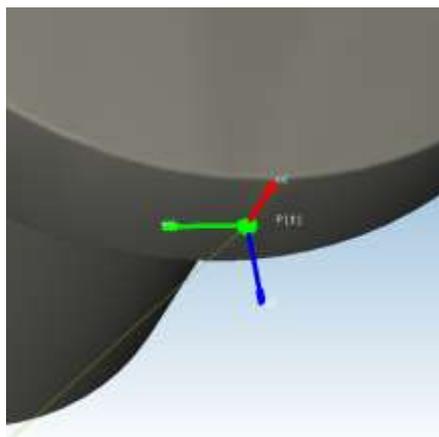


Figura 56. TCP de la roldana grande

Para crear el TCP de la roldana pequeña se puede copiar la herramienta anterior en otro espacio vacío y solo cambiar su posición.

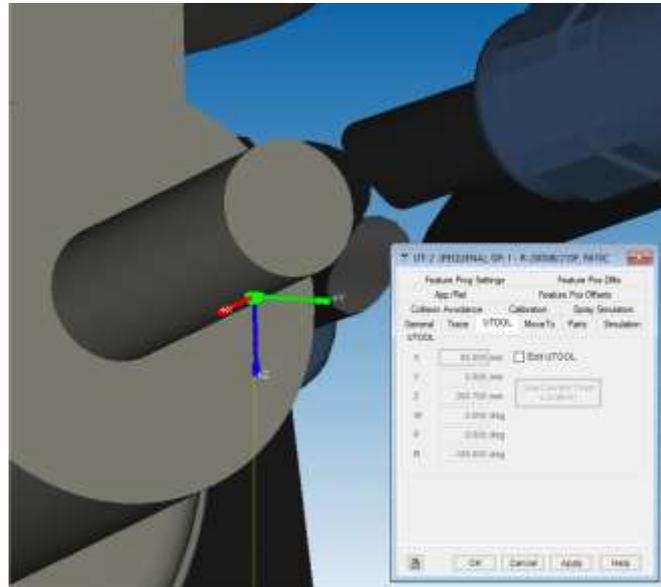


Figura 57. TCP de la roldana pequeña

En este caso las coordenadas no se sitúan en el medio de la roldana sino cerca del final ya que, si no, puede causar problemas a la hora de realizar el Hemming pues podría causar colisiones del útil con la roldana grande.

Si se necesitase un TCP distinto se podría duplicar una herramienta y allí cambiar la posición del TCP sin necesidad de cargar todo desde el principio.

5.1.4. Movimientos del robot.

Los movimientos de los robots se programarán en el directorio “**Programs**” del árbol del proyecto en la pestaña **Add TP Program**. Allí se le dará el nombre y se empezará su programación.

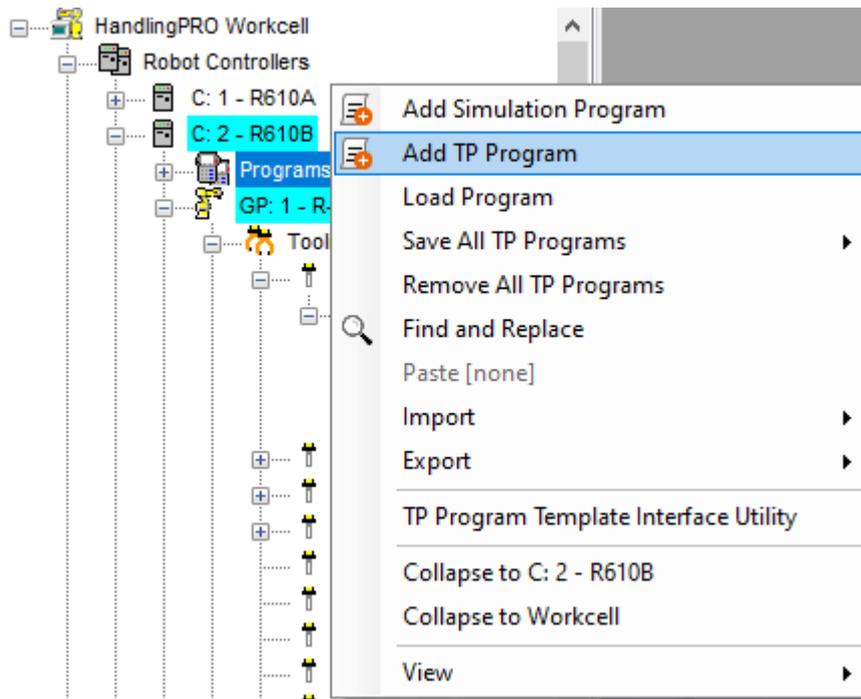


Figura 58. Creación de los programas

Por cada pieza los robots tienen 3 programas distintos:

- **Programa MAIN.** Es el programa principal y donde se llamarán al resto de los programas, así como donde se encontrarán las posiciones intermedias entre los mismos.
- **Pasada a 45 grados.** Primera trayectoria del robot. Desde esta se decidirá qué partes de la pieza mecanizará cada robot siendo la base de la siguiente pasada, ya que ambas suelen realizar los mismos recorridos.
- **Pasada a 90 grados.** Segunda trayectoria del robot. Suele seguir el camino realizado por la anterior pasada con ciertas variaciones.

Al crear un nuevo programa este estará vacío. Allí es donde iremos añadiendo mediante diferentes comandos los puntos que se seguirán. El método para la creación de los puntos será el **método directo**. Mediante la ventana “**Move to**” se escogerá la opción “face” o “edge” para aproximar el robot a una cara del molde o a un vértice respectivamente.

Como ejemplo se busca trazar la trayectoria a 90° del robot B. Se empezará con el punto inicial en un vértice del molde.

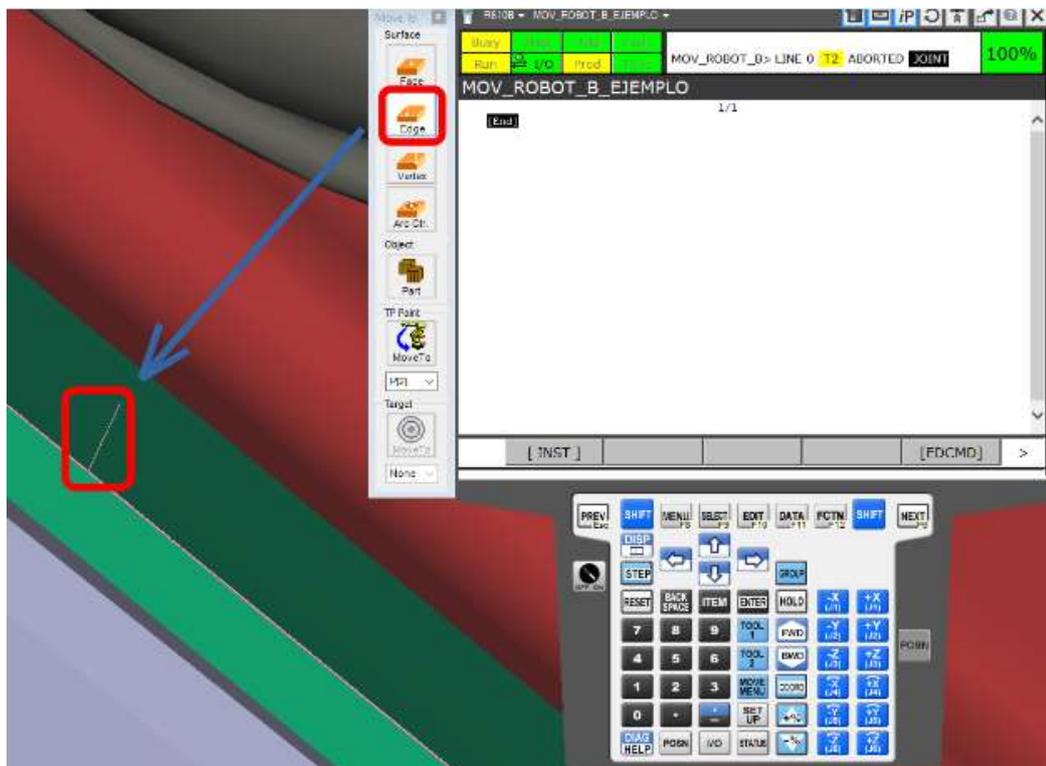


Figura 59. Posicionamiento de un robot B respecto a la cara del molde

Una vez en esa posición, se seleccionará **POINT** para guardar ese punto, dándose 4 opciones. De forma general se seleccionará la opción cuarta al ser esta la más general. Siempre se podrá cambiar este tipo de punto si se necesitase más adelante.

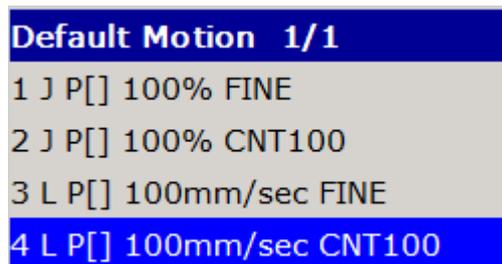


Figura 60. Diferentes puntos disponibles

En el punto inicial se crearán dos puntos consecutivos. El primero se alejará del molde ya que será usado como aproximación al molde, siendo el segundo punto el de contacto con el molde. Se ajustará la velocidad y precisión de cada uno según la normativa previamente descrita.

Tras esto se seguirán creando más puntos de la misma forma, manteniendo el eje Y del robot paralelo a la dirección que sigue la roldana.

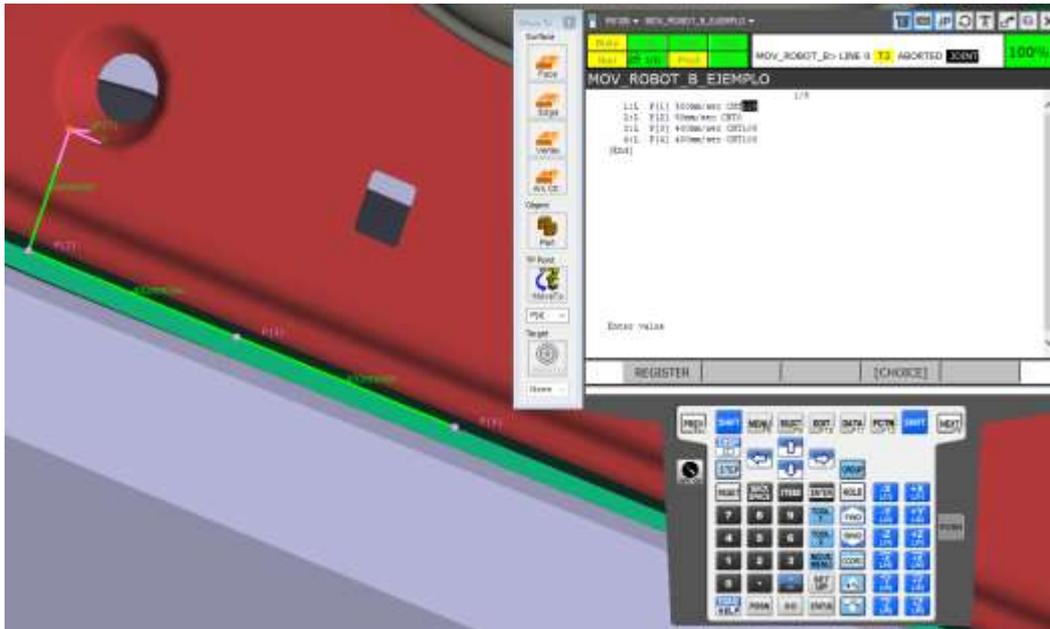


Figura 61. Creación de puntos

En caso de necesitar añadir puntos, esperas, señales entre puntos etc, será necesario insertar tantas líneas como se requieran. Esto se hace mediante la opción **insert** la cual se encuentra en la teach pendant en el directorio EDCMD. EDCMD → Insert → “How many lines do you want to insert?”. Otras opciones de que dispone este menú son **delete**, la cual permite eliminar las líneas que no sean necesarias, **copy**, para copiar líneas del programa o **comment** para comentar líneas.

En el menú de instrucciones se encuentran diferentes comandos que serán usados en el proyecto. Algunos de ellos son:

- **I/O**: activar/desactivar señales de entrada o salida.
- **Wait**: orden de espera.
- **Call**: llamar a un programa.
- **Uframe**: utilizado para seleccionar la herramienta del robot (Utool_num) asociado a un número.

5.1.5. Colisiones.

Una vez creadas las trayectorias y tras hacer la simulación pueden existir colisiones entre diferentes partes del robot y la pieza las cuales no hayan sido previstas durante el desarrollo de la estación.

Para ver dónde se producen estas colisiones se deberá activar la opción de **mostrar las colisiones** tanto en los robots como en el molde y el útil.

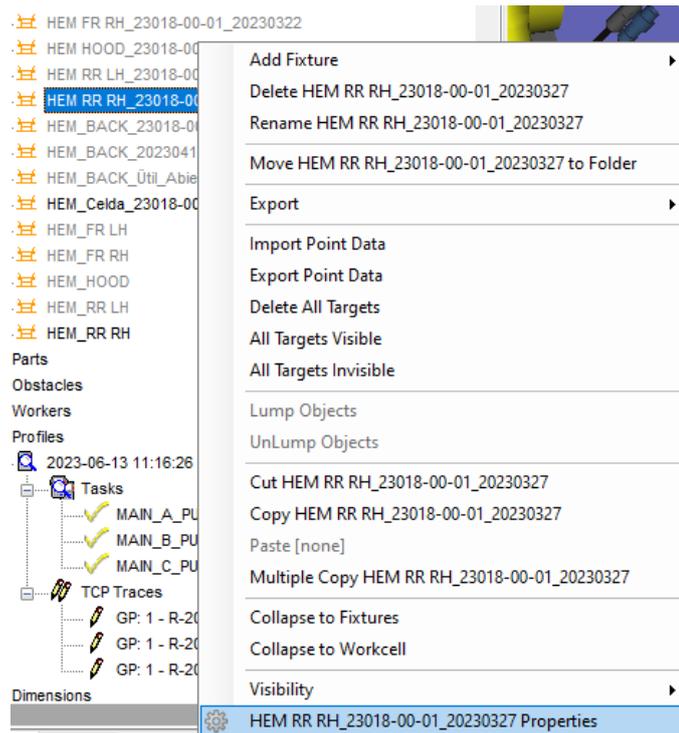


Figura 62. Menú de colisiones

En la configuración de las colisiones se presentan múltiples opciones para su personalización. Se puede ajustar para que las colisiones sean invisibles, solo visibles durante la simulación o visibles todo el tiempo (“**Keep visible**”). Esta última opción es la que será utilizada en el proyecto al ser la más práctica de todas. Gracias a ello, una vez terminada la simulación, las colisiones seguirán marcadas en la pieza, pudiendo ajustar el brazo para evitar colisiones en lugares no deseados.

Otra opción que se puede cambiar es el color de las colisiones. Esto se ajusta para que cuando un robot choque con otro objeto, este marque la colisión en el color que se haya seleccionado. Cada objeto tendrá un color de colisión diferente haciendo más fácil el ver las zonas de contacto.

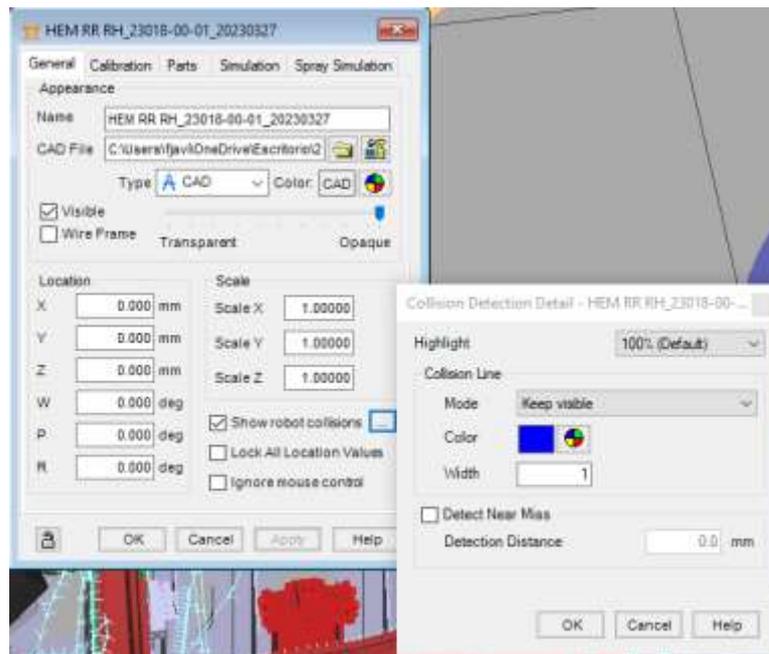


Figura 63. Configuración de colisiones

Si bien se pueden utilizar las colisiones para comprobar que los robots chocan con las piezas para el correcto engrapado, la configuración de las colisiones cobra especial importancia en las piezas de la uno a la cuatro y en menor medida en la sexta. Esto es debido a que se utilizarán las colisiones para ver donde no deben ocurrir choques.

En las primeras piezas será importante ver si el robot B mientras se encuentra en la zona de la ventana colisiona o bien con uno de los laterales o con la parte superior (especialmente en la pasada a 45°).

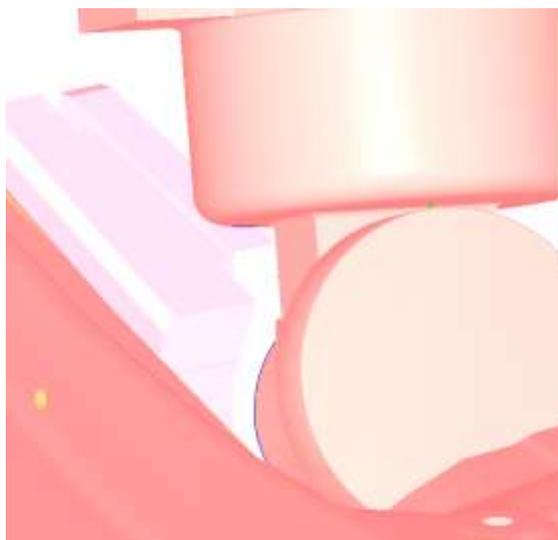


Figura 64. Colisión con la zona lateral

En la **figura 65** se puede apreciar la zona de colisión que ha creado la herramienta de la **figura 64** después de finalizar la simulación.

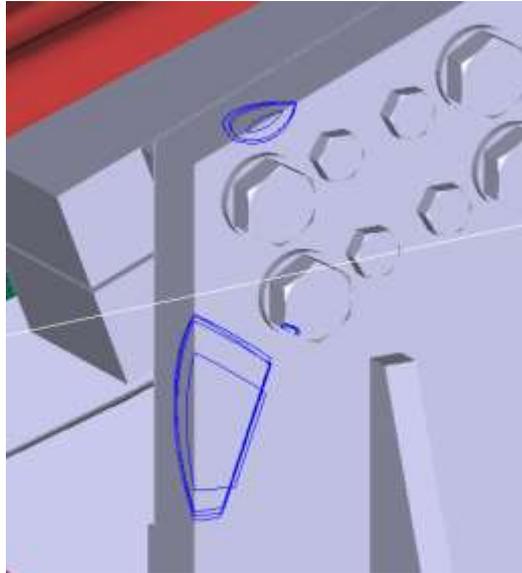


Figura 65. Colisión con el molde

La **figura 66** muestra la diferencia de colores en caso de que el robot colisione con el molde (ilustrado en azul) y la colisión con la pieza (ilustrado en verde), lo cual permite ver de un vistazo rápido en qué punto se produce un choque y entre qué partes.

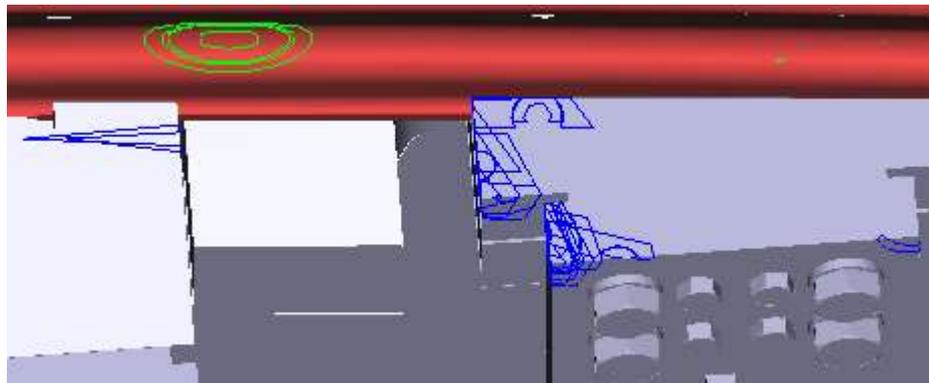
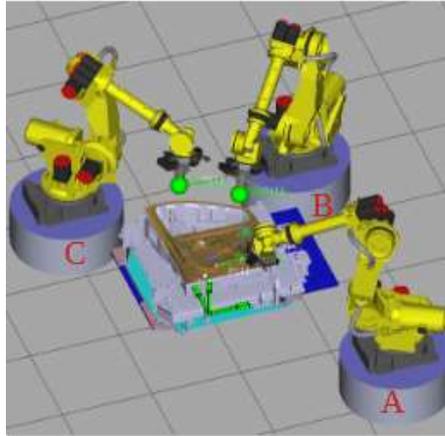


Figura 66. Ejemplo de colisiones con el molde y la pieza

Tras esto se ajustará el robot evitando estos choques para la próxima simulación.

5.2. Desarrollo de la estación

Para todos los útiles, los robots se encuentran situados en unas bases fijas. La **figura 6** ilustra las posiciones que ocupan cada uno de los robots,



*Figura 67..Detalle de los Robots
A, B y C*

Todos los útiles cuentan con unos moldes que les sirven de soporte y evitan que puedan desplazarse en caso de recibir un golpe de uno de los brazos robóticos u otro elemento externo. Estos moldes cuentan con unas fijaciones que se ignorarán durante la simulación, ya que durante el proceso estas fijaciones se abrirán para facilitar la mecanización del útil.

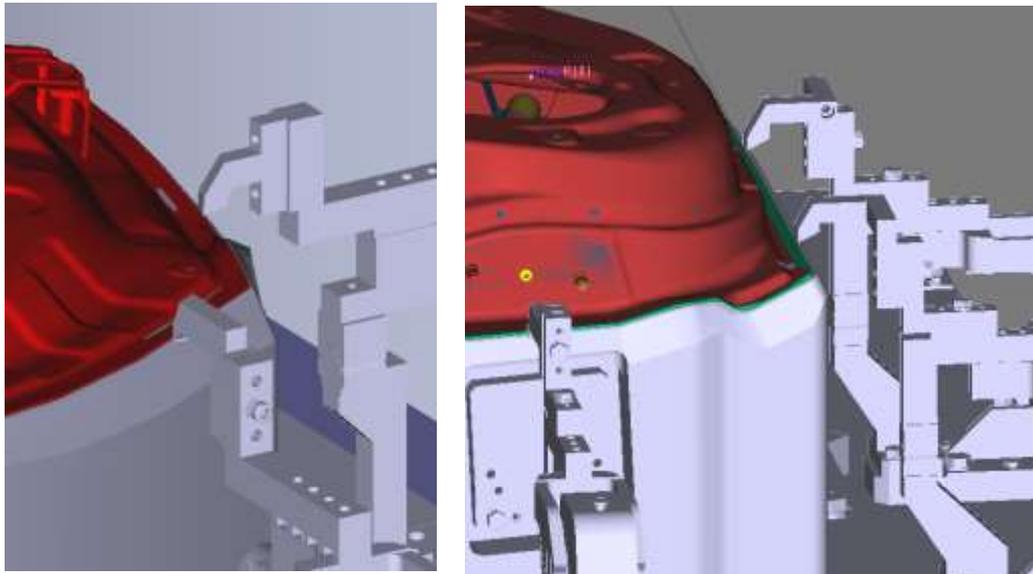


Figura 68. Fijaciones de varios útiles

5.2.1. Útil 1 (Puerta delantera izquierda)

La estación empieza su funcionamiento cuando llega el primer útil al molde, el cual es la puerta delantera izquierda.

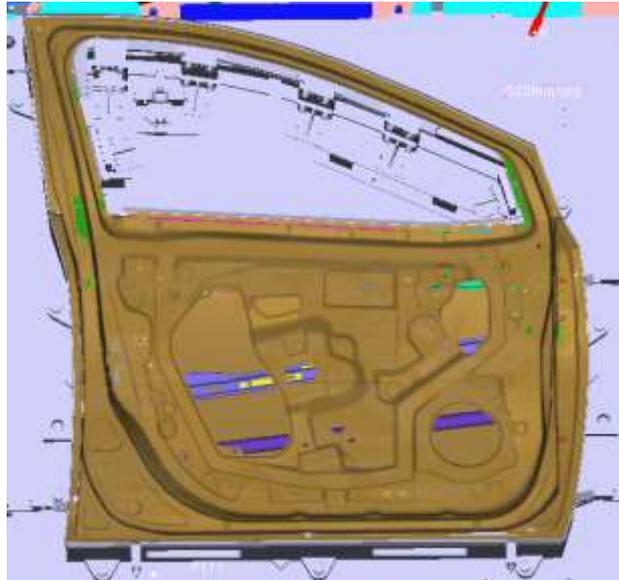


Figura 69. Puerta delantera izquierda

5.2.1.1. Sujeciones

Mientras se mecaniza la pieza, se necesita que no se pueda desplazar ya que los robots no podrán realizar sus rutinas si esta se ha desplazado respecto a su posición inicial. El útil es amarrado al molde mediante unos apoyos situadas en el hueco de la ventana. En total son 7 sujeciones: 4 en la parte superior, 2 en la derecha y una última en la izquierda.



Figura 70. Apoyos superiores

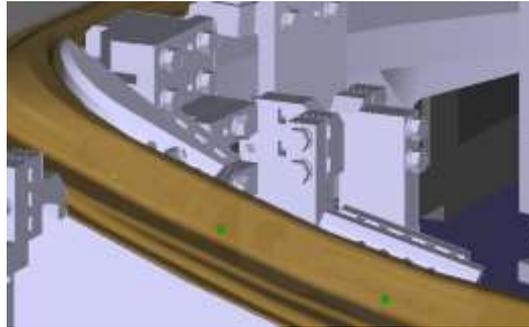


Figura 71. Apoyos de la zona izquierda

De esta forma se impedirá que el útil se desplace hacia abajo o hacia los lados; sin embargo, y debido a la necesidad de mecanizar la parte inferior de la ventana, no se tienen sujeciones en esta parte, lo que puede causar movimiento hacia la parte superior del molde.



Figura 72. Ausencia de sujeciones en la parte inferior

Como solución, el molde cuenta con 9 ventosas localizadas en su cuerpo. Estas ventosas se fijan a la parte inferior del útil una vez este es colocado sobre el molde.

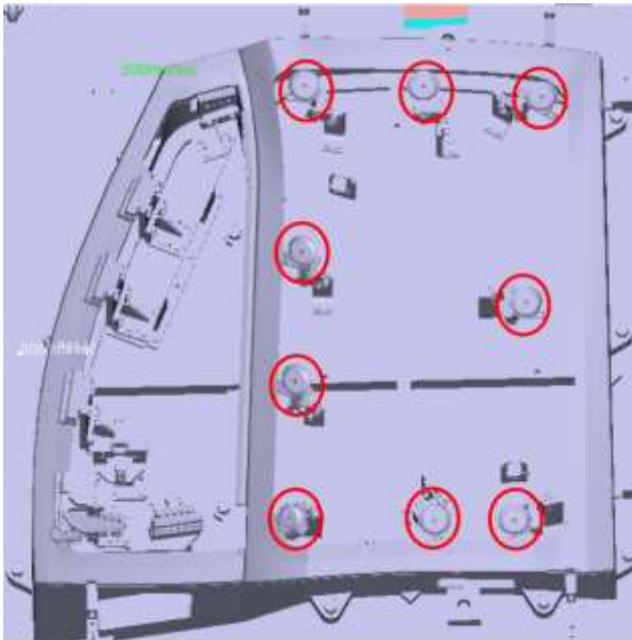


Figura 74. Ventosas zona inferior

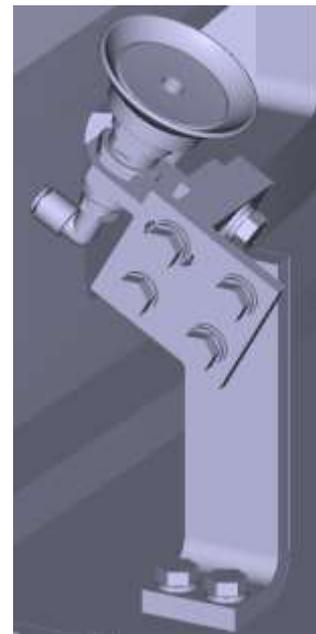


Figura 73. Ventosa

5.2.1.2. Trayectorias

Cada robot se encargará de mecanizar alrededor de un tercio del útil siendo esto una aproximación, ya que se intentará que todos los robots acaben al mismo tiempo, maximizando así la eficiencia de la estación.

Debido a las posiciones predefinidas de las estaciones de los brazos robóticos, tanto el brazo A como el B se encargarán de sus esquinas mientras que el C se encargará de la suya más la inferior izquierda, por ello el robot C acabará algo más tarde que el resto.

Las figuras 75 y 76 ilustran las trayectorias que siguen estos robots

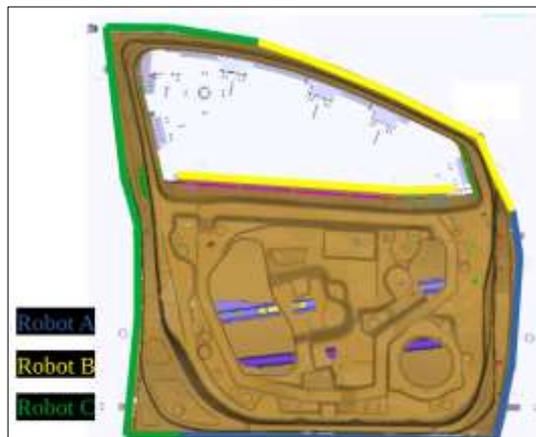


Figura 75. Esquemas de trayectorias útil



Figura 76. Trayectoria del robot C en simulación

Al iniciar el programa, todos los robots van a sus posiciones iniciales (en caso de que estuviesen desplazados). Ningún robot empezará a mecanizar el útil hasta que todos los robots hayan llegado a sus posiciones iniciales.

5.2.1.2.1. ROBOT A

La trayectoria seguida por el robot A es la más simple de los tres, al ser la zona con menos cambios de concavidad o zonas de difícil acceso para la herramienta. Este es el motivo por el cual es el más rápido y, por tanto, el primero en ser programado, puesto que se podrá adaptar a los otros dos de ser necesario.

- **Engrapado a 45°**

El robot comienza cerca de la esquina inferior izquierda [1] y sigue a lo largo del borde del útil hasta llegar a la parte final [3]. Una vez acabado el recorrido, el robot vuelve a la posición inicial para dejar espacio al robot B, que tarda más en mecanizar la pieza.

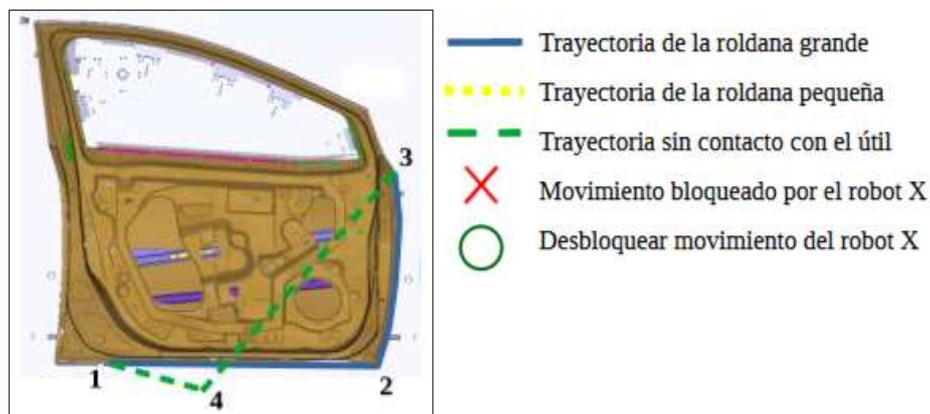


Figura 77. Esquema engrapado 45° Robot A

Este recorrido reduce las interrupciones entre los distintos robots, ya que ninguno es bloqueado por el A.

- **Engrapado a 90°**

La segunda pasada de la herramienta sigue el mismo recorrido que la primera, sin embargo, en este caso el recorrido es más lento haciendo que el robot B no pueda moverse hasta que el robot A no vuelva a su posición inicial.

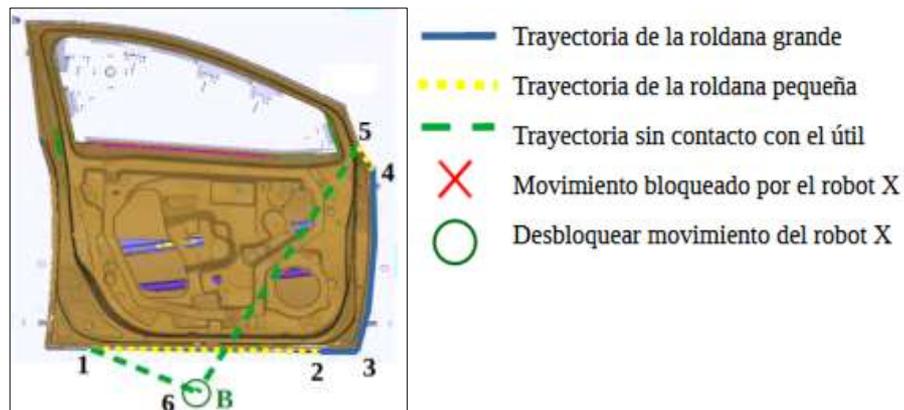


Figura 78. Esquema engrapado 90° Robot A

5.2.1.2.2. ROBOT B

El robot B se encarga de rebordear la parte superior del útil, así como la parte interior de la ventana.

- **Engrapado a 45°**

Se empieza recorriendo la esquina superior derecha hasta llegar hasta la zona del robot A evitando que ambos robots se crucen entre sí. A continuación, se continúa por la parte superior del útil deteniéndose en caso de que el robot C se encuentre a distancia de choque. Cuando el robot C se aleje, se procede a finalizar el recorrido hasta [5] momento en el que se realizará un salto hasta [6] con la misma herramienta. Tras llegar a [7] el robot volverá a su posición inicial.

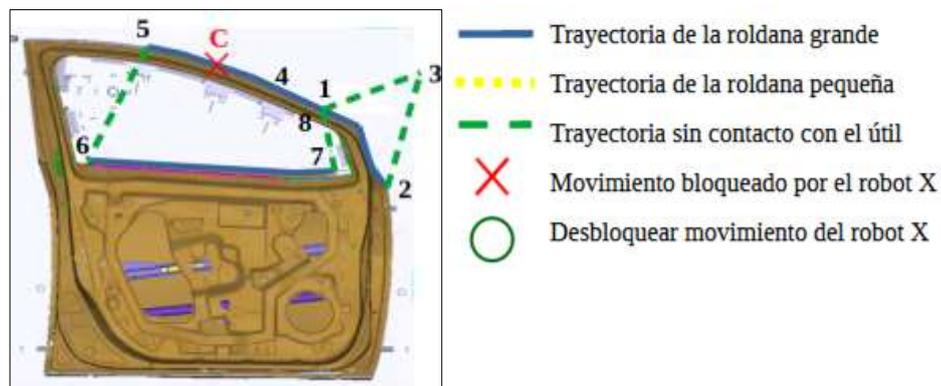


Figura 79. Esquema engrapado 45° Robot B

- **Engrapado a 90°**

El recorrido es análogo a la primera pasada. En el engrapado por la ventana se enviará una señal de movimiento al robot C para posteriormente detenerse hasta que el robot A le indique lo contrario.

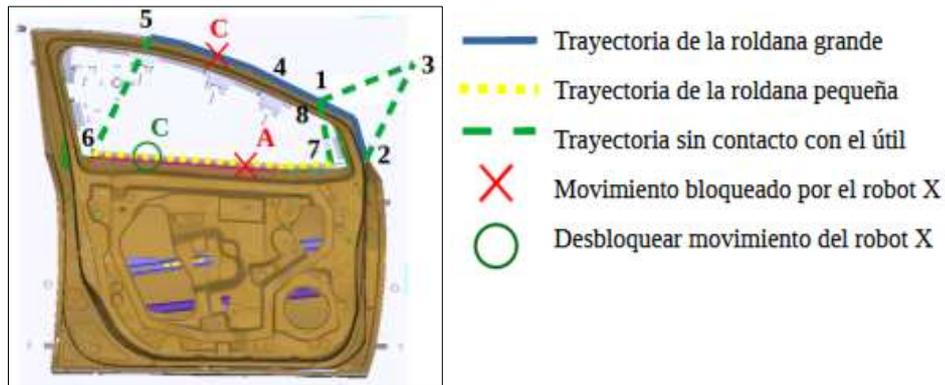


Figura 80. Esquema engrapado 90° Robot B

5.2.1.2.3. ROBOT C

El robot C realiza la trayectoria más larga de los tres teniendo varios saltos durante su trayectoria para evitar perder el tiempo al cambiar la herramienta

- **Engrapado a 45°**

La trayectoria comienza donde termina el robot B [1], llegando hasta el punto [3] donde se desplaza hasta llegar al punto [5]. Esto es debido a que para poder rebordear el tramo 3-7 es necesario cambiar a la roldana pequeña, lo cual ralentiza el proceso al volver a cambiar la roldana al terminar el tramo. Al pasar al punto [5] sin cambio de herramienta se gana velocidad al solo cambiar la roldana una vez. En el tramo 5-6 se envía una señal de movimiento al robot B.

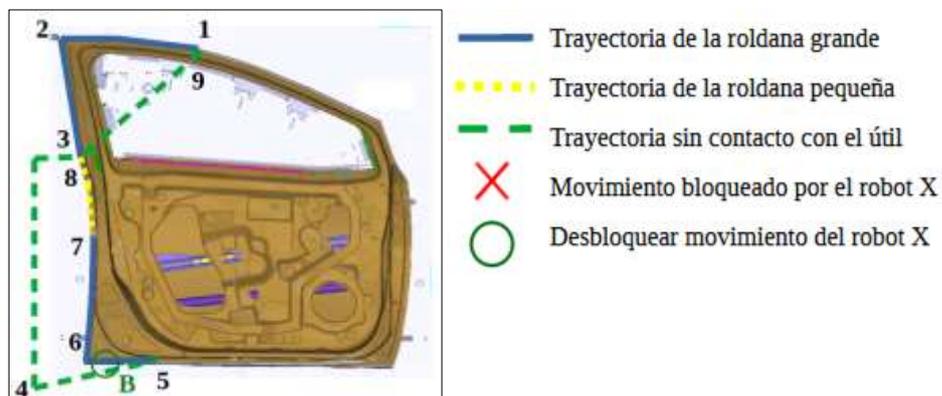


Figura 81. Esquema engrapado 45° Robot C

- **Engrapado a 90°**

La diferencia con respecto al anterior es el bloqueo que sufre mientras el robot B está situado en la ventana, el cual liberará al llegar a la mitad de esta.

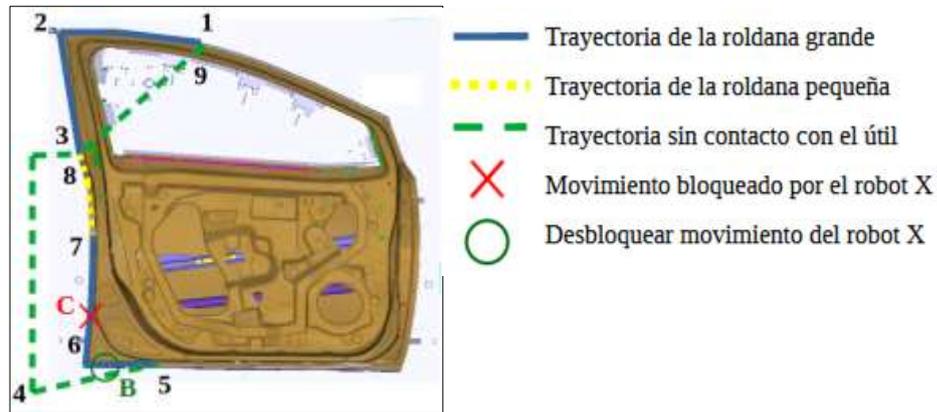


Figura 82. Esquema engrapado 90° Robot C

5.2.1.3. Programas

Cada uno de los robots cuenta con tres programas distintos.

1. Main.
2. Trayectoria del pre-Hemming.
3. Trayectoria del Hemming.

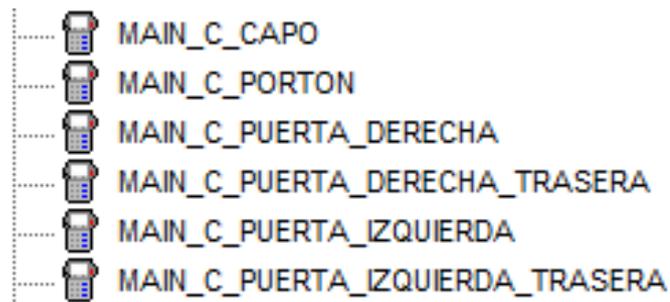


Figura 83. Programas Main del Robot C

Todos los programas se adjuntarán en el apartado de anexos.

5.2.2. Útil 2 (Puerta delantera derecha)

El segundo molde es el de la puerta delantera derecha

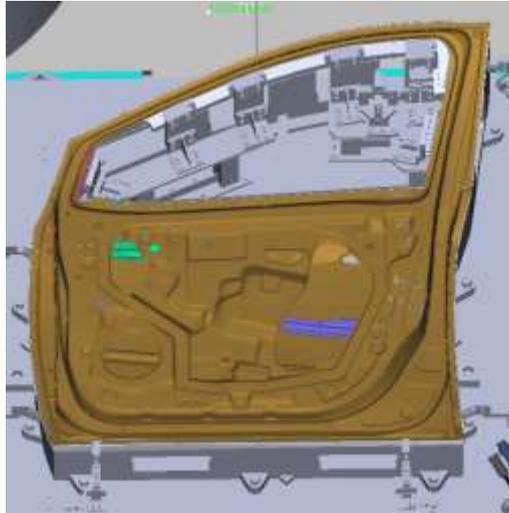


Figura 84. Puerta delantera derecha

5.2.2.1. Sujeciones

Las sujeciones en este molde se vuelven a encontrar en la parte de la ventana, 4 en la parte superior, 2 en la derecha y una última en la izquierda. Sigue el mismo método que el **útil 1**, estando sujeto por ventosas neumáticas para evitar movimientos no deseados.



Figura 85. Ventosas del segundo molde

5.2.2.2. Trayectorias

Los robots mecanizan alrededor de un tercio del útil, volviendo el robot C a rebordear dos esquinas, ya que el robot A no puede llegar a la esquina contraria.



Figura 86. Esquemas de trayectorias útil 2

5.2.2.2.1. ROBOT A

El robot A es el último en atacar a la pieza al empezar los otros dos robots en su parte superior derecha. Esto se podría evitar haciendo que A empezase en su parte inferior en vez de en la superior, aunque el robot B se vería afectado por ello desencadenando en un proceso más lento.

- **Engrapado a 45°**

El robot estará bloqueado desde el inicio tanto por B como por C, lo cual no supondrá un retraso apreciable para A al ser más rápido que ambos. La velocidad del brazo se debe a la posibilidad de mecanizar su sección de forma continua y por ser la parte inferior de la puerta plana y recta (la cual necesitará un menor número de puntos para realizar su trayectoria).

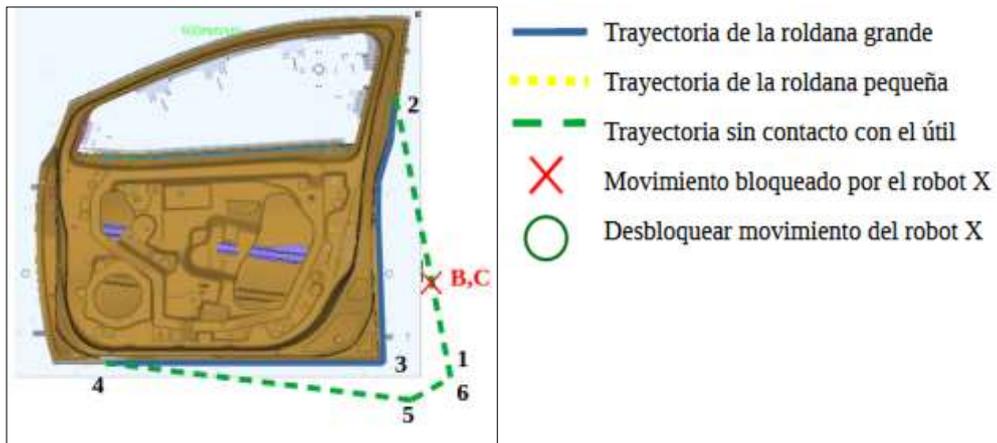


Figura 87. Esquema engrapado 45° Robot A

- **Engrapado a 90°**

Sigue el mismo recorrido que la anterior pasada, aunque ya no es el robot más rápido al necesitar cambiar de roldana aumentando el tiempo de ciclo de este.

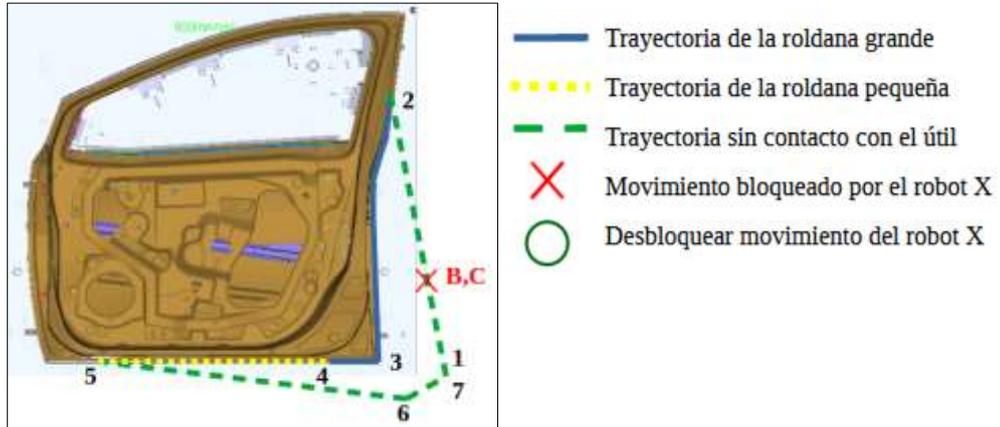


Figura 88. Esquema engrapado 90° Robot A

5.2.2.2.2. ROBOT B

La trayectoria del robot B recorrerá la parte superior del útil y la ventana. Junto con el robot C hace que el A no se mueva hasta que haya pasado la esquina.

- **Engrapado a 45°**

La primera pasada comienza en la parte lateral derecha. En cuanto haya realizado la esquina permitirá comenzar el movimiento del robot A. A su vez este se detendrá hasta que el robot C se lo permita. Hasta que no haya recorrido la mitad de la ventana, el robot C permanecerá a la espera de recibir la señal de movimiento.

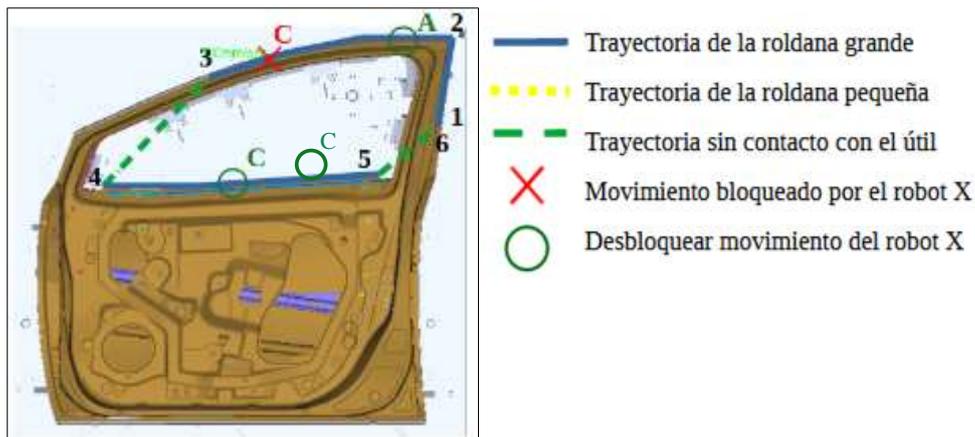


Figura 89. Esquema engrapado 45° Robot B

- **Engrapado a 90°**

La ejecución es idéntica a la pasada anterior salvo por el cambio de herramienta durante el tramo [4-5]. El cambio de roldana no ralentiza su ejecución al cambiar la herramienta en movimiento, en vez de como el A que debe pararse, cambiar la roldana y continuar.

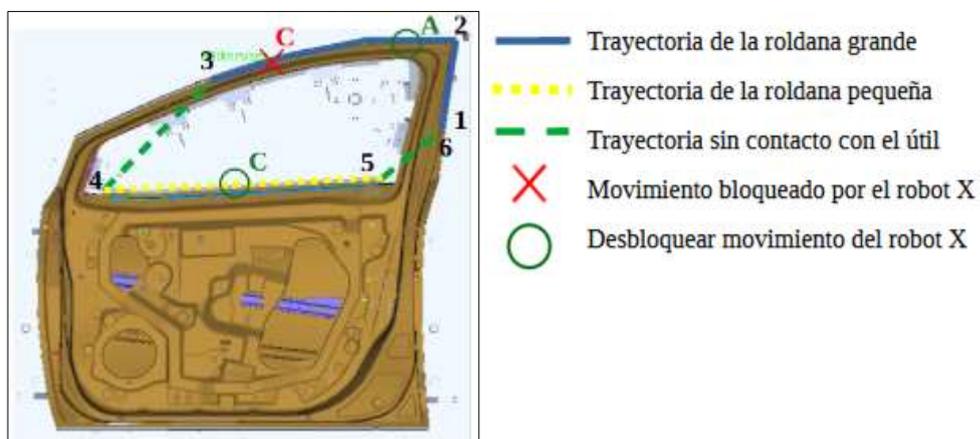


Figura 90. Esquema engrapado 90° Robot B

5.2.2.2.3. ROBOT C

La trayectoria de C es similar a la adoptada en el **útil 1** aunque algo más corta teniendo menos discontinuidades que el anterior.

- **Engrapado a 45°**

Comienza junto con B en su parte superior, haciendo que A dependa de ellos. Para evitar aumentar el tiempo de ejecución al tener que cambiar dos veces de roldana al llegar al punto [2], se producirá un salto hacia el punto [3] y se seguirá con la roldana grande hasta el punto [5] donde se producirá el cambio finalizando la pasada con la roldana pequeña.

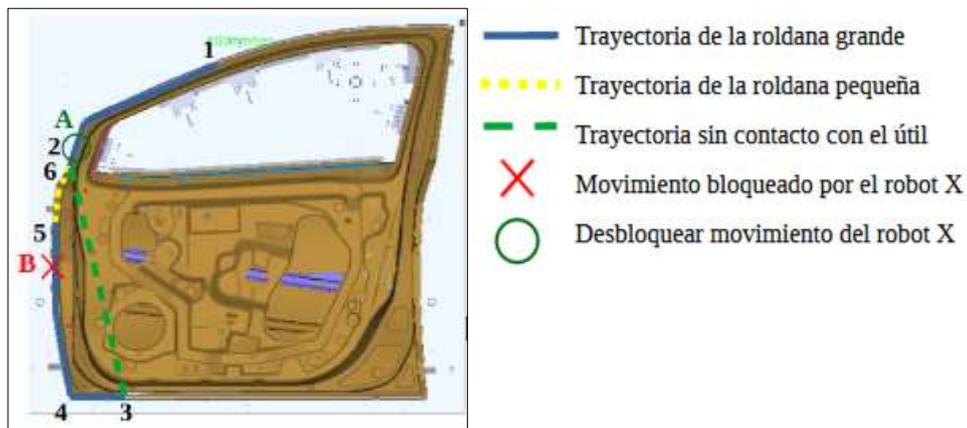


Figura 91. Esquema engrapado 45° Robot C

- **Engrapado a 90°**

El recorrido es exactamente el mismo, al no tener zonas de difícil acceso ni presentar colisiones adicionales con otros robots.

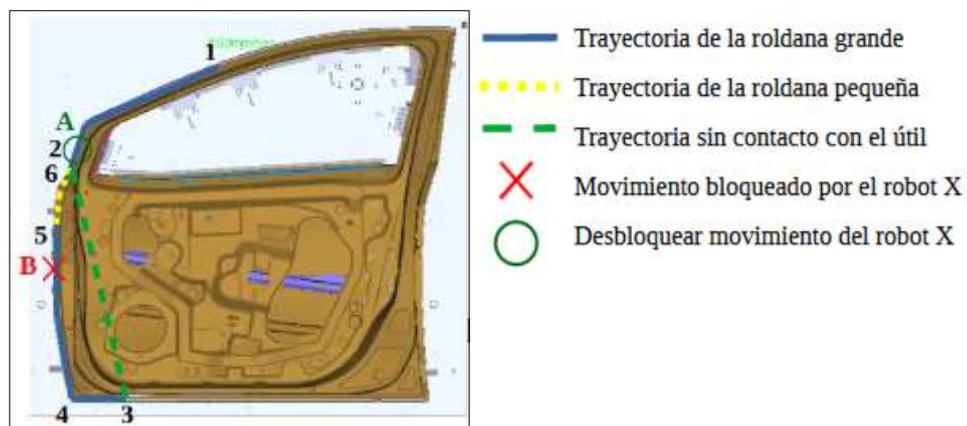


Figura 92. Esquema engrapado 90° Robot C

5.2.3. Útil 3 (Puerta trasera izquierda)

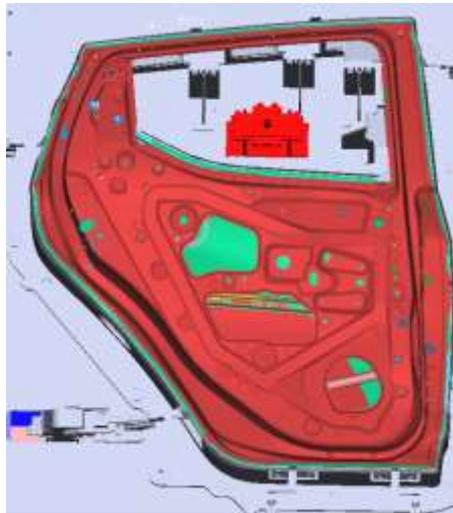


Figura 93. Puerta trasera izquierda

El tercer útil es la puerta trasera izquierda del coche. Este útil es más difícil de mecanizar por la gran cantidad de cambios de nivel haciendo que solo una de las dos herramientas sea capaz de acceder a esas zonas. El pilar rojo central se retirará durante la mecanización del útil por lo que durante la simulación no se tendrá en cuenta las posibles colisiones que pueda tener con algún robot.

5.2.3.1. Sujeciones

Los útiles 3 y 4 tienen menor superficie en la parte de la ventana por lo que la cantidad de sujeciones es menor. En este caso dos sujeciones se encuentran en la parte superior, una en la esquina superior derecha y otra más en la derecha. En esta ocasión no cuenta con apoyos en la parte izquierda mientras que la parte inferior no presenta apoyos al tener que mecanizar dicha sección.

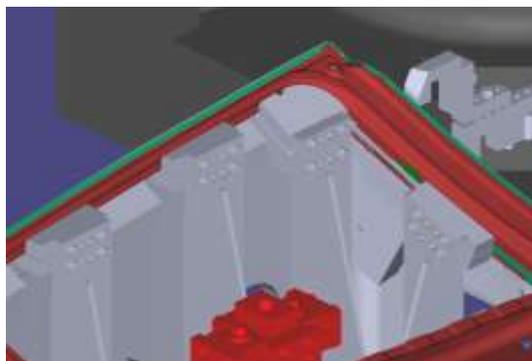


Figura 94. Sujeciones del útil 3

Esto deja que la pieza pueda desplazarse tanto hacia la parte superior como hacia la derecha. Debido a la falta de sujeciones se cuenta con más ventosas que en los anteriores útiles para evitar estos movimientos.

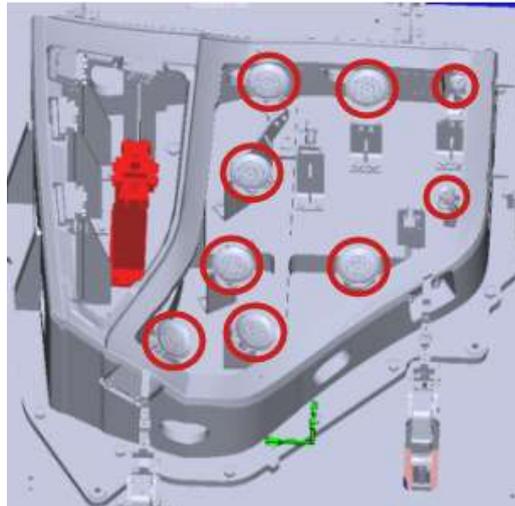


Figura 95. Ventosas del útil 3

5.2.3.2. Trayectorias

Las trayectorias de los tres robots abarcan cada una un tercio del útil, siendo el robot A el más rápido y por tanto el que menos sufrirá el permanecer bloqueado por los otros.

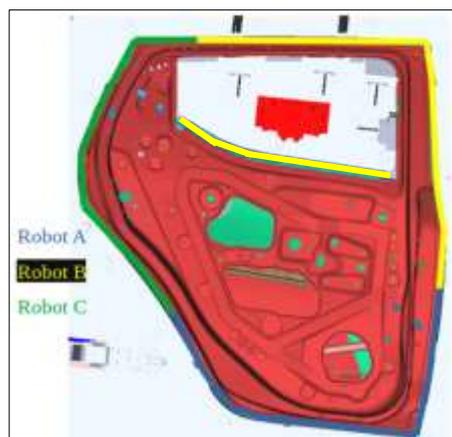


Figura 96. Esquemas de trayectorias útil 3

5.2.3.2.1. ROBOT A

El robot A, a diferencia del útil 2, actúa a la vez que el B y el C al no impedir el movimiento al inicio de ninguno de los otros.

- **Engrapado a 45°**

Este robot es el único que no sufre ningún bloqueo derivado del movimiento de los otros. Actuará con la roldana grande desde [1] a [2] a una velocidad alta, cambiando a la pequeña para realizar el cambio de nivel hasta [3]. A continuación, se volverá a utilizar la roldana grande en el extremo opuesto. Ir a este extremo en vez de ir a [8] o [7] cumple dos propósitos:

- Intentar mecanizar la pieza de la forma más continua posible.
- Bloquear al resto de robots el menor tiempo posible, siendo en este caso concreto el del robot C.

Se termina con la roldana pequeña mecanizando la esquina.

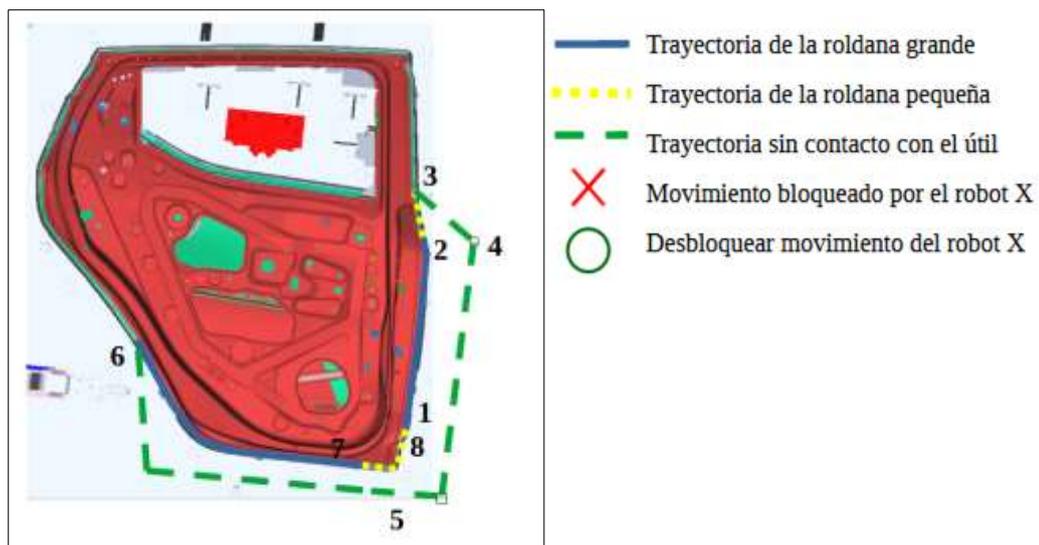


Figura 97. Esquema engrapado 45° Robot A

- **Engrapado a 90°**

Similar al engrapado a 45°, se mecaniza la parte derecha con la particularidad de que, para poder comenzar, el robot B debe haber empezado antes. Se utilizará en mayor medida la roldana pequeña, comenzando con la esquina y siguiendo por el lateral inferior. En cuanto es posible, se vuelve a cambiar de herramienta hasta el final de la trayectoria.

Mientras realiza estas acciones, se verá interrumpido en dos ocasiones por el robot C.

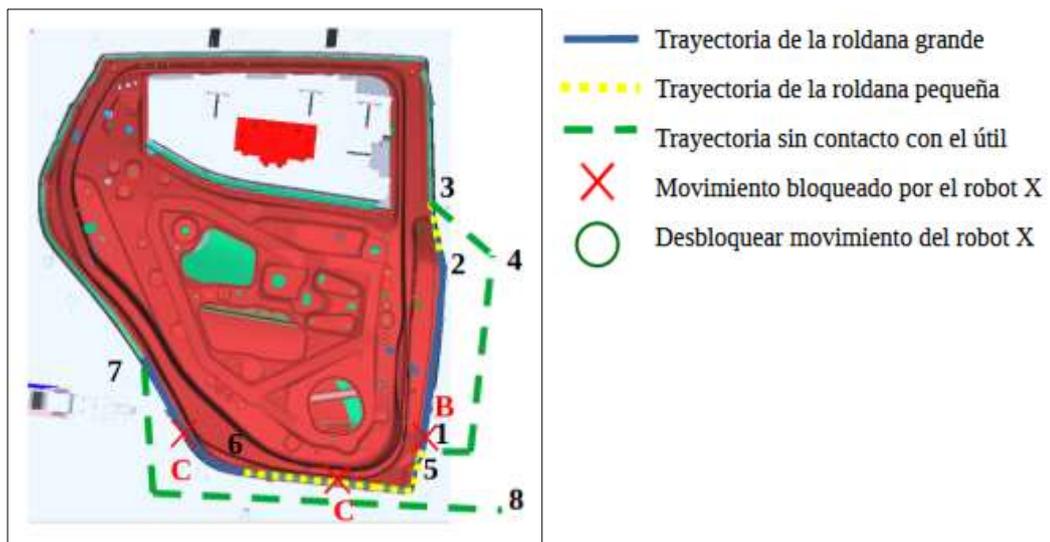


Figura 98. Esquema engrapado 90° Robot A

5.2.3.2.2. ROBOT B

El robot B tiene la difícil tarea de rebordear la parte inferior de la ventana, lo cual implica posibles colisiones tanto con la pieza como con los robots.

- **Engrapado a 45°**

Al igual que el robot A, también comienza por la parte derecha del útil con la roldana grande. Al llegar a la esquina, para no tener que cambiar de herramienta, se moverá a la parte superior donde es necesario la utilización de la herramienta actual. Al llegar a [4] se cambiará la herramienta y se pasará a la zona de la ventana, volviendo a cambiarla al llegar a [6]. Entre el movimiento de [7] a [8] se pasará a la roldana pequeña para realizar la trayectoria por la esquina.



Figura 99. Esquema engrapado 45° Robot B

- **Engrapado a 90°**

Las principales diferencias respecto a la pasada anterior son la existencia del desbloqueo del movimiento de A al poco de haber comenzado y el posterior movimiento del robot C, así como el uso de la roldana pequeña en toda la zona correspondiente con la ventana.



Figura 100. Esquema engrapado 90° Robot B

5.2.3.2.3. ROBOT C

El robot C es el que tiene la trayectoria más corta, aunque también es el más difícil de sincronizar con otros por los múltiples puntos de conflicto que existen en su recorrido.

- **Engrapado a 45°**

El robot comenzará con la roldana pequeña. Al llegar al punto [2] permitirá que el robot B termine de recorrer la zona superior mientras este cambia de herramienta. Permanecerá bloqueado hasta que B haya empezado a mecanizar la zona de la ventana, evitando así el choque entre ambos. Lo mismo sucederá con el robot A, tras lo cual volverá a la zona inicial

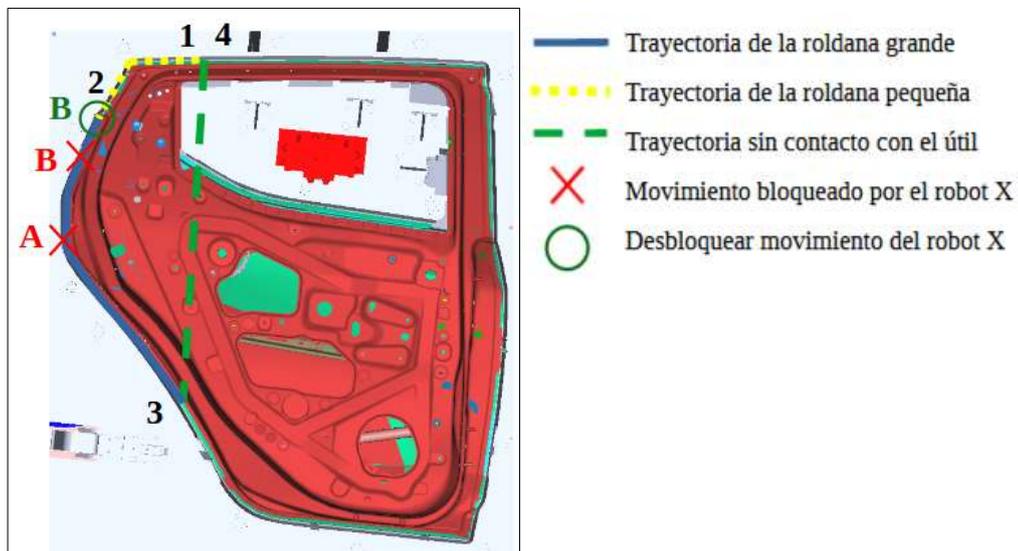


Figura 101. Esquema engrapado 45° Robot C

- **Engrapado a 90°**

Al llegar al punto 3, debido al cambio de concavidad, la roldana grande no será capaz de entrar. Se saltará esa zona para seguir con la misma roldana hasta llegar a [5] donde se bloqueará hasta que B lo permita. Cuando pueda volver a moverse, irá a la zona que se había omitido y se utilizará la roldana pequeña, tras lo cual volverá a la posición inicial.

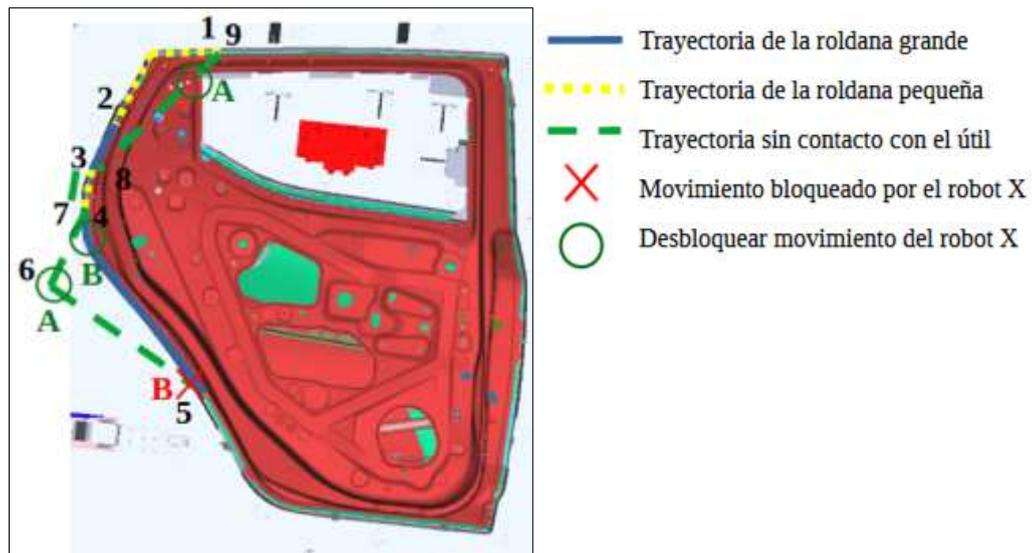


Figura 102. Esquema engrapado 90° Robot C

5.2.4. Útil 4 (Puerta trasera derecha)



Figura 103. Puerta trasera derecha

La puerta trasera derecha difiere bastante en programación con respecto a la izquierda al empezar todos los robots en la parte superior para posteriormente ir bajando. El pilar rojo al igual que el caso anterior no se tendrá en cuenta durante la simulación.

5.2.4.1. Sujeciones

El útil 4 al igual que el útil 3 se encuentra sujeto al molde por dos sujeciones en la parte superior, una en la esquina superior derecha y otra en la izquierda. A mayores tendrá una serie de ventosas para evitar movimientos en las direcciones donde estas sujeciones no aseguran el movimiento.

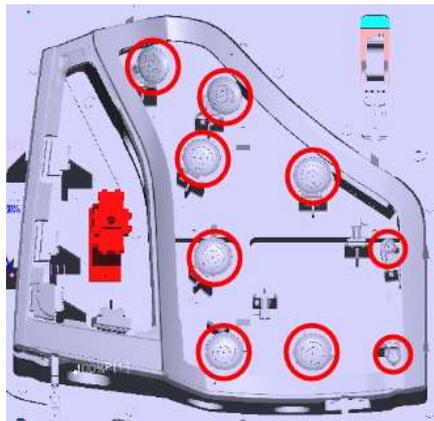


Figura 104. Ventosas del cuarto molde

5.2.4.2. Trayectorias

Se vuelve a tener los 3 robots con recorridos lo más parecidos posibles, intentando adaptar el más rápido a los movimientos de los otros dos.



Figura 105. Esquemas de trayectorias útil 4

5.2.3.4.1. ROBOT A

El robot A tiene la trayectoria más rápida y sencilla de realizar al tener pocos cambios de herramienta o ser estos continuos y por lo tanto no haber un recorrido más lento que el otro.

- **Engrapado a 45°**

Este proceso es el más simple del útil ya que una vez se acerca al útil utiliza la roldana grande hasta terminar la trayectoria, deteniéndose hasta que el robot C le permita continuar y volviendo a la posición inicial para la siguiente pasada una vez llega al final.

Esta pasada apenas afecta a los otros dos robots.

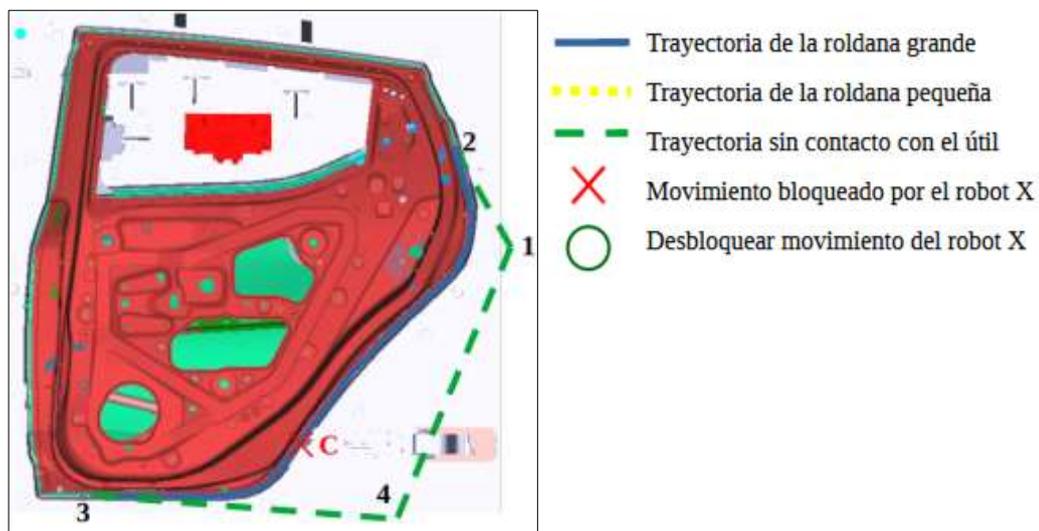


Figura 106. Esquema engrapado 45° Robot A

- **Engrapado a 90°**

La trayectoria seguida es la misma a la pasada anterior a 45°. Es necesario cambiar la roldana en la parte final [3] ya que la herramienta golpeará en la pared del útil debido al ángulo adoptado. En este caso es el robot A el que permite moverse al B para evitar la colisión entre ellos. Al terminar el movimiento permite retomar el movimiento a los otros dos robots, ya que el C colisiona con el A y el B con el C.

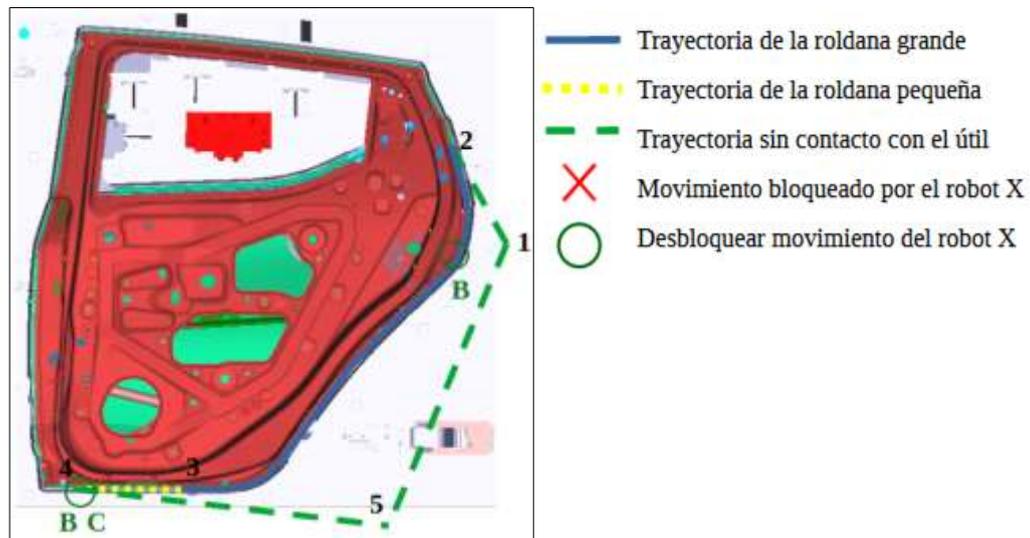


Figura 107. Esquema engrapado 90° Robot A

5.2.3.4.2. ROBOT B

El robot B se encarga de rebordear la parte superior, la esquina superior derecha y el interior de la ventana.

- **Engrapado a 45°**

El robot B comienza muy cerca del C [1] por lo tanto el segundo solo podrá comenzar a moverse cuando el B haya avanzado lo suficiente. Una vez llegado a [2] se moverá hacia la zona de la ventana hasta volver al punto de origen. Por último, cambiará de herramienta para poder atacar bien la esquina.

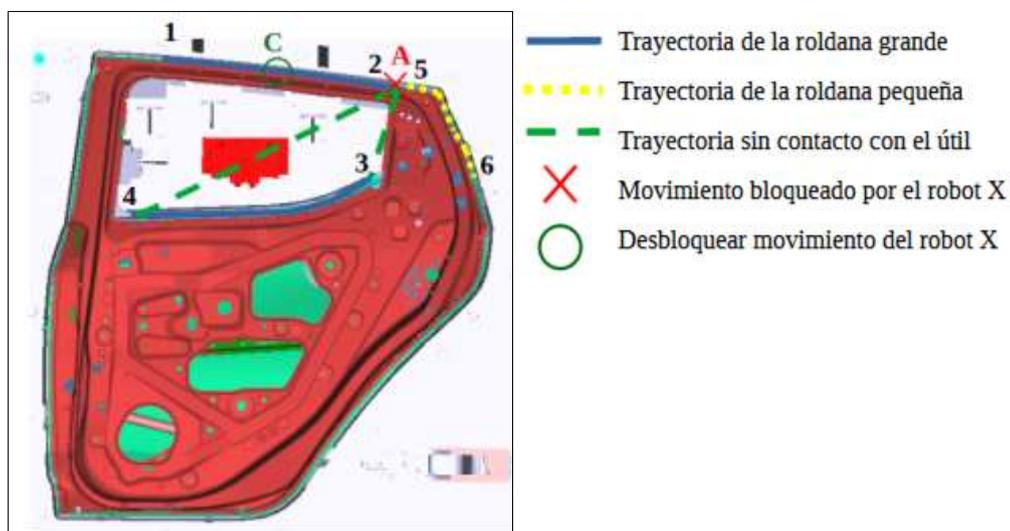


Figura 108. Esquema engrapado 45° Robot B

- **Engrapado a 90°**

En este caso la trayectoria seguida al llegar a [2] continúa hacia la esquina en vez de desviarse a la ventana deteniéndose al terminarla. Cuando el robot A termina su movimiento, B se desplaza a la ventana y como en otras ocasiones utiliza la roldana pequeña a lo largo del recorrido.

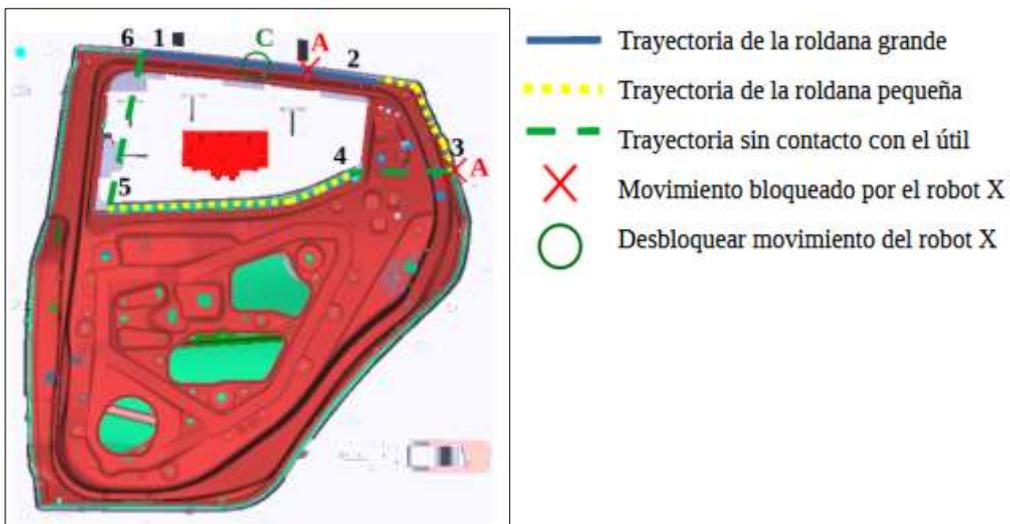


Figura 109. Esquema engrapado 90° Robot B

5.2.3.4.3. ROBOT C

El robot C tiene el recorrido más largo al tener que mecanizar todo el lateral izquierdo, así como sus dos esquinas.

- **Engrapado a 45°**

El robot comienza cerca de la esquina superior deteniéndose poco después hasta que el robot B le deja espacio suficiente para continuar. Al terminar la esquina se desplaza hacia la otra cambiando la herramienta. Una vez mecanizadas ambas esquinas se vuelve a la roldana grande. Tras llegar a al punto [5], el cual tiene un desnivel no apto para esta roldana, se eleva la roldana para desplazarse hasta el comienzo del proceso y desplazarse por arriba hasta el punto [9] y ya cambiando la roldana para terminar este proceso.

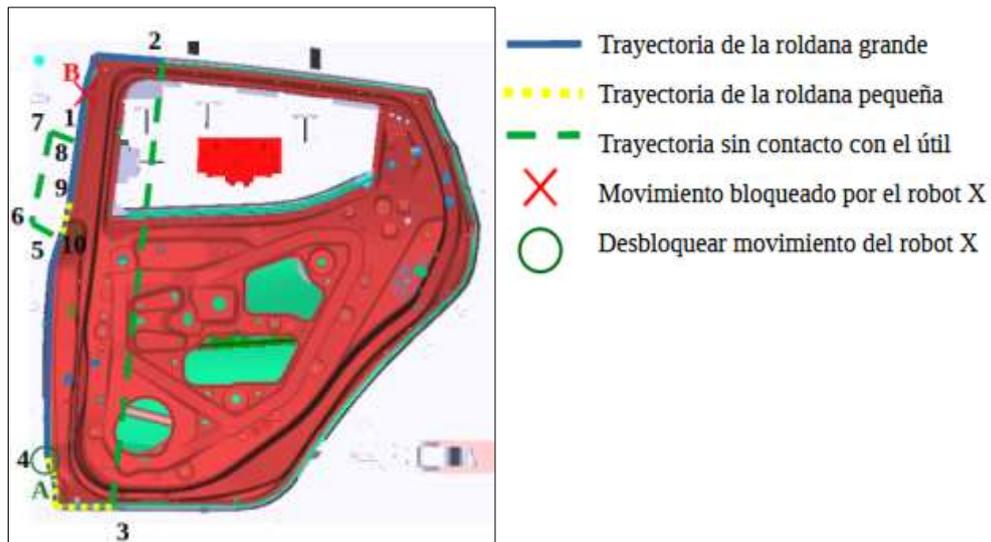


Figura 110. Esquema engrapado 45° Robot C

• **Engrapado a 90°**

Debido a la complejidad de la forma, será necesario utilizar más la roldana pequeña que en el anterior, empezando con esta para poco después utilizar la grande. El recorrido en este caso solo presenta salto en [5-6]. Es un recorrido continuo donde se va cambiando la herramienta según se vea necesario. Presenta dos bloqueos importantes, el de B que no le permite empezar y hasta que no termine A para saltar a la esquina opuesta.

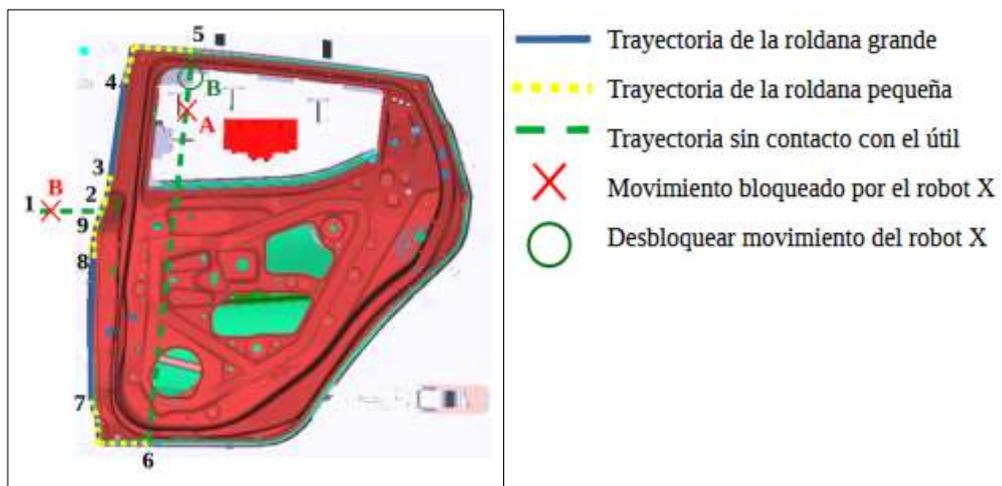


Figura 111. Esquema engrapado 90° Robot C

5.2.5. Útil 5 (Capó)

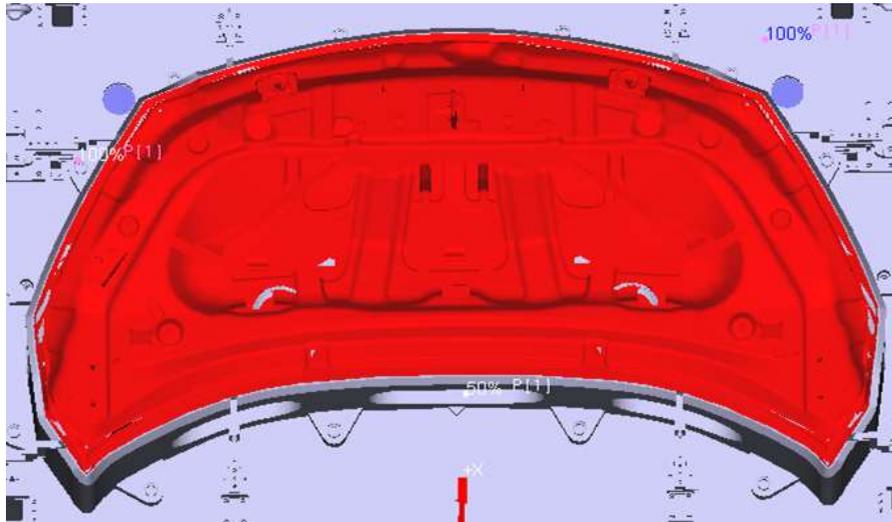


Figura 112. Capó

El capó es un útil simétrico lo cual simplifica la planificación que hay que realizar antes de programar al robot ya que no hay lados especialmente más complicados que los demás, ni existen tampoco partes interiores (las cuales son especialmente difíciles de alcanzar con las herramientas).

5.2.5.1. Sujeciones

A diferencia de los anteriores útiles, este no presenta sujeciones que bloqueen movimientos en diferentes direcciones. Este utiliza exclusivamente ventosas distribuidas de forma homogénea por el molde.

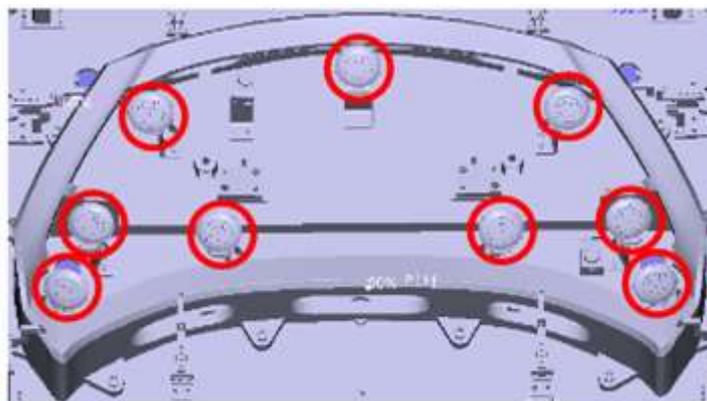


Figura 113. Ventosas del quinto molde

5.2.5.2. Trayectorias

Para esta pieza las trayectorias siguen un patrón circular, es decir, cada robot acaba donde empezó el otro $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$. Para la planificación de las mismas se tendrá principalmente en cuenta en qué posición se produce error en algún eje del robot A ya que es el más limitado de los tres al no poder llegar bien a la parte más izquierda del útil. Una vez determinada la limitación de los ejes se divide el útil en tres zonas

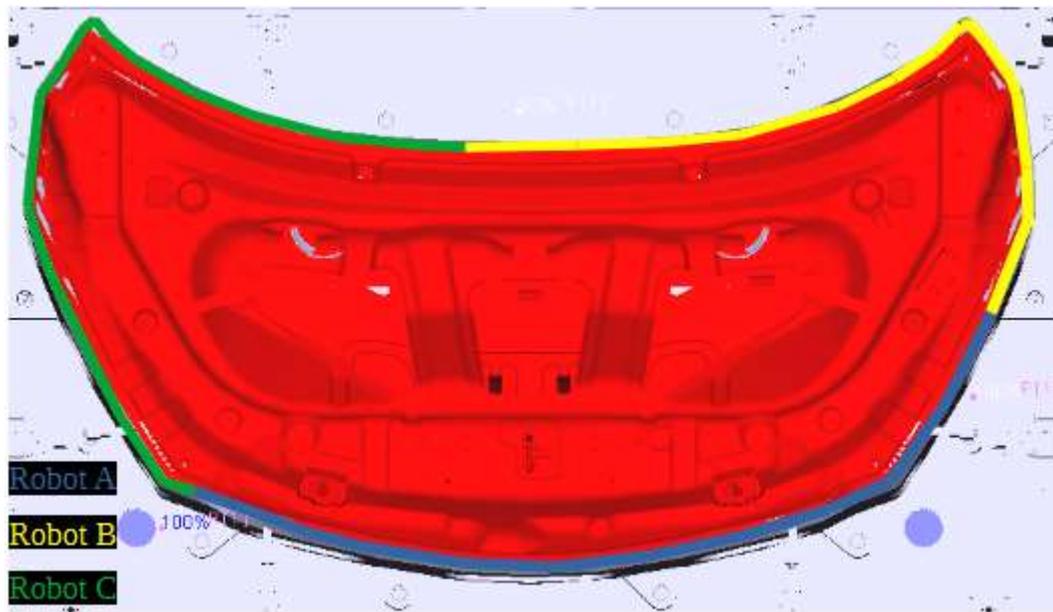


Figura 114. Esquemas de trayectorias útil 5

5.2.5.2.1. ROBOT A

El recorrido del robot A es ligeramente más sencillo que los otros dos, principalmente porque no se necesita cambiar de herramienta en ningún momento ni cuenta con giros cerrados. Estos necesitan de muchos puntos para que el robot sea capaz de seguir la trayectoria (Puede variar desde los 3-5 puntos en un giro normal a 5-9 en uno más cerrado).

- **Engrapado a 45°**

El robot comienza cuando se haya recibido la señal de que todos los robots están en posición. No se cambia la herramienta en ningún momento.

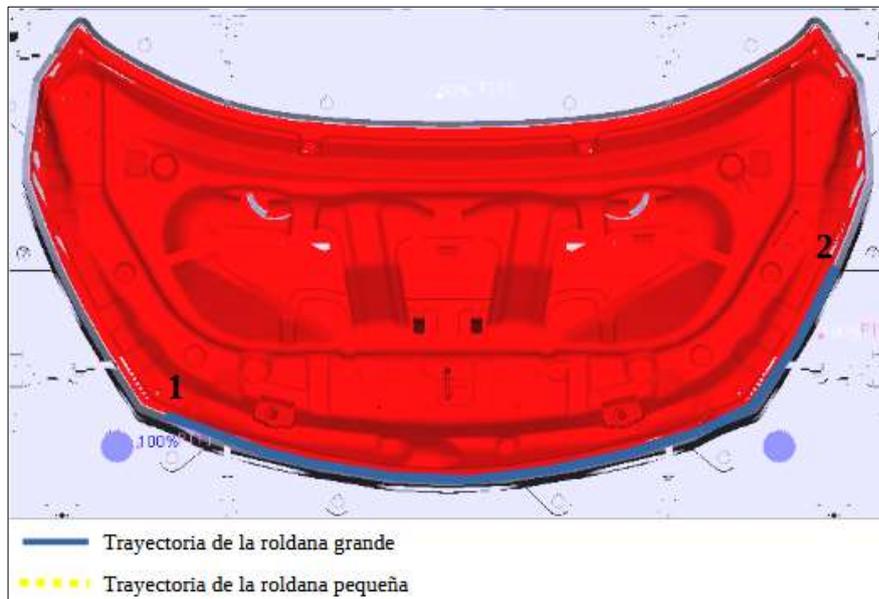


Figura 115. Esquema engrapado 45° Robot A

- **Engrapado a 90°**

El recorrido es el mismo, pero en sentido contrario. Este trayecto es algo más lento que el anterior, aunque es el robot más rápido de los tres.

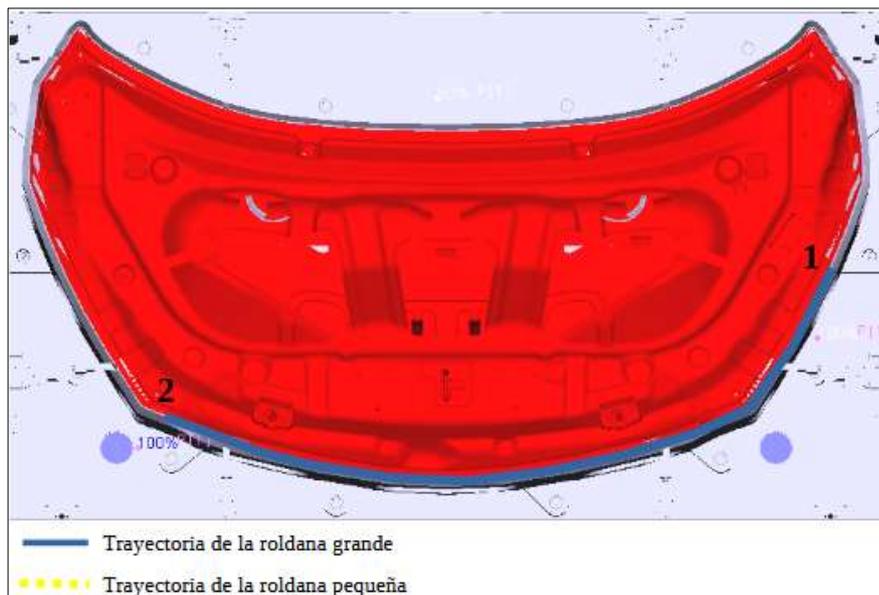


Figura 116. Esquema engrapado 90° Robot A

5.2.5.2.2. ROBOT B

El robot B tiene un trayecto más complejo al contar con un giro cerrado, así como más relieve por la parte superior.

- **Engrapado a 45°**

No es necesario el cambio de herramienta por lo que el recorrido es bastante sencillo de realizar.

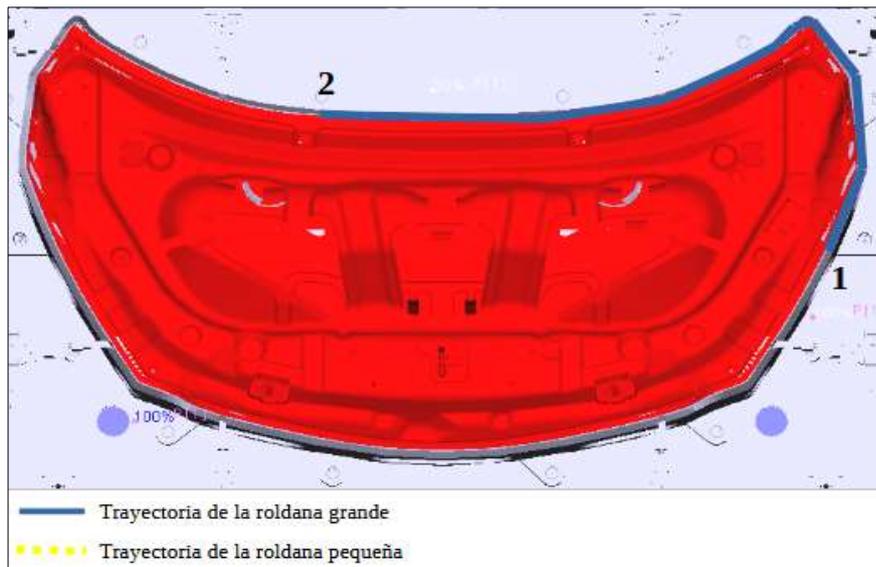


Figura 117. Esquema engrapado 45° Robot B

- **Engrapado a 90°**

El recorrido es el mismo en sentido contrario con un cambio de herramienta en la esquina

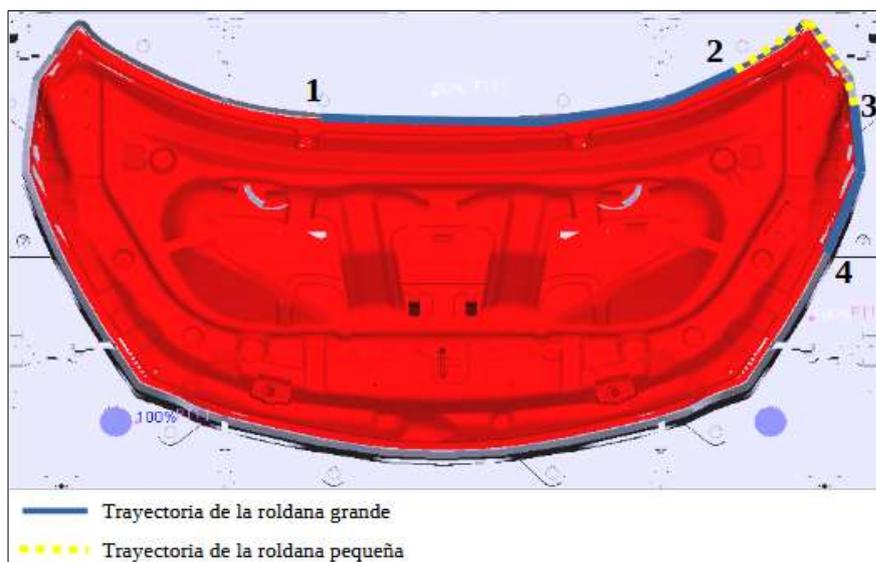


Figura 118. Esquema engrapado 90° Robot B

5.2.5.2.3. ROBOT C

El robot funciona de forma muy similar al B al encargarse de la esquina contraria.

- **Engrapado a 45°**

El recorrido es bastante rápido al no tener que perder tiempo en el cambio de herramienta.

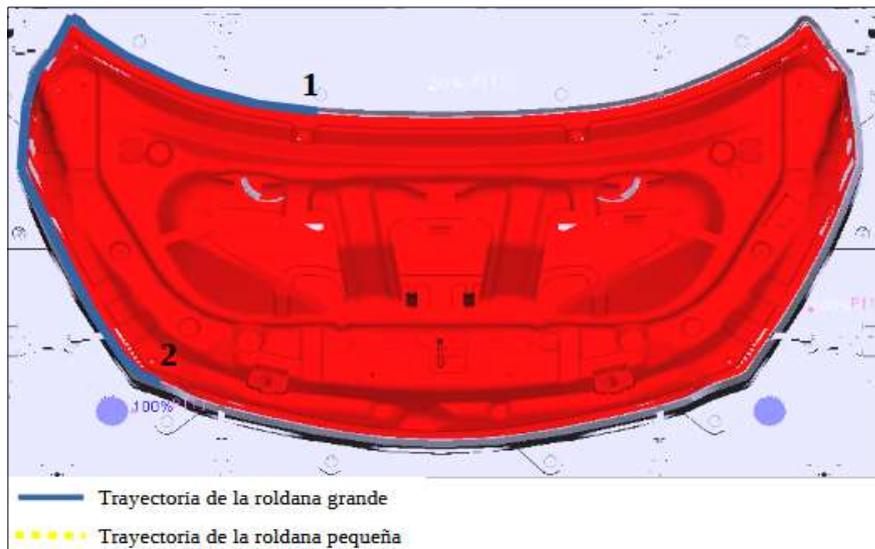


Figura 119. Esquema engrapado 45° Robot C

- **Engrapado a 90°**

El recorrido es inverso con un cambio de herramienta en la esquina superior.

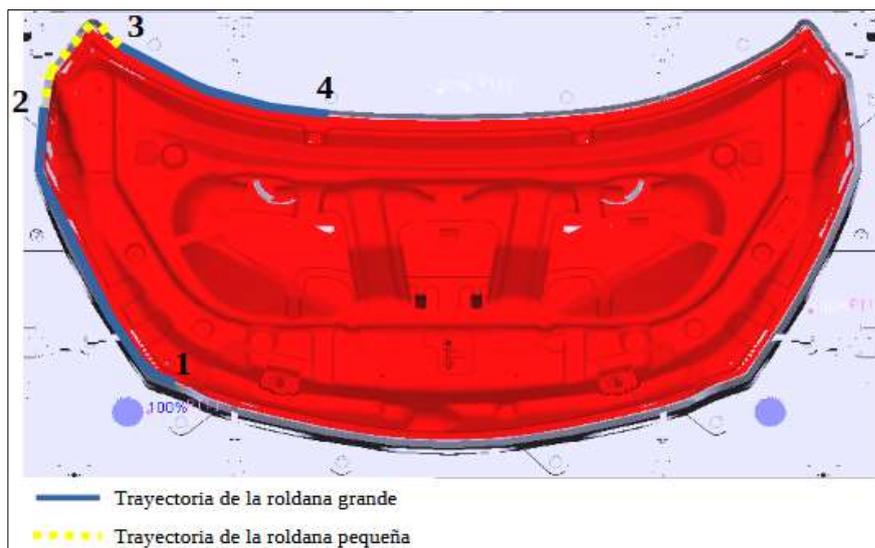


Figura 120. Esquema engrapado 90° Robot C

5.2.6. Útil 6 (Portón trasero)



Figura 121. Portón trasero

Esta pieza sigue una estructura similar al **útil 6** dado que el recorrido es circular y cada robot termina donde empieza otro. Sin embargo, este es considerablemente más complejo de mecanizar. Esto es debido a que el borde del portón tiene unos ángulos muy cerrados, provocando que sea muy sencillo que todos los robots colisionen a la vez cuando estén realizando el engrapado a 90°. (En cada útil esto es un elemento a tener en cuenta, pero siendo en este uno mucho más notorio).

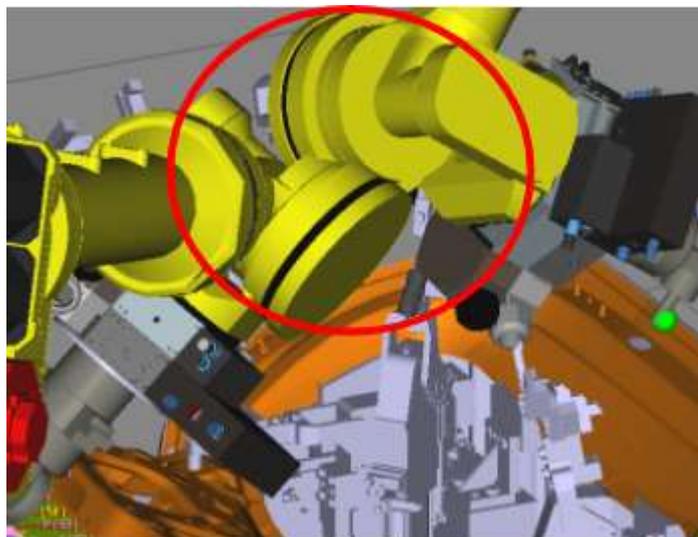


Figura 122. Ejemplo de choque de robots A y C debido a mala programación.

A mayores del problema de los choques de los robots existe un problema de entrada en ambas esquinas interiores, las cuales son muy cerradas y las herramientas llegan a estos huecos con mucha dificultad.

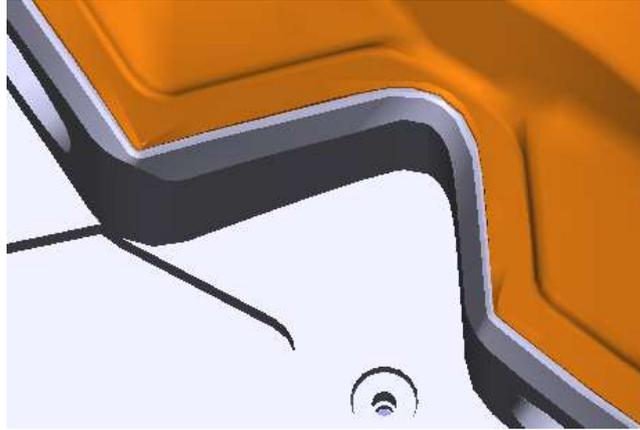


Figura 123. Detalle de una de las esquinas interiores

Como detalle para este molde, a diferencia de los anteriores, cuento con el archivo de las fijaciones abiertas, ya que al no poder ocultarlas es muy difícil conseguir hacer un recorrido continuo si estas están presentes.

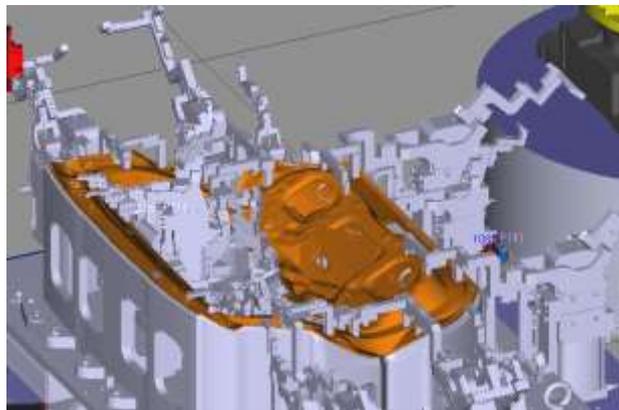


Figura 124. Fijaciones cerradas

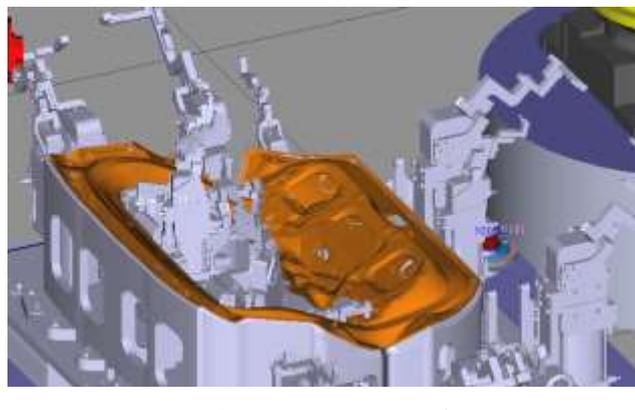


Figura 125. Fijaciones abiertas

El principal motivo de esto es poder mecanizar de forma más cómoda las curvas interiores, ya que como se aprecia en la **figura 126**, las fijaciones ocupan bastante y ocultan parte de la pista obstruyendo visión e impidiendo ver el recorrido en su totalidad.

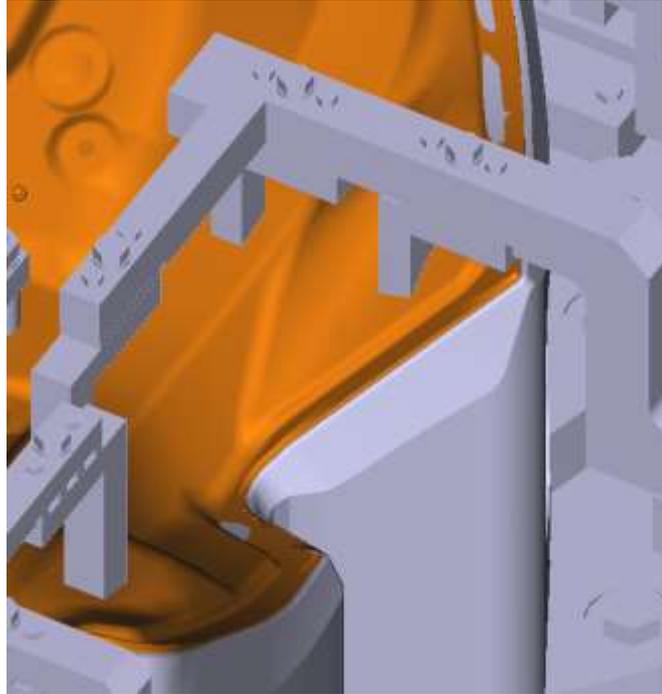


Figura 126. Fijaciones obstruyendo zonas del útil

5.2.6.1. Sujeciones

Las sujeciones que evitan el movimiento del portón se componen de un conjunto de ventosas similares a los útiles anteriores. Estas están situadas en la zona de los robots B y C que es la única donde existe superficie en la que poder utilizar ventosas.

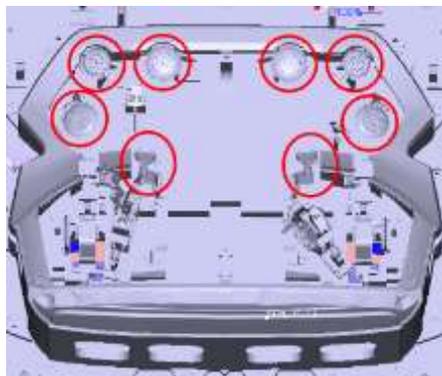


Figura 127. Ventosas útil 6

5.2.6.2. Trayectorias

Como se ha mencionado previamente, los robots seguirán trayectorias circulares al ser una pieza simétrica. Sin embargo, a diferencia del **útil 5**, los recorridos de los robots son desiguales siendo B el que tiene una trayectoria simple mientras que las del A y el C son bastante más complejas.

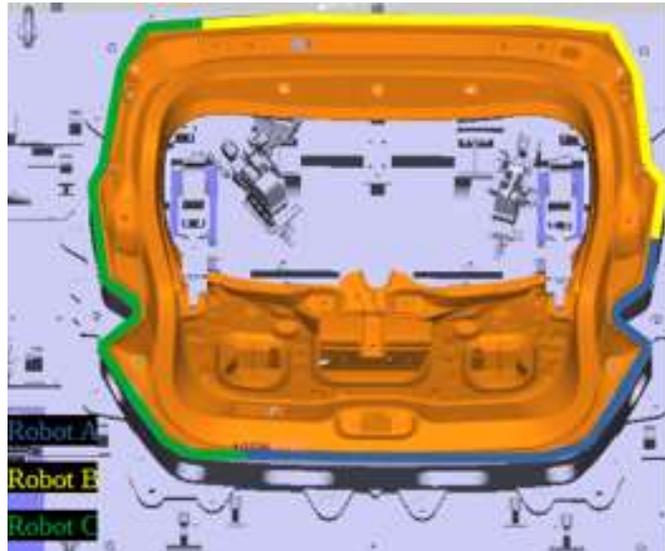


Figura 128. Esquemas de trayectorias útil 6

5.2.6.2.1. ROBOT A

La zona inferior que recorre el robot A es plana sin grandes cambios de nivel, con lo que el robot se desplaza a buena velocidad. Al llegar a la curva interior se necesita cambiar la herramienta e ir a baja velocidad por los múltiples problemas que causa esa zona.

- **Engrapado a 45°**

Durante este proceso, no se producen choques con otros robots, por lo que no se requieren sensores para el control del movimiento de A. Se empieza con el uso de la roldana grande hasta llegar a [2]. Llegado este punto se producen varios problemas:

- Incapacidad de uso de la roldana grande.
- Problemas de entrada en perpendicular de la pequeña.
- Choques en múltiples puntos.

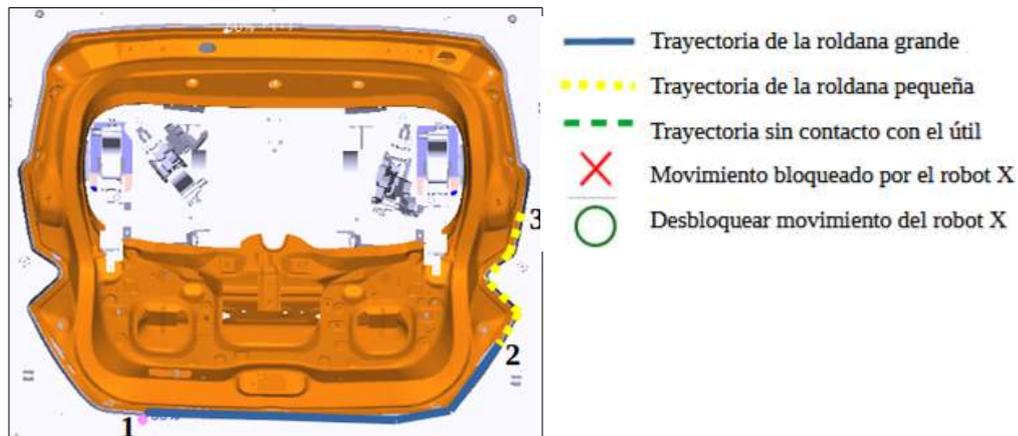


Figura 129. Esquema engrapado 45° Robot A

La entrada idónea para el correcto hemming se debe realizar a 90° entre la herramienta y el útil. Es un asunto particularmente complicado de realizar en tramos tan restrictivos como este. La **figura 130** ilustra cómo sería el posicionamiento deseable de la herramienta, y la **figura 131** el problema que supone.

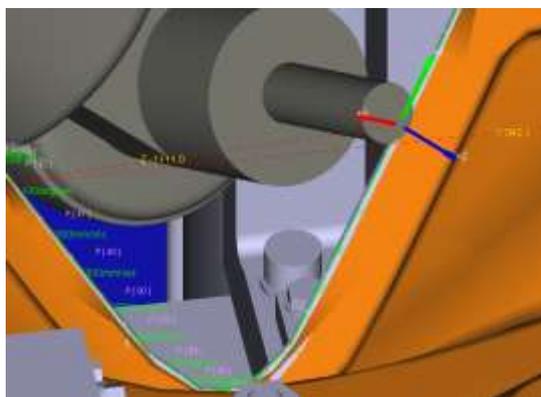


Figura 130. Entrada a 90° de la herramienta

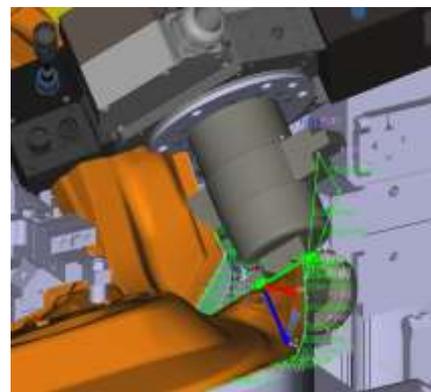


Figura 131. Herramienta atravesando al útil

Como solución a esto la herramienta entrará con un ligero giro en el eje X de la misma, haciendo que ya no se atravesase al útil. Aunque el giro sea necesario, la parte de la roldana en contacto con la pieza debe seguir siendo la central. De lo contrario se produce un deslizamiento indeseado produciendo arrugas en la pieza. Esto se debe a que el **offset** hace variar la presión que ejerce la herramienta en forma vertical, de no estar alineado, la presión produce un movimiento deslizante.

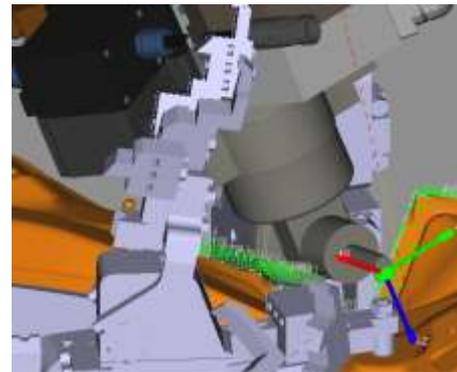
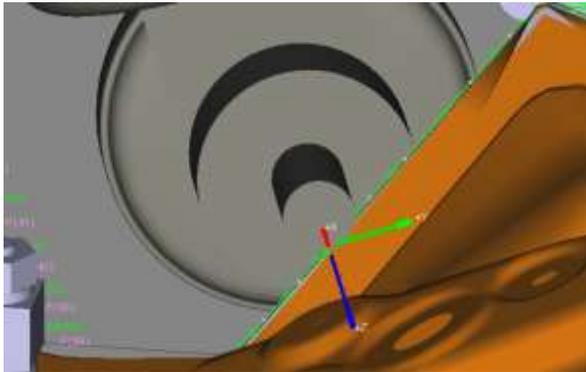


Figura 132. Entrada a 90° de la herramienta

Figura 133. Herramienta y útil sin tocarse

- **Engrapado a 90°**

El recorrido que sigue la herramienta es inverso a la anterior. Los problemas ocasionados en el tramo [2-3] son menores al ser esta pasada más sencilla de realizar. Como ya se ha explicado, en esta pasada los robots se chocan con facilidad, con lo cual se requieren de múltiples señales como muestra la **figura 134**.

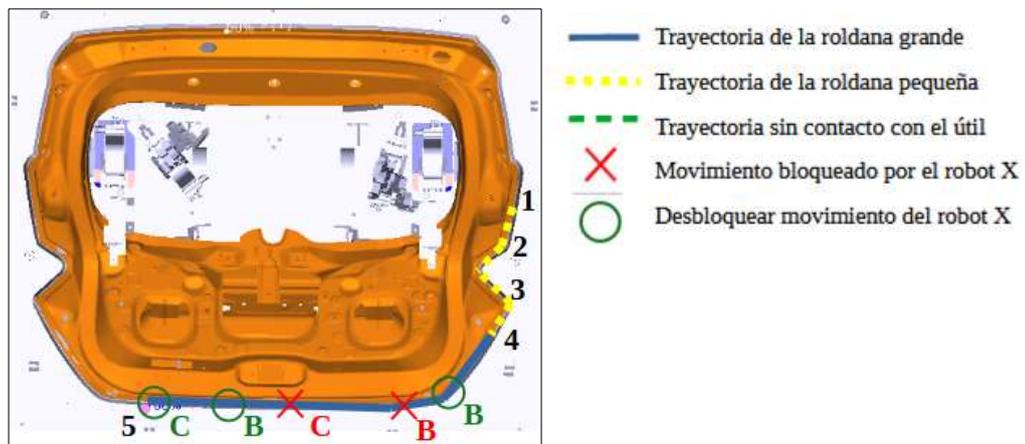


Figura 134. Esquema engrapado 90° Robot A

En este caso no será necesario girar la roldana en el eje X para poder realizar la pasada. Para ello la pasada no tendrá alineados el eje Y con la dirección en la que se mueve la herramienta, ya que será necesario girar en el eje Z la herramienta para que no choque la parte superior de la misma con la pieza. La velocidad será menor para compensar el encontrarse desalineado.

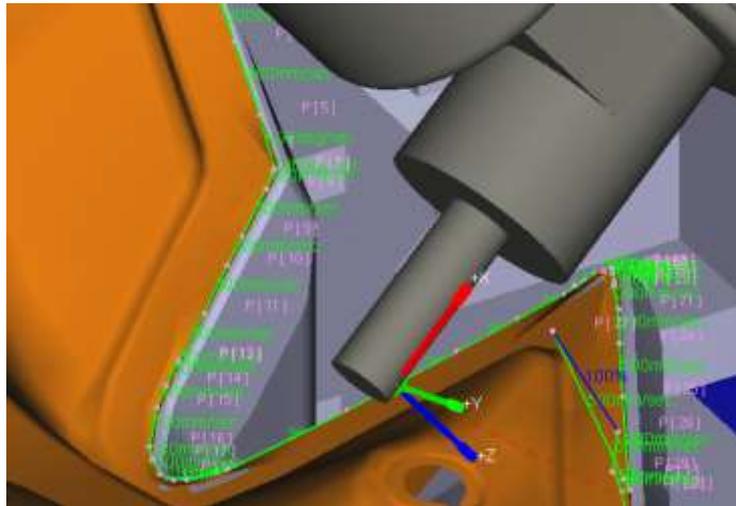


Figura 135. Herramienta haciendo la pasada a 90°

5.2.6.2.2. ROBOT B

Es el recorrido más sencillo de los tres, siendo el más rápido y por ende el que más bloqueos sufrirá por estos mismos motivos.

- **Engrapado a 45°**

Empezando con la roldana pequeña, se realizará con la misma el mecanizado de la parte izquierda. Al llegar a [2] se cambiará la roldana hasta llegar a [3], moviéndose hasta [4] para dejar espacio al robot C. Al igual que A, no se necesitan señales para controlar los movimientos de los robots.

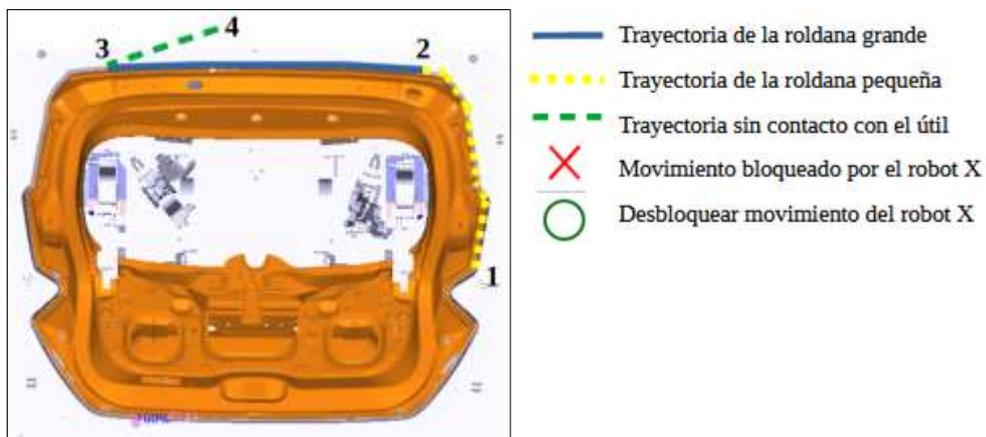


Figura 136. Esquema engrapado 45° Robot B

- **Engrapado a 90°**

Esta pasada se caracteriza por la gran cantidad de señales que tiene este robot en poco espacio. A mayores es necesario que el robot se desplace fuera del útil para que no colisione con el resto. Al ser el robot más simple, se mantendrá detenido gran parte de la ejecución dando prioridad a los otros dos.

Pese a no tener tantos bloqueos, estos son de larga duración, lo que hace que este sea el robot que más tiempo está en funcionamiento.

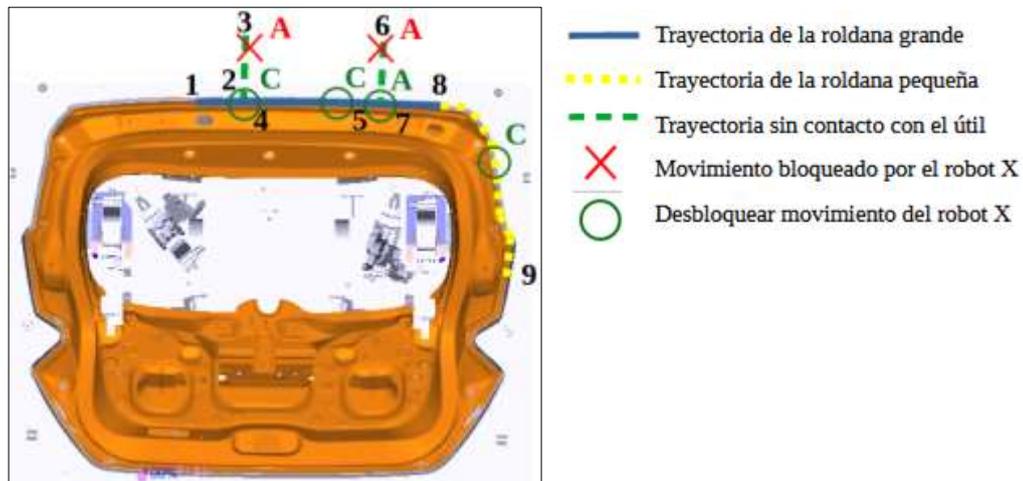


Figura 137. Esquema engrapado 90° Robot B

5.2.6.2.3. ROBOT C

Es el robot con el recorrido más largo de los tres y, a mayores, el más de difícil de programar, presentando varios cambios de herramienta y alterando la velocidad por el difícil acceso al útil en diferentes puntos.

- **Engrapado a 45°**

El proceso comienza en el giro superior izquierdo utilizando la roldana pequeña, la cual no cambiará durante la mayor parte del recorrido. Debido a la presencia de giros cerrados no es posible cambiar a la roldana grande hasta llegar a [2], al ser un tramo recto. La curva entre [3-4] presenta los mismos problemas que la vista en el robot B, por ello se adoptan las mismas medidas para solucionarlo.

Las señales para la coordinación entre robots no son necesarias al no haber riesgo de colisión.

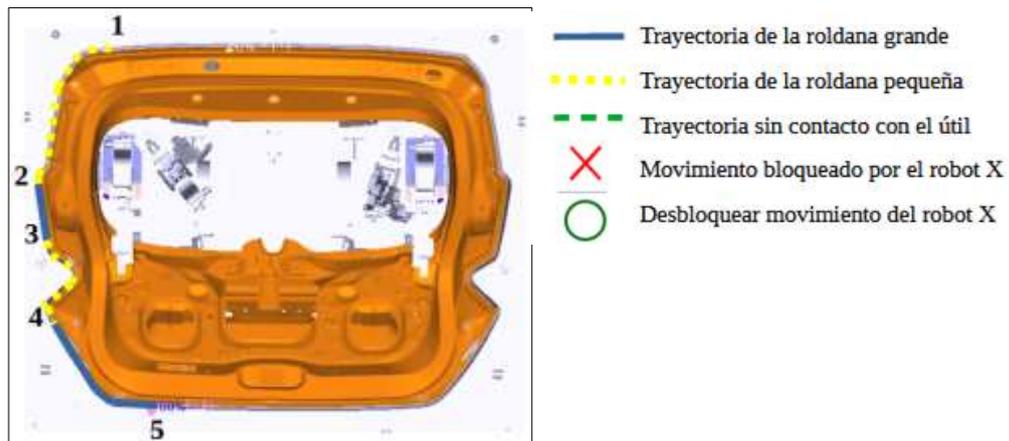


Figura 138. Esquema engrapado 45° Robot C

- **Engrapado a 90°**

El robot estará bastante tiempo bloqueado, debido al poco espacio disponible para el movimiento existente entre este y el robot B. Al igual que lo que sucede con el robot A, el tramo [2-3] se realiza con la roldana pequeña sin estar alineada su eje Y con la dirección de la herramienta.

A diferencia de otras pasadas, su punto de finalización [5] no es el mismo que el que inició la pasada a 45°. Esto es debido a que el robot B es más lento y por eso este pasa a realizar una parte que antes mecanizaba B.

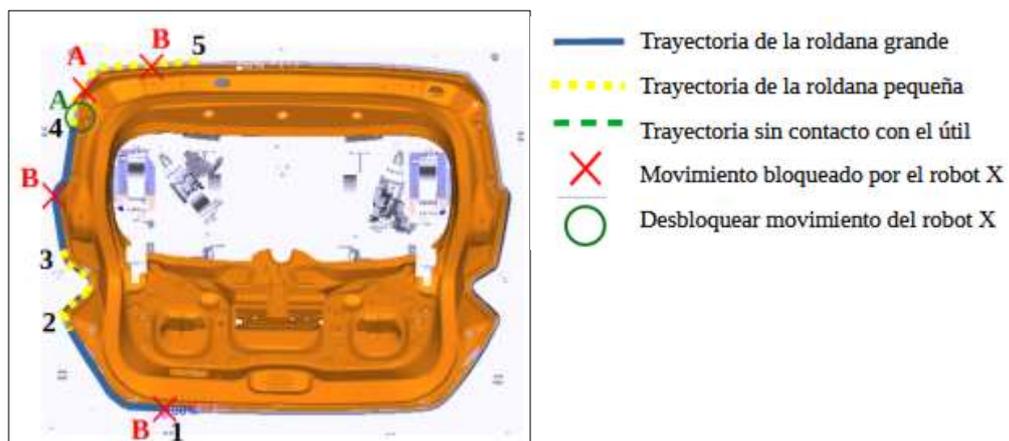


Figura 139. Esquema engrapado 90° Robot C

6. Resultados

Tras haber explicado las trayectorias de cada pieza, se mostrará cómo los robots realizan esas trayectorias. Se mostrarán las partes de los recorridos más relevantes de cada robot.

6.1. Primera pieza

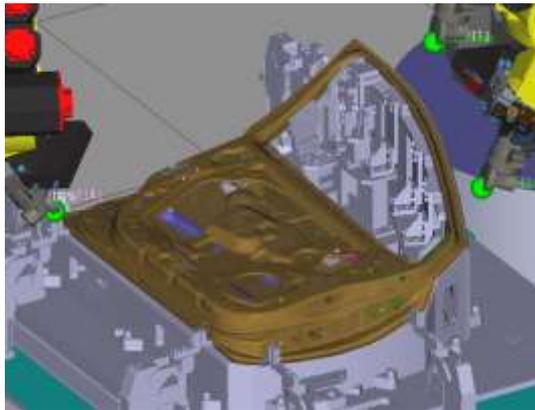


Figura 140. Pieza 1, robots en posición inicial

6.1.1. Robot A

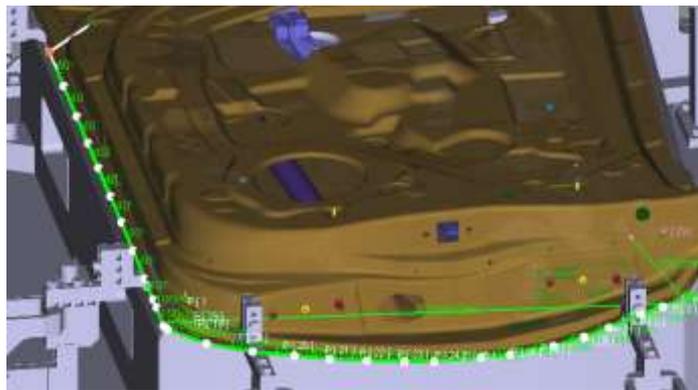


Figura 141. Robot A, engrapado a 45°

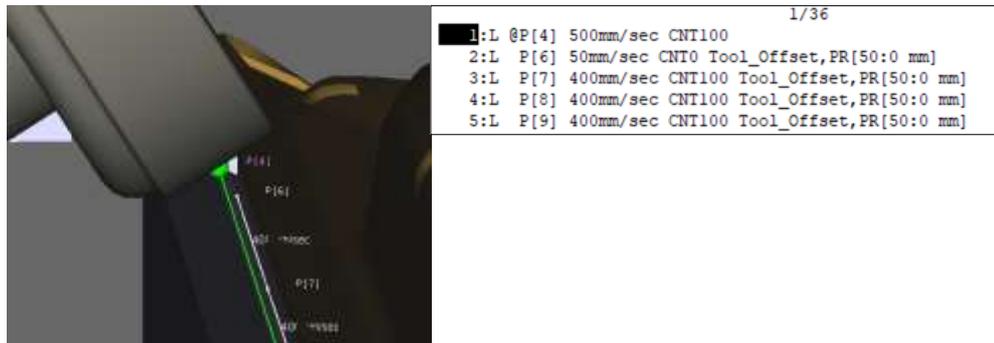


Figura 142. Robot A, aproximación a la pieza

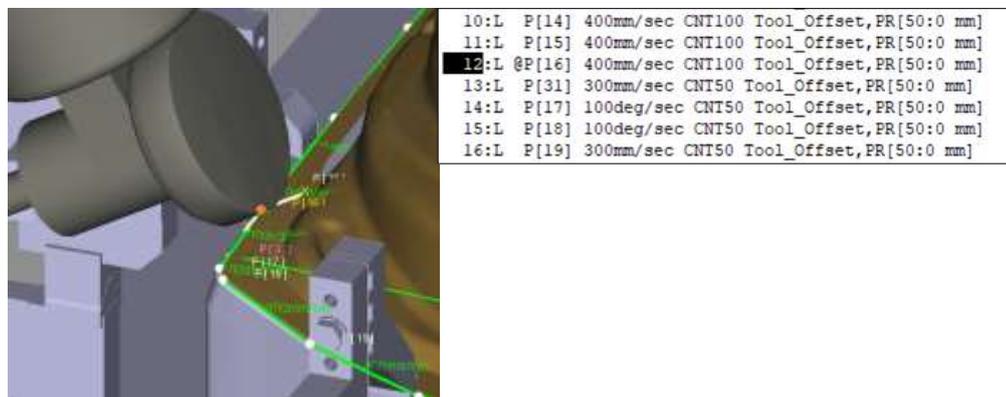


Figura 143. Robot A, cambio de velocidad al llegar al giro



Figura 144. Robot A, engrapado lateral

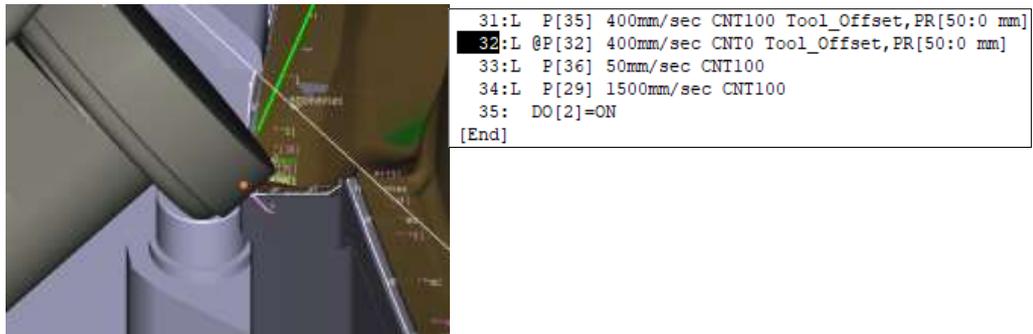


Figura 145. Robot A final del recorrido

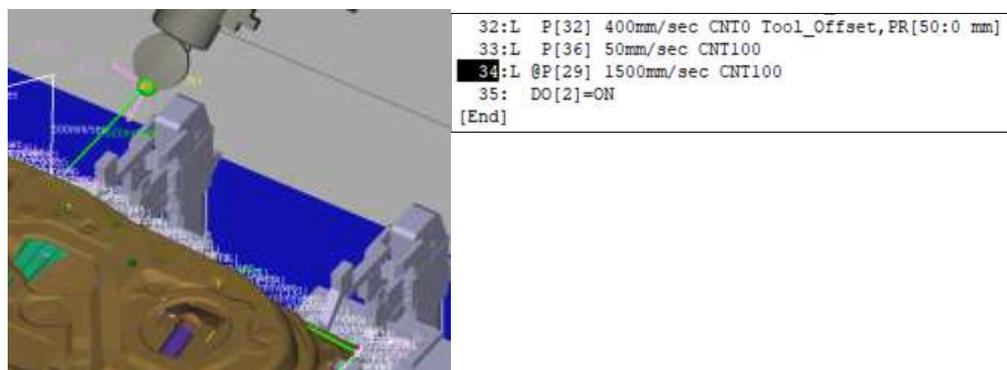


Figura 146. Robot A vuelta a la posición inicial

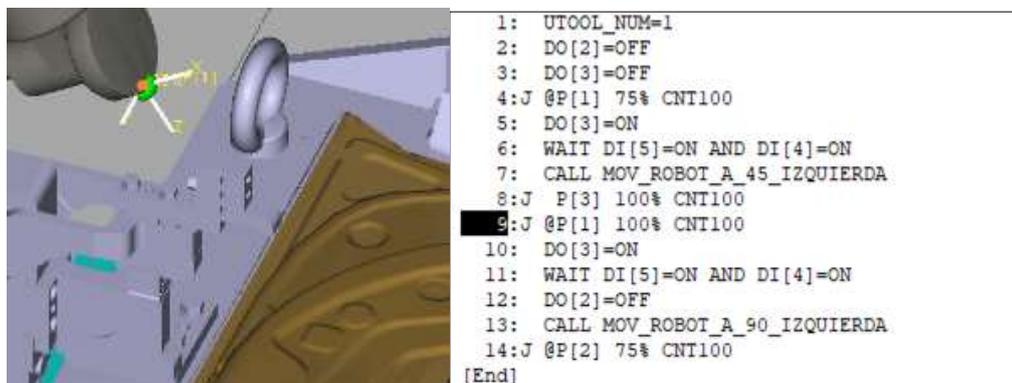


Figura 147. Robot A, a la espera de que todos los robots terminen su pasada a 45°

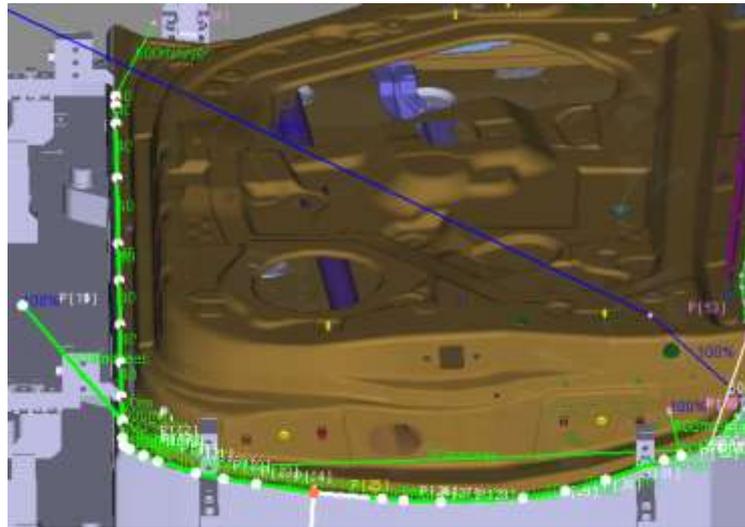


Figura 148. Robot A, engrapado a 90°



Figura 149. Robot A cambio de herramienta

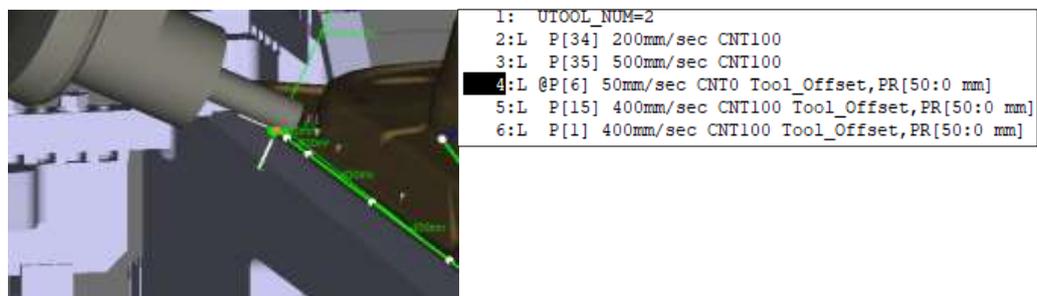


Figura 150. Robot A, aproximación a la pieza

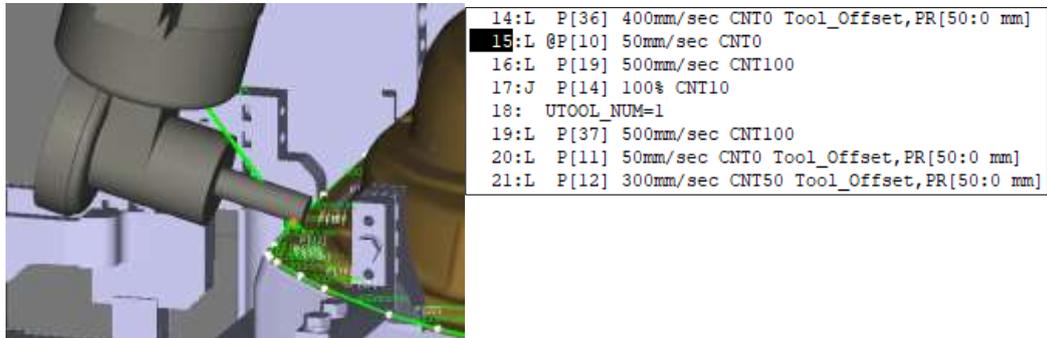


Figura 151. Robot A, deja de aplicar presión

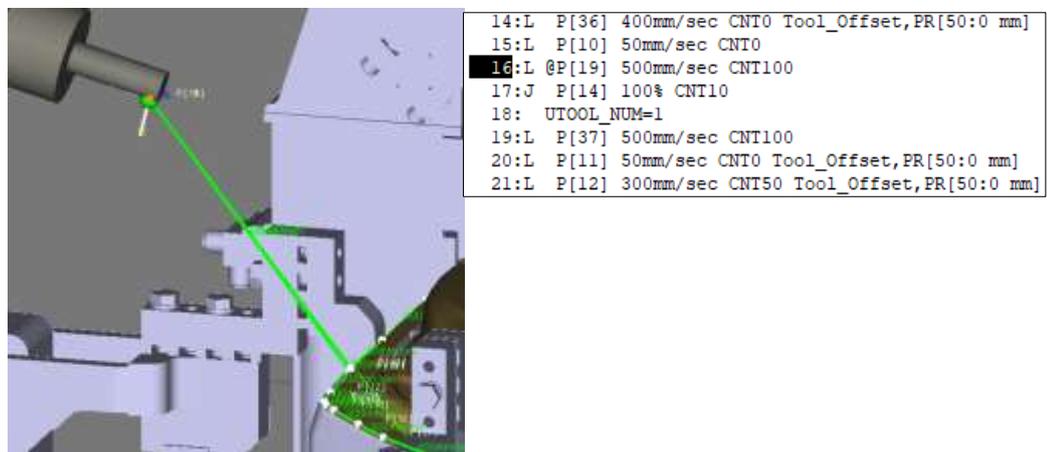


Figura 152. Robot A, cambio de herramienta [1]

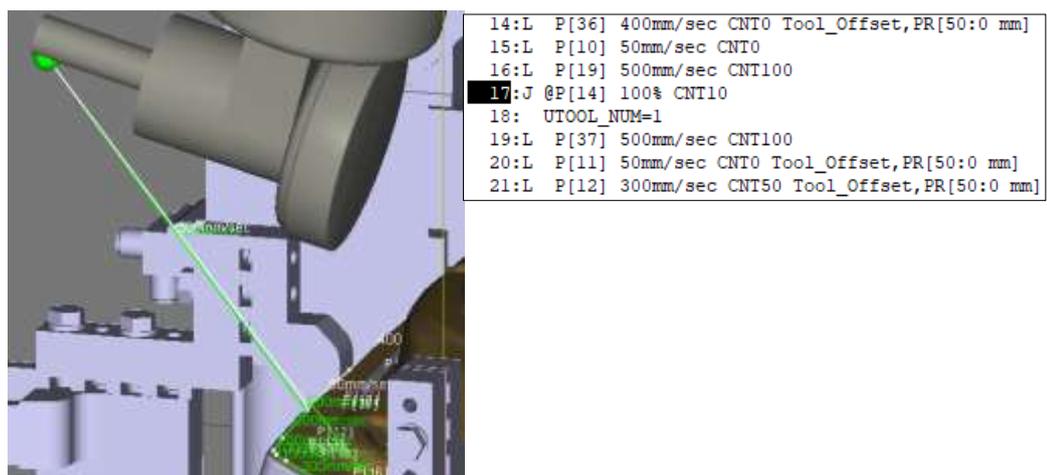


Figura 153. Robot A, cambio de herramienta [2]

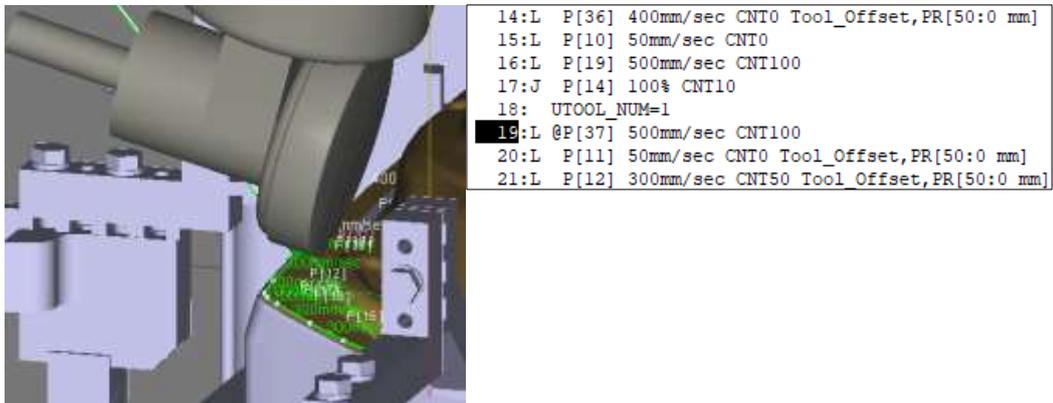


Figura 154. Robot A, continua el recorrido con la nueva herramienta



Figura 155. Robot A, necesidad de cambio de herramienta por el cambio brusco de concavidad

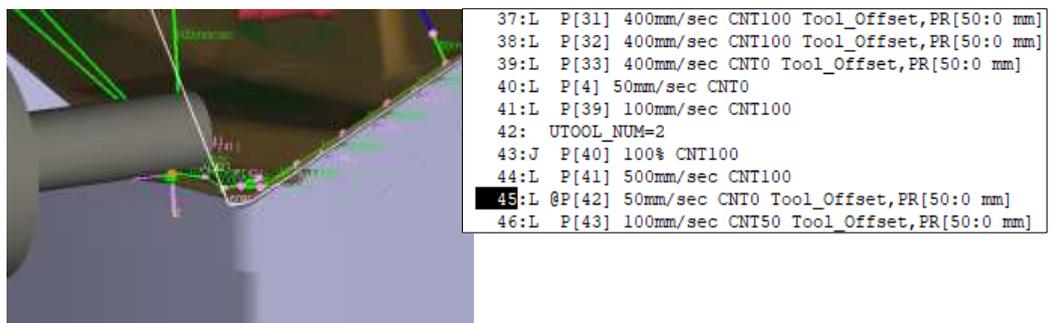


Figura 156. Robot A, roldana pequeña

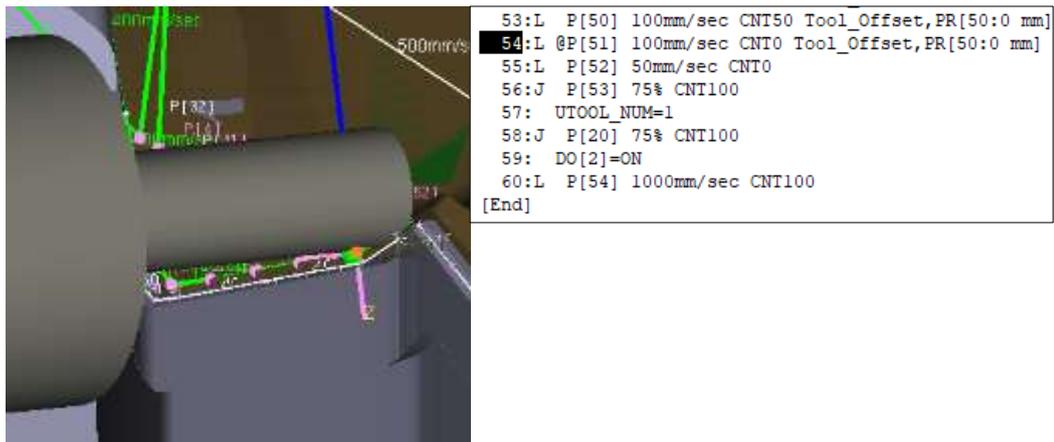


Figura 157. Robot A, roldana final del recorrido

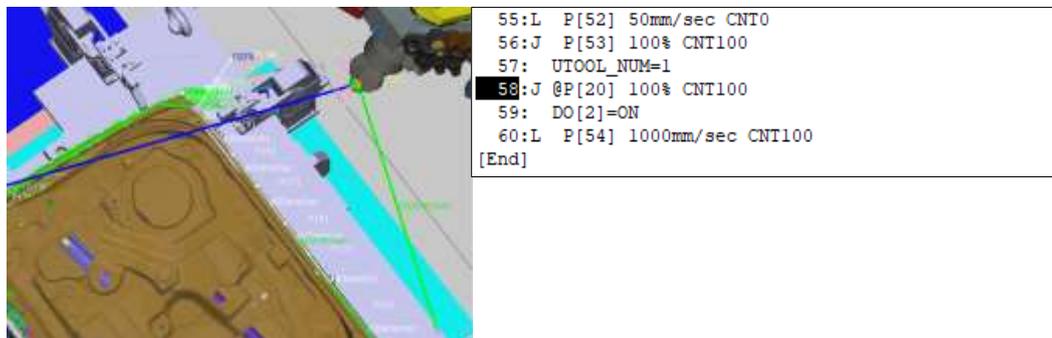


Figura 158. Robot A permite el movimiento del robot B

6.1.2. Robot B



Figura 159. Robot B, engrapado a 45°

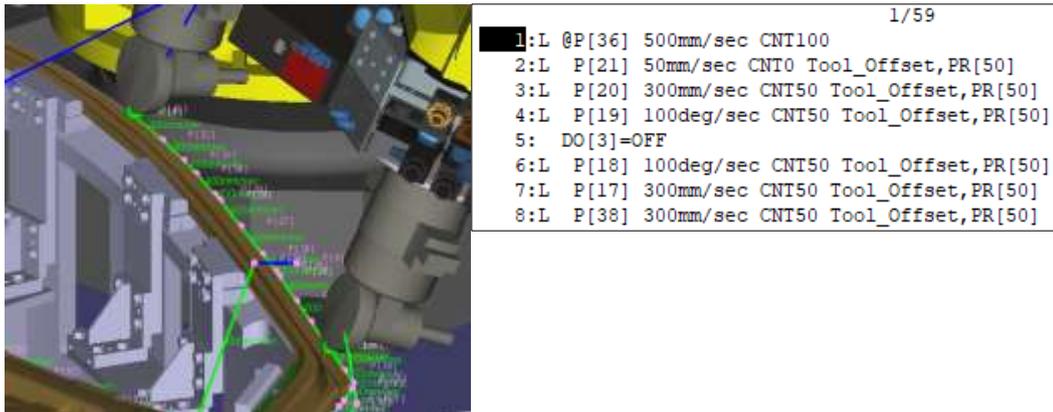


Figura 160. Robot B, aproximación a la pieza

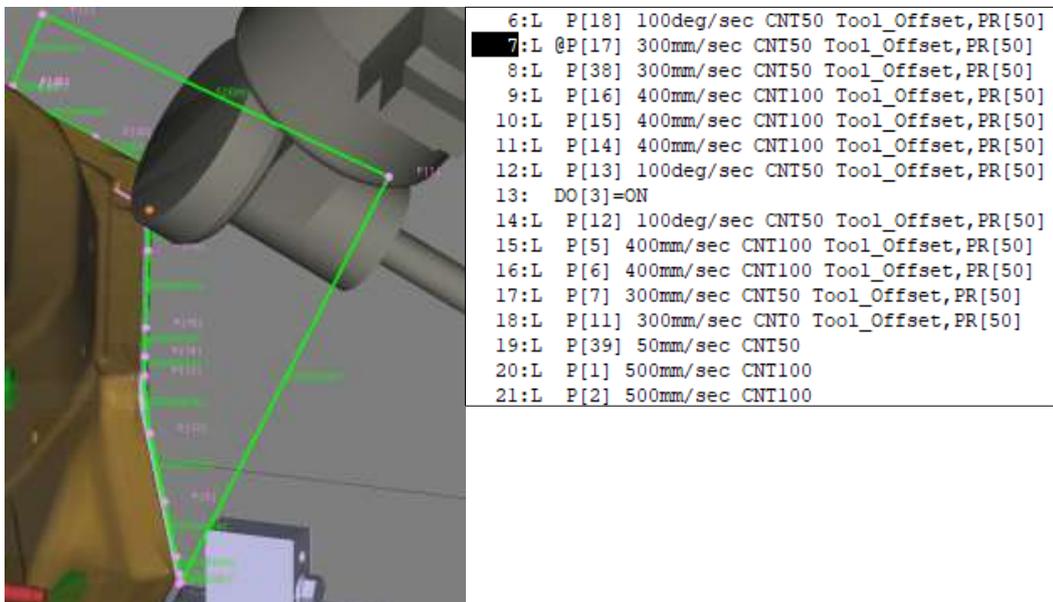


Figura 161. Robot B, pasada al lateral

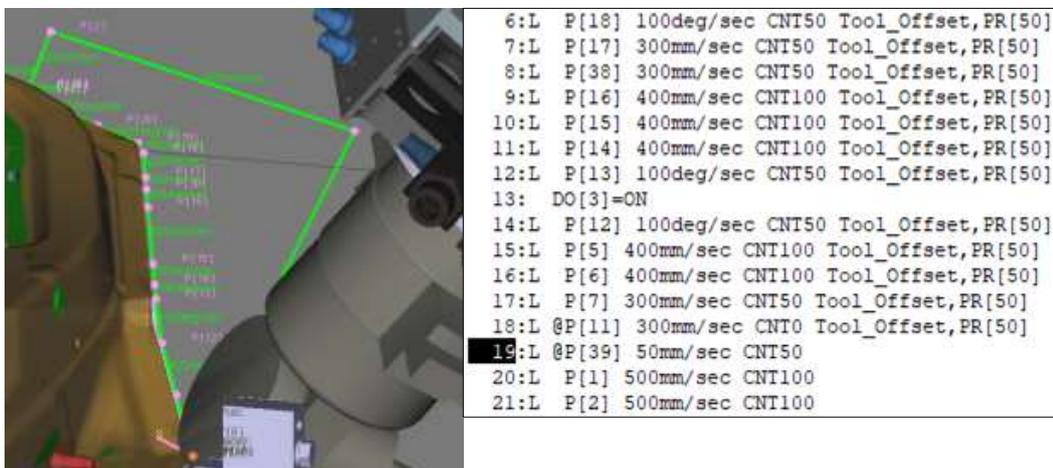


Figura 162. Robot B, pasada al lateral final

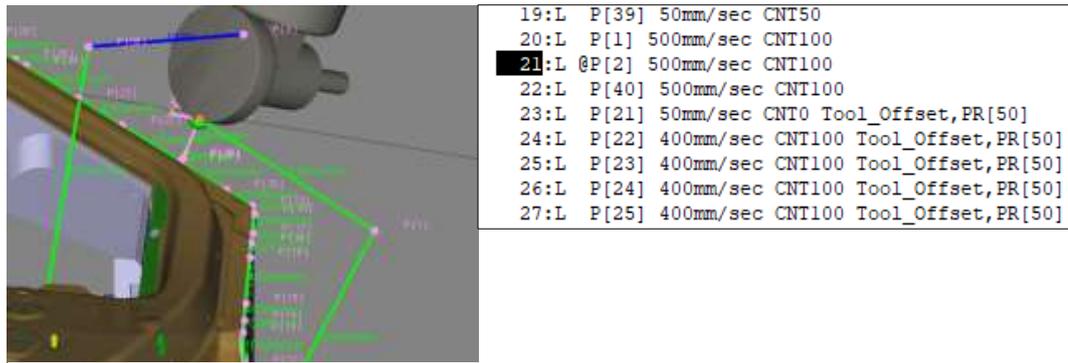


Figura 163. Robot B, movimiento hacia la zona superior

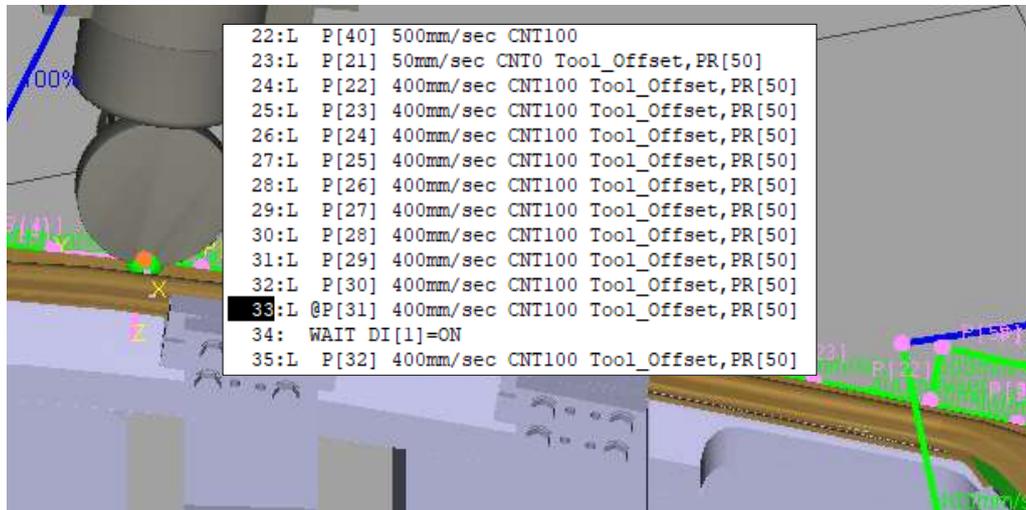


Figura 164. Robot B, en espera hasta que el robot C permita continuar su movimiento

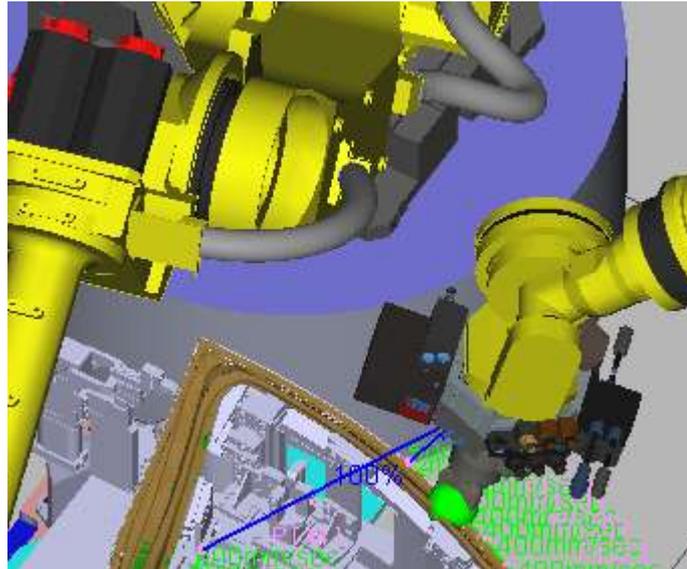


Figura 165. Robot B en posición para evitar colisión

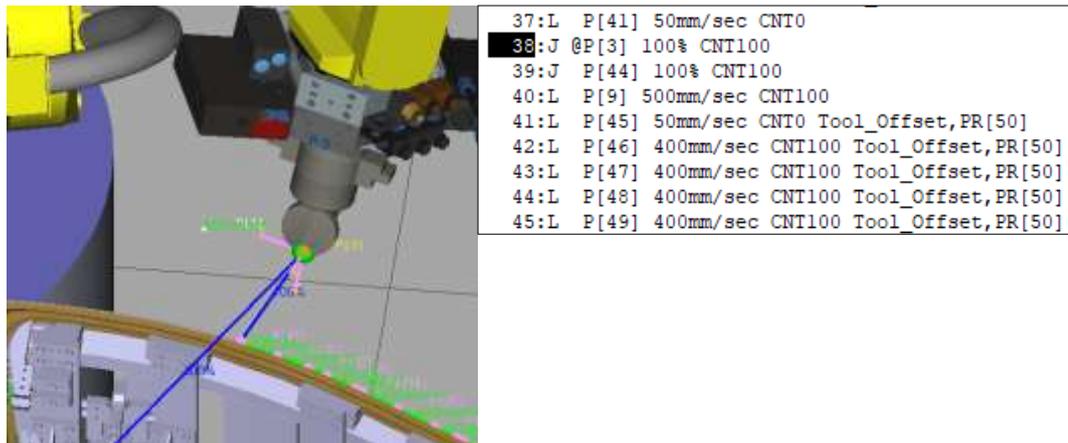


Figura 166. Robot B trayectoria hacia el interior de la ventana

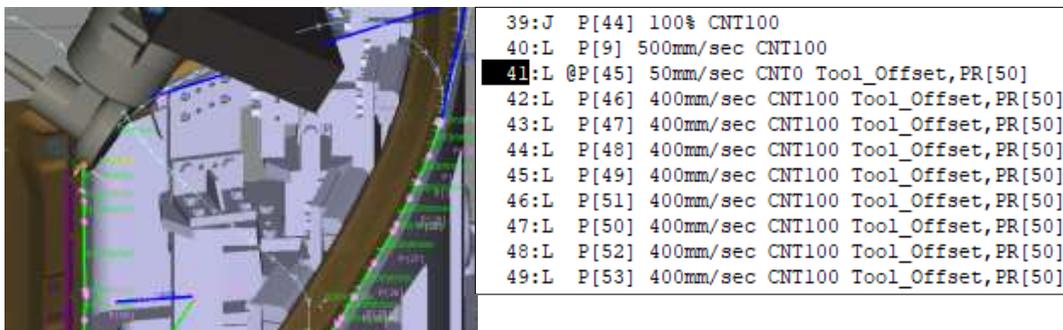


Figura 167. Robot B, aproximación zona interior

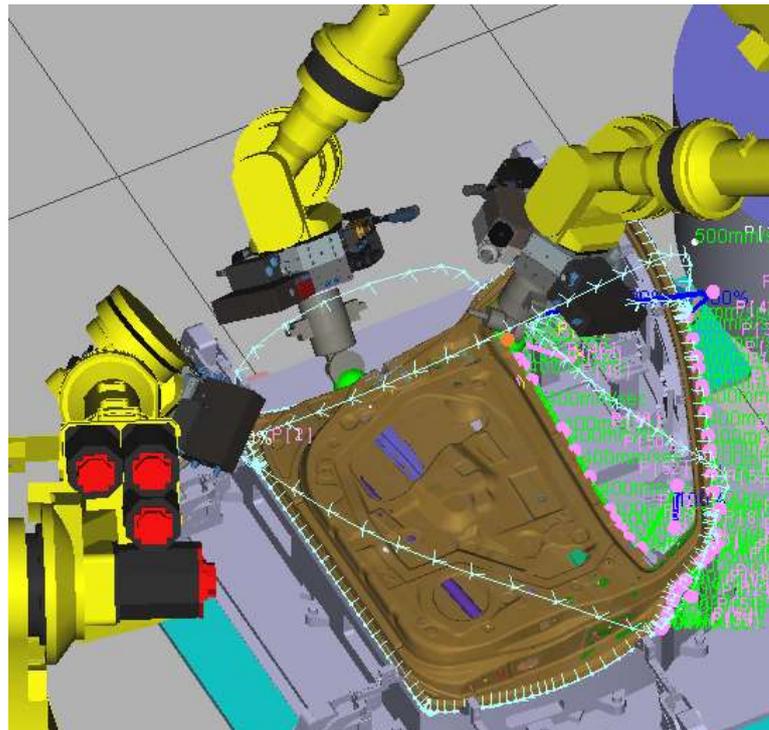


Figura 168. Posición de los tres robots durante la figura 166

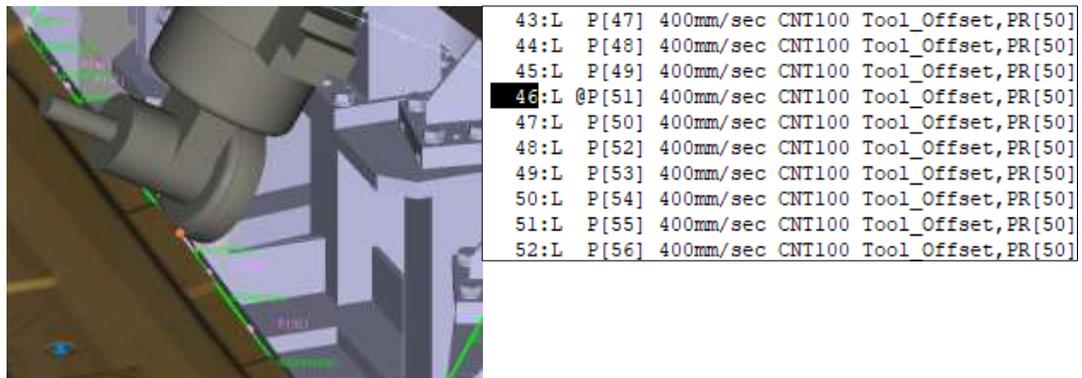


Figura 169. Robot B, roldana grande zona interior

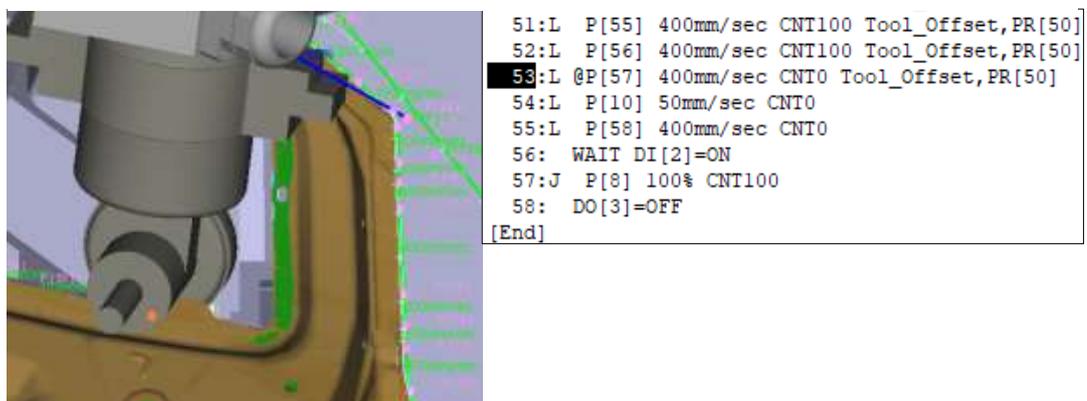


Figura 170. Robot B, roldana grande fin de trayecto

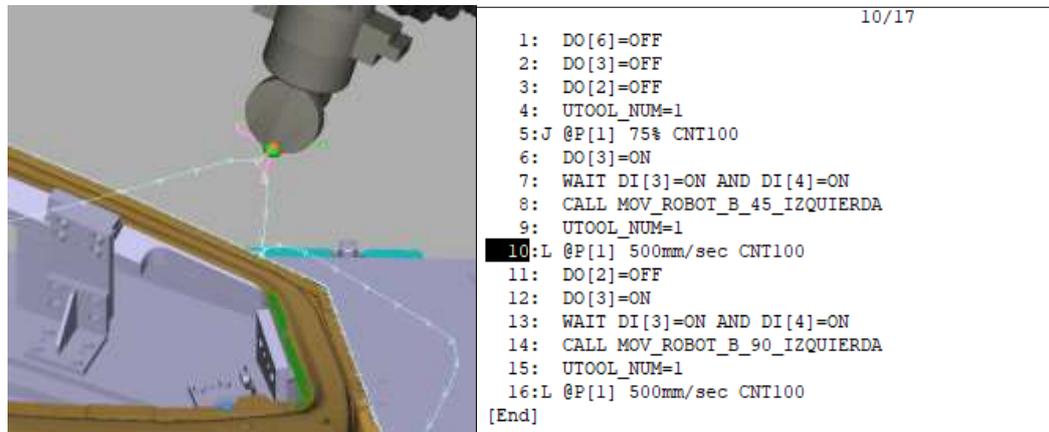


Figura 171. Robot B, a la espera del resto de robots

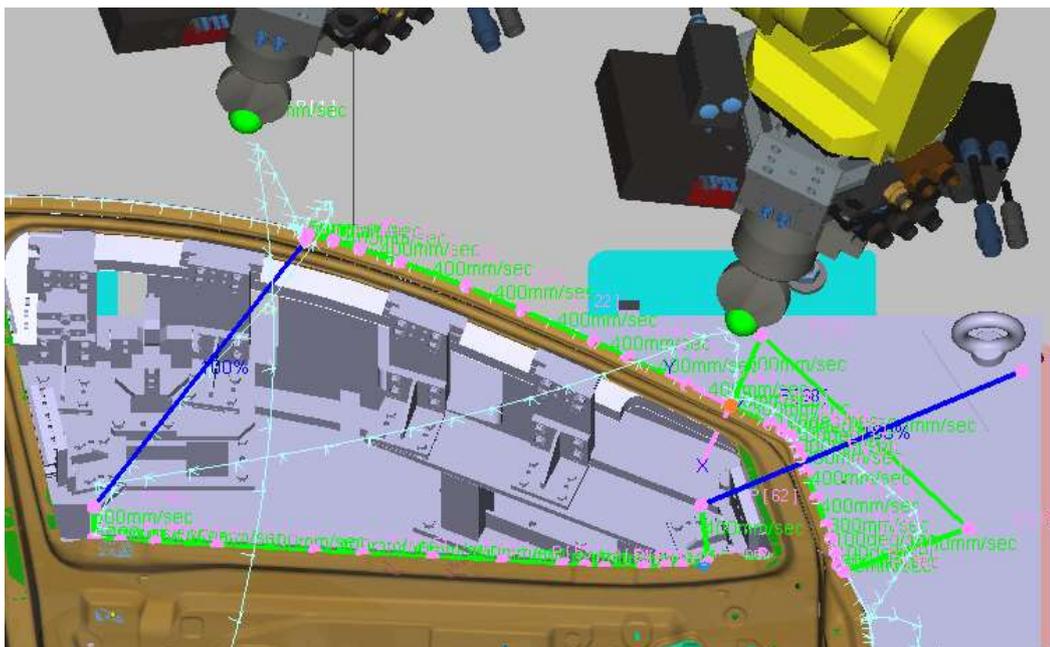


Figura 172. Robot B, engrapado a 90°

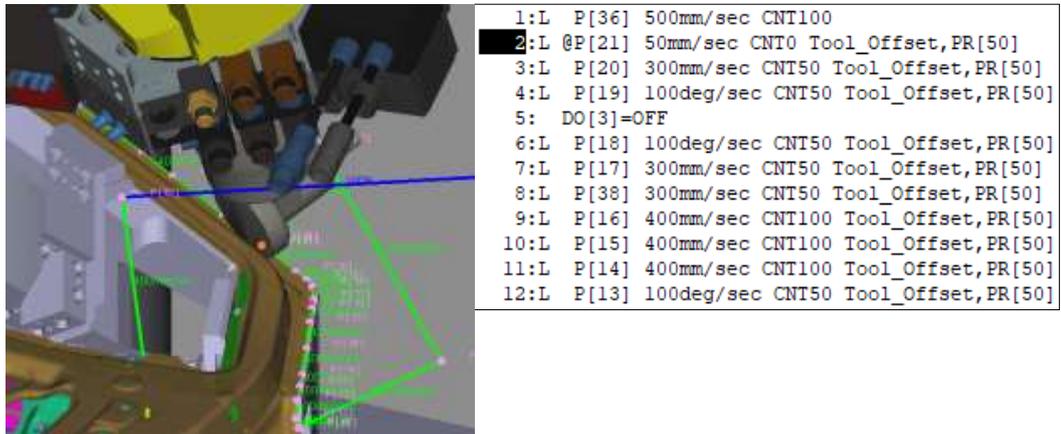


Figura 173. Robot B, aproximación al útil.

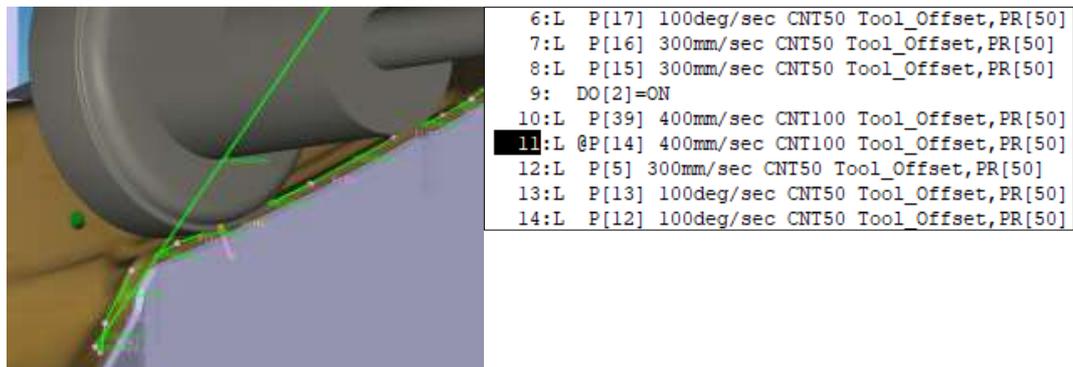


Figura 174. Robot B, detalle de la pasada

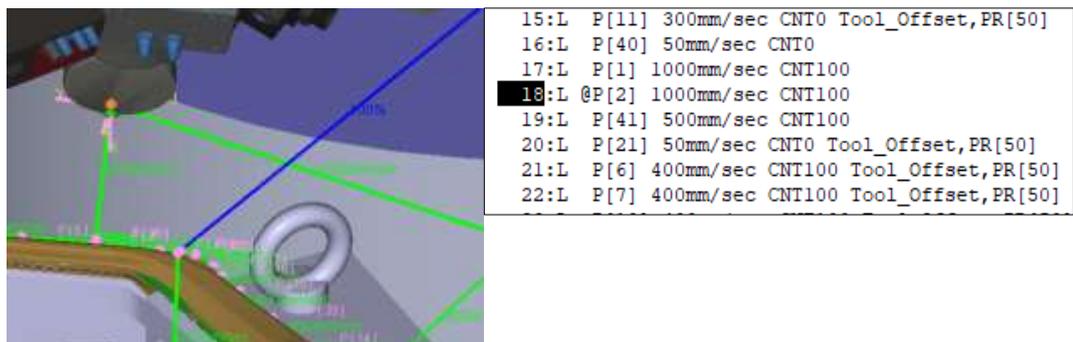


Figura 175. Robot B aproximación zona superior

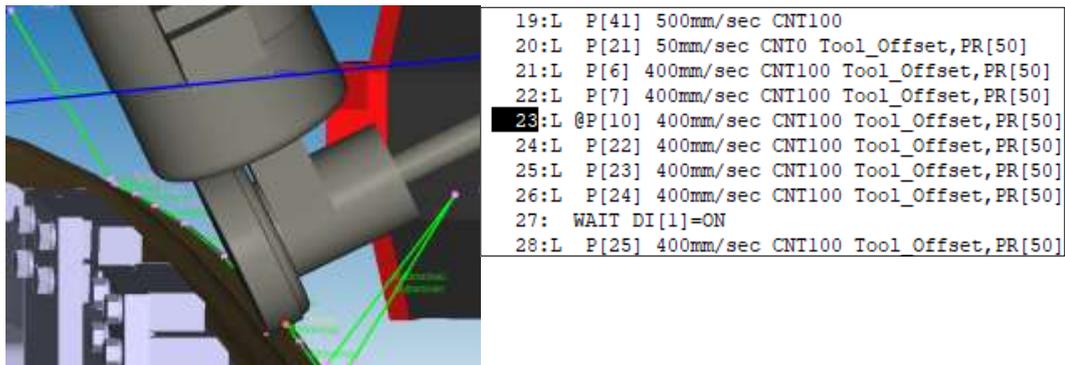


Figura 177. Robot B, zona superior

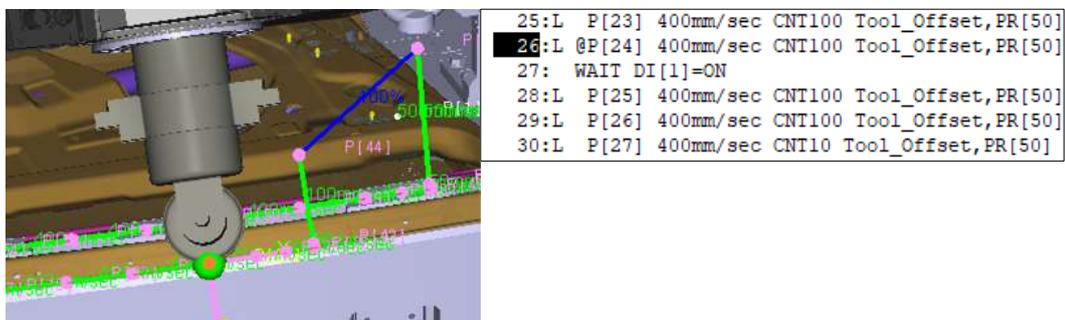


Figura 176. Robot B, a la espera del robot C

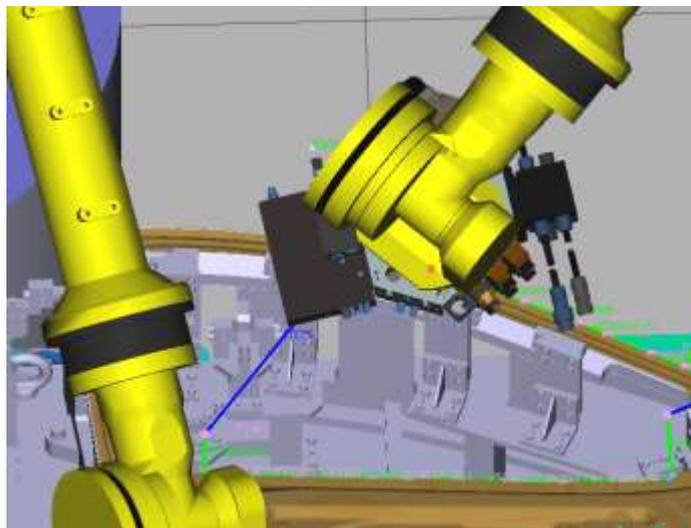


Figura 178. Robot B con respecto a C

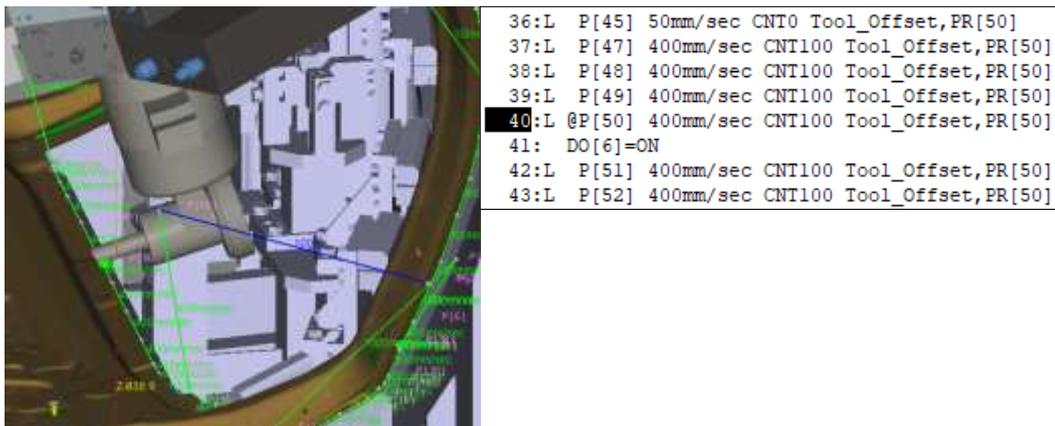


Figura 179. Robot B permite el movimiento de C

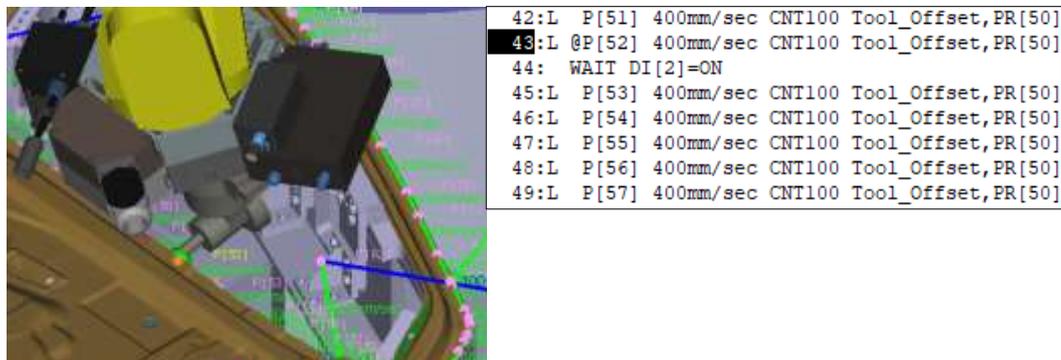


Figura 180. Robot B en espera del robot A

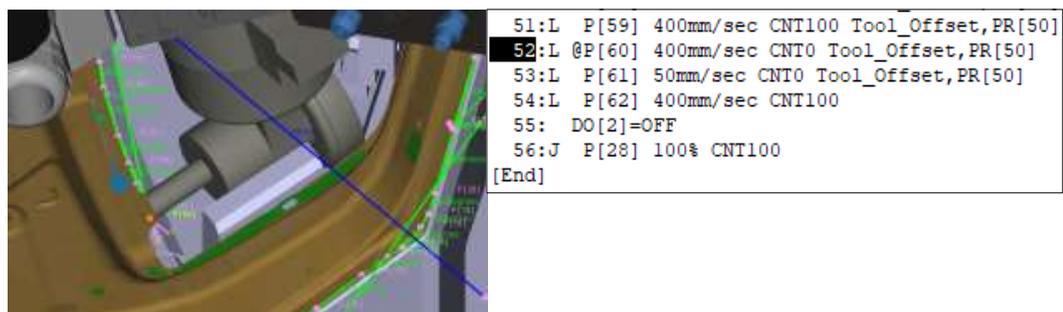


Figura 181. Robot B, finalización lado interior

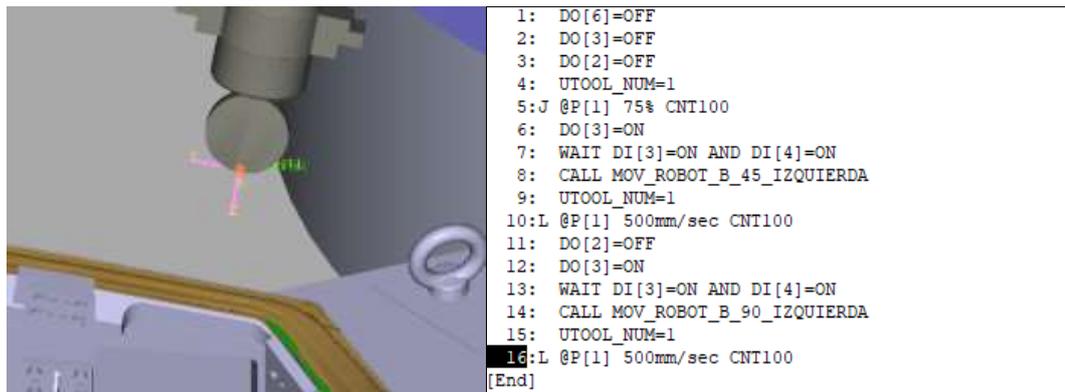


Figura 182. Robot B vuelve a posición inicial

6.1.3. Robot C

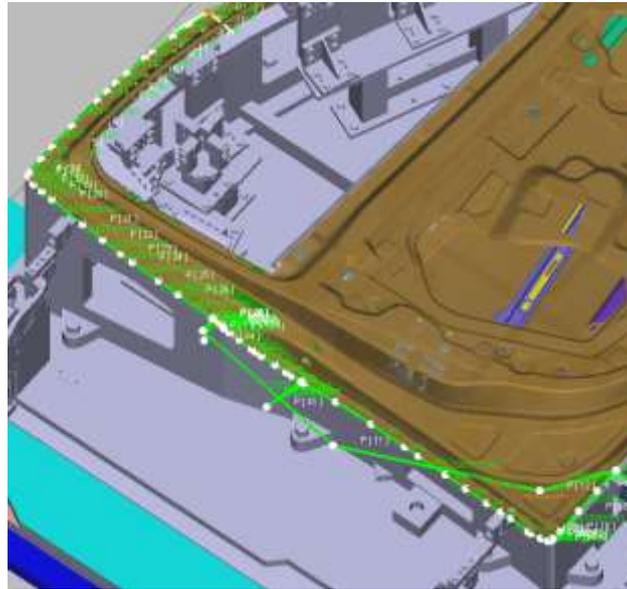


Figura 183. Robot C, engrapado a 45°

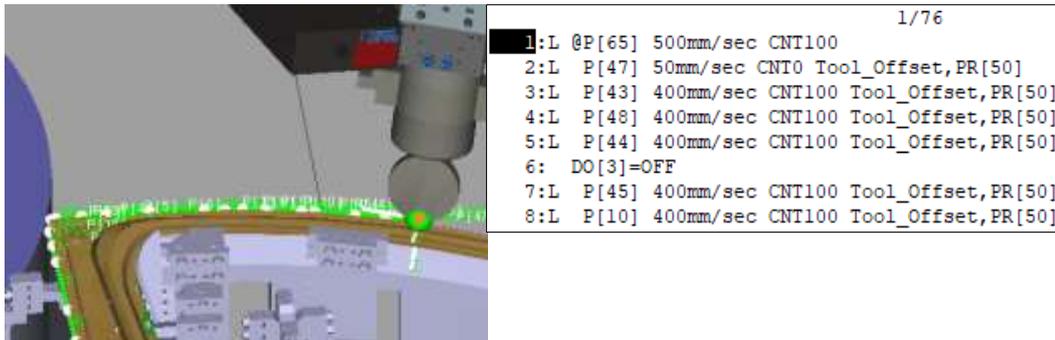


Figura 184. Robot C, aproximación a la pieza a 45°

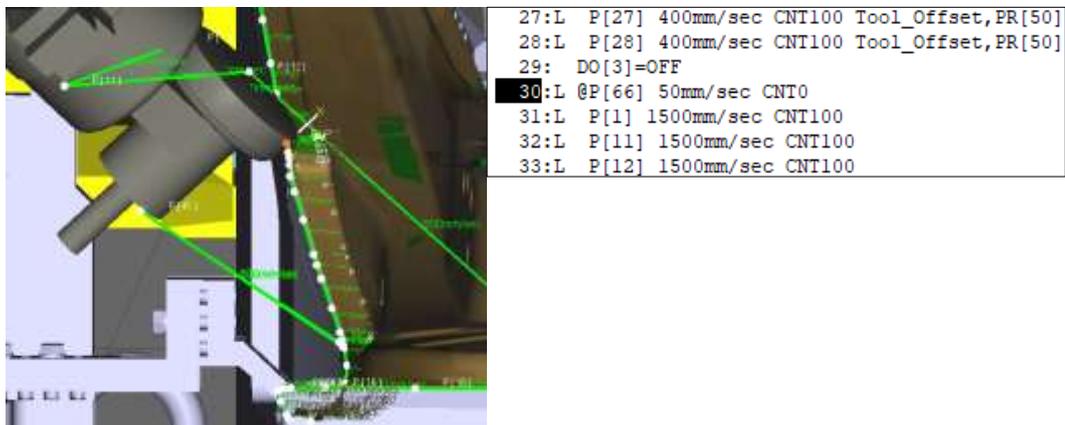


Figura 185. Robot C procede a moverse a la esquina directamente.

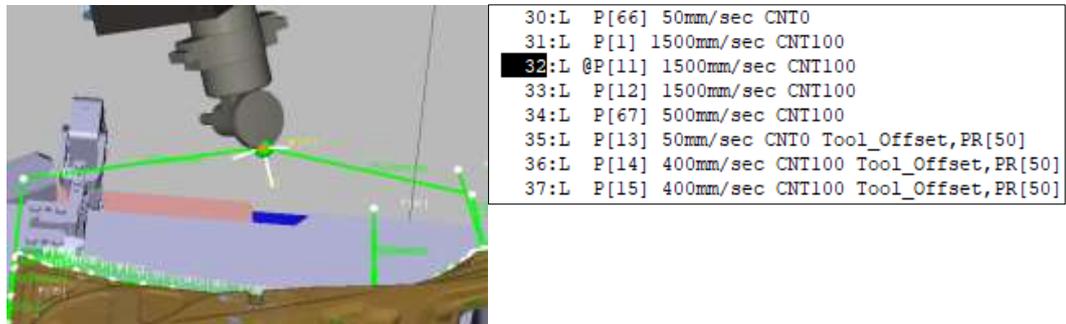


Figura 186. Robot C se mueve a la esquina sin cambiar la roldana.



Figura 187. Robot C permite el movimiento del robot B

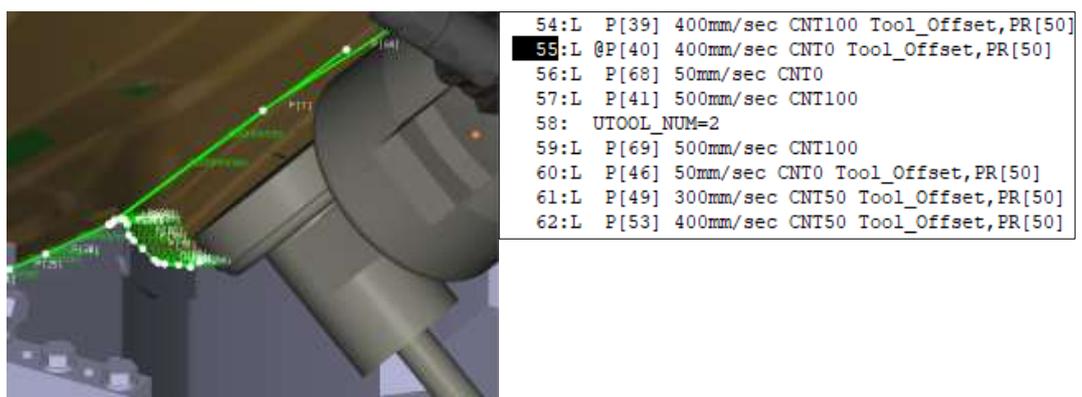


Figura 188. Robot C cambia a la roldana pequeña [1]

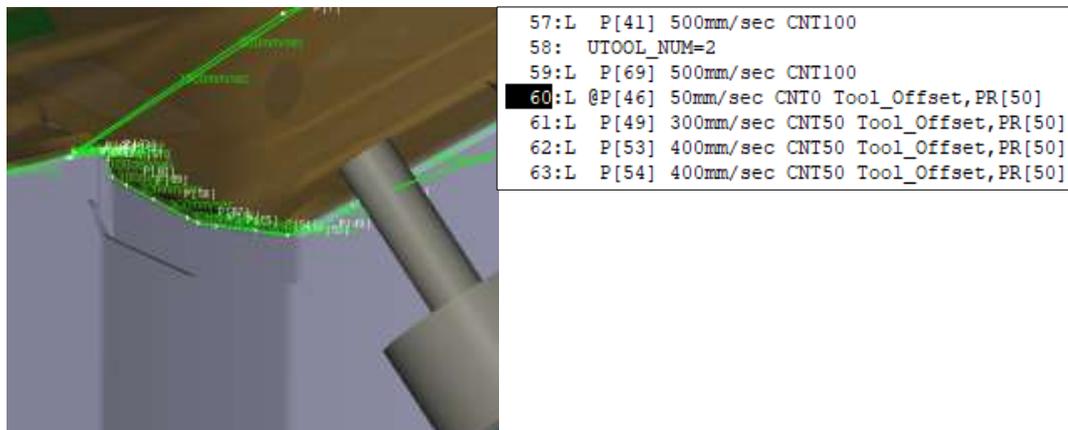


Figura 189. Robot C cambia a la roldana pequeña [2]

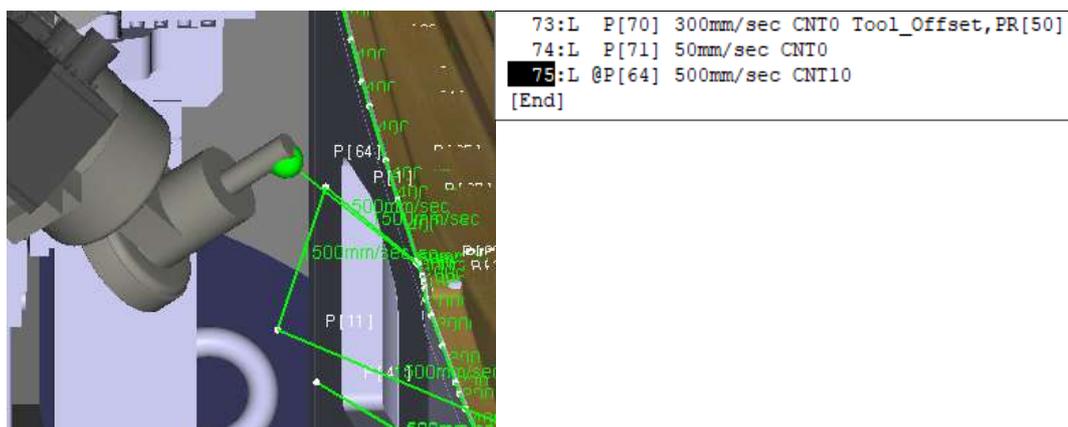


Figura 190. Finalización la pasada a 45°

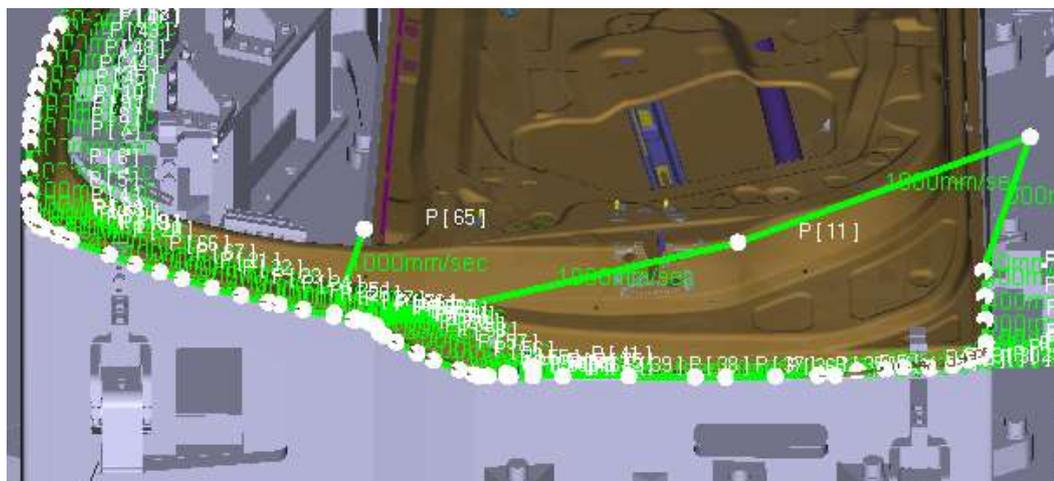


Figura 191. Robot C, engrapado a 90°

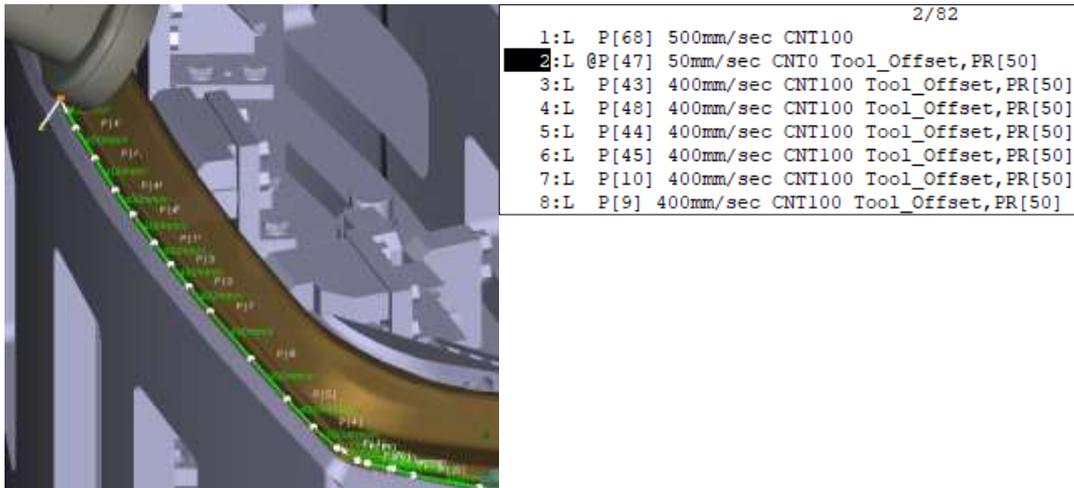


Figura 192. Robot C, aproximación a la pieza a 90°

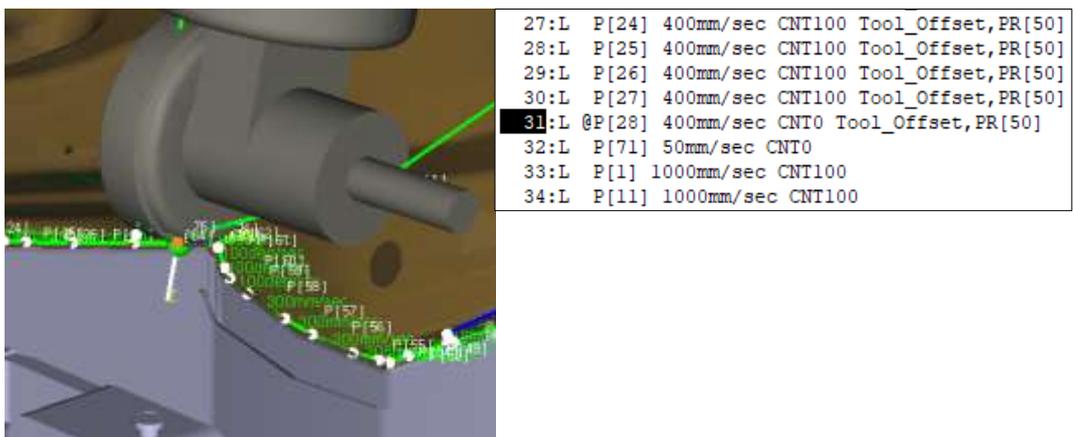


Figura 194. Robot C, imposibilidad de continuar con la misma roldana. Movimiento hacia la esquina.

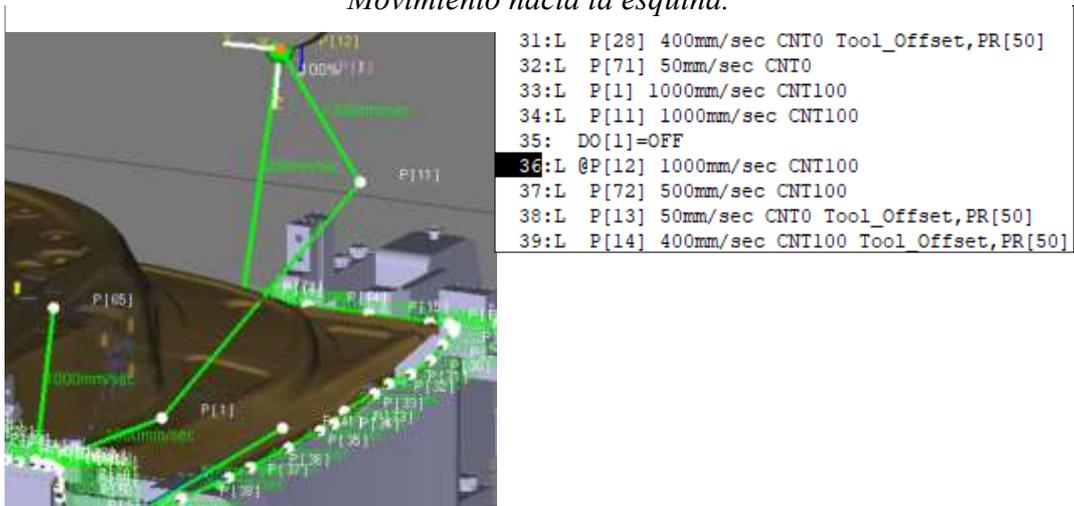


Figura 193. Robot C, movimiento hacia la esquina sin cambio de herramienta



Figura 195. Robot C permite el movimiento del robot B

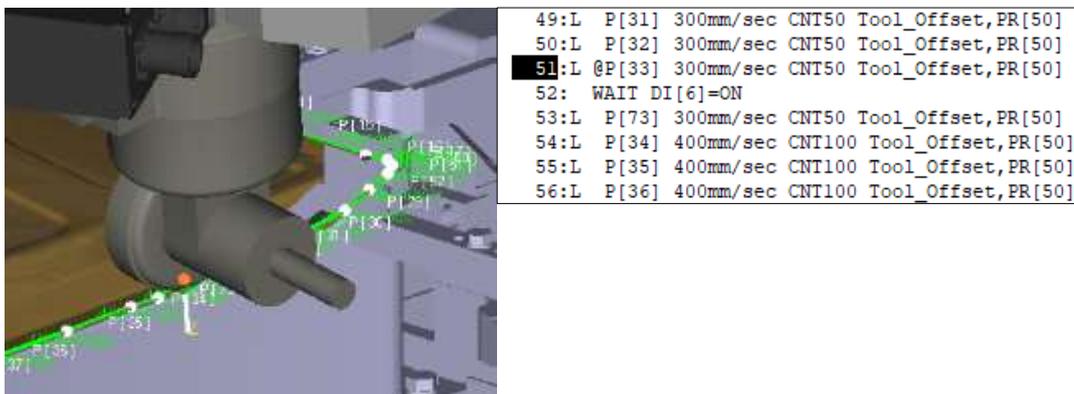


Figura 196. Robot C detenido hasta que B le permita continuar

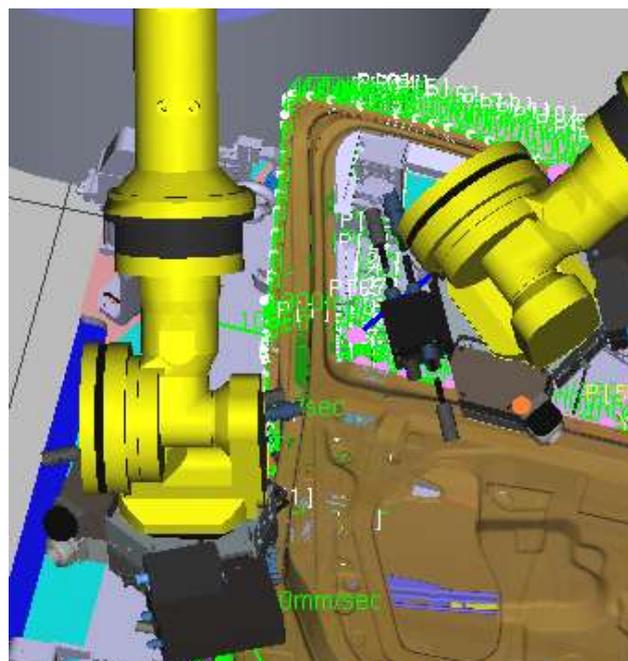


Figura 197. Robot C respecto de B

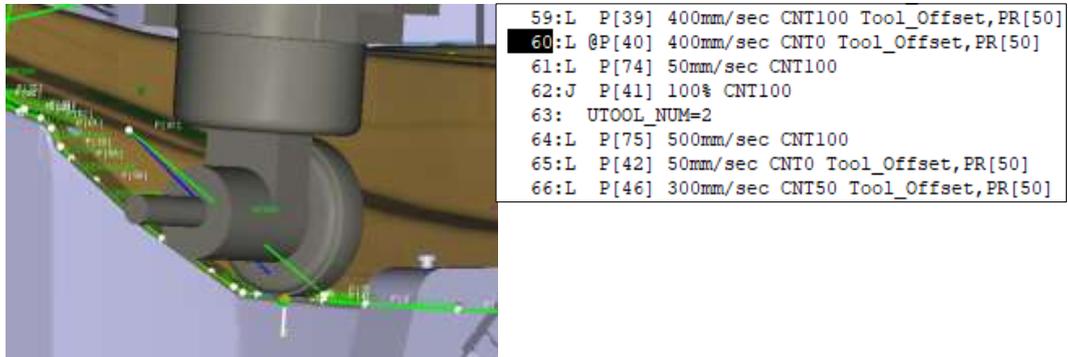


Figura 198. Robot C cambio a roldana pequeña [1]

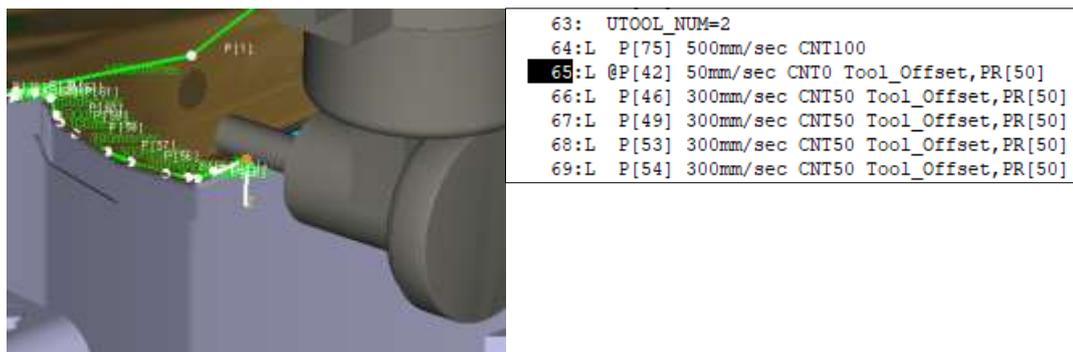


Figura 199. Robot C cambio a roldana pequeña [2]

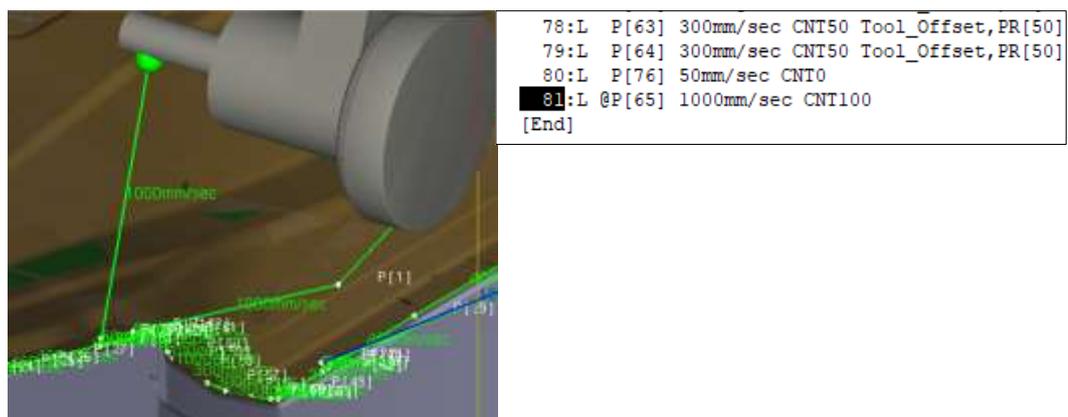


Figura 200. Robot C final de recorrido 90°

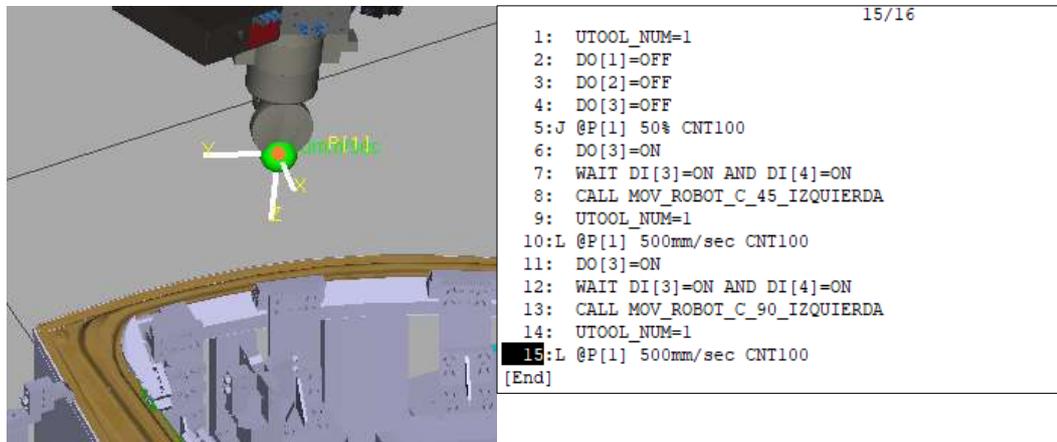


Figura 201. Robot C vuelta a posición inicial

6.2. Segunda pieza

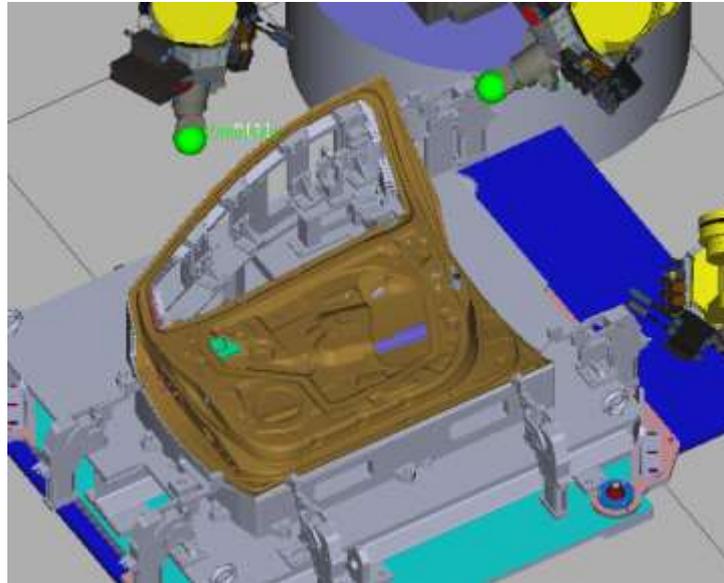


Figura 202. Pieza 2, robots en posición inicial

6.2.1. Robot A

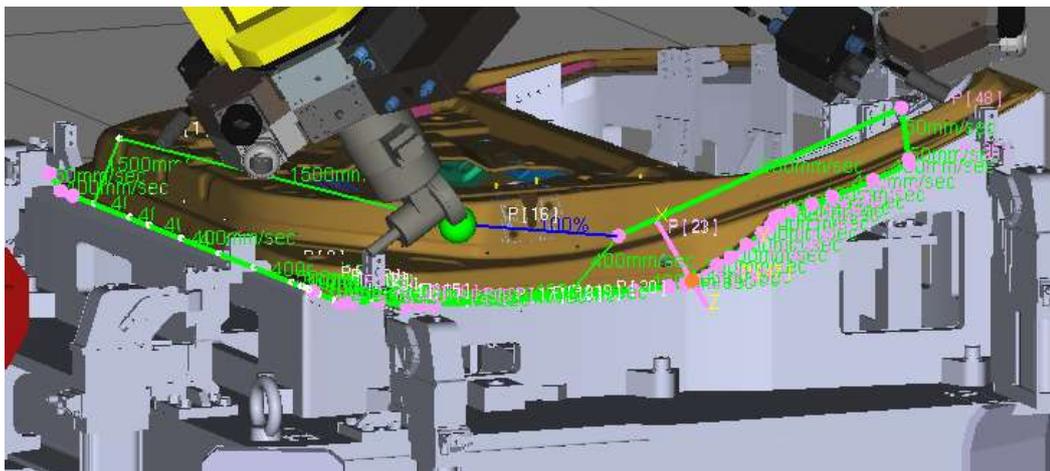


Figura 203. Robot A, engrapado a 45°



Figura 204. Robot A en espera al robot B

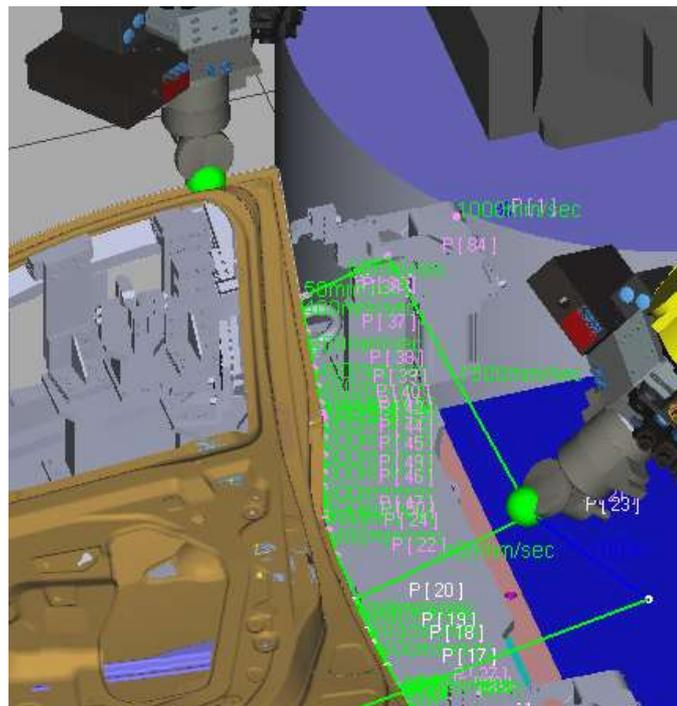


Figura 205. Posición del robot A con respecto al robot B



Figura 206. Robot A, aproximación a la pieza a 45°

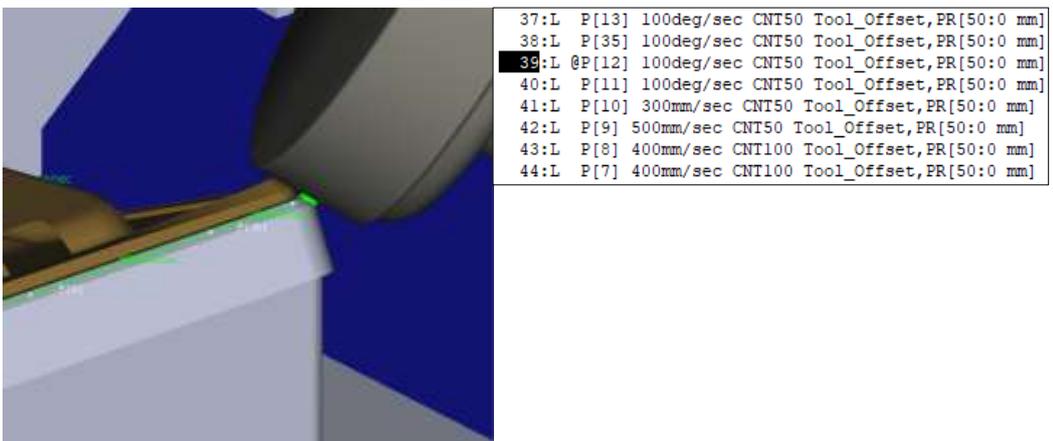


Figura 207. Robot A giro de 45°

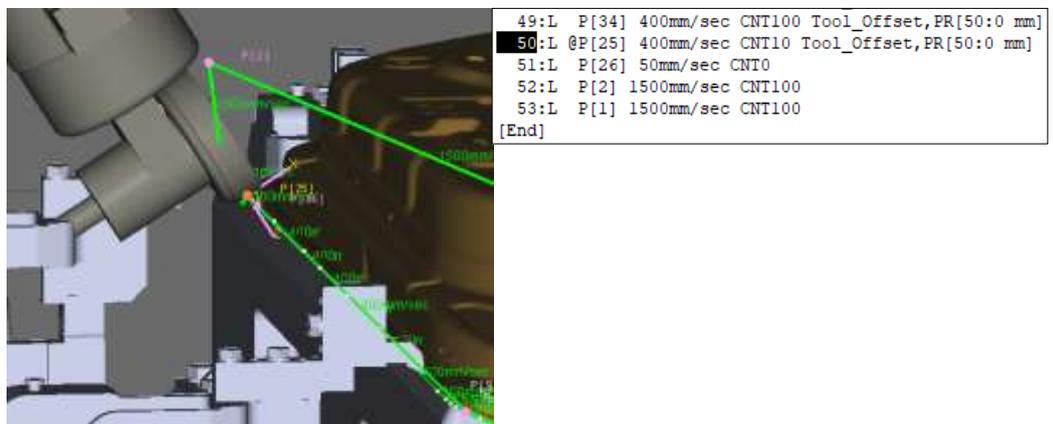


Figura 208. Robot A fin del engrapado

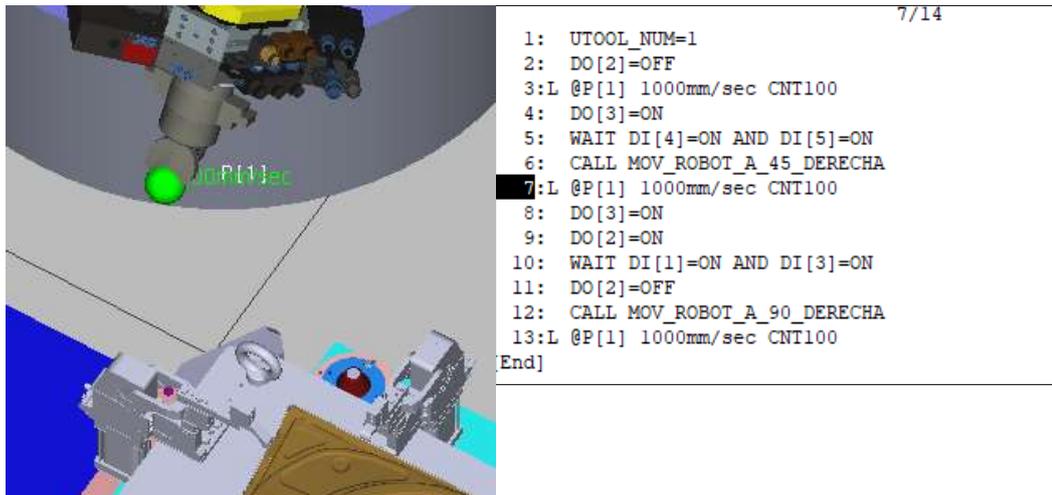


Figura 209. Robot A, en espera a finalización de los otros dos robots

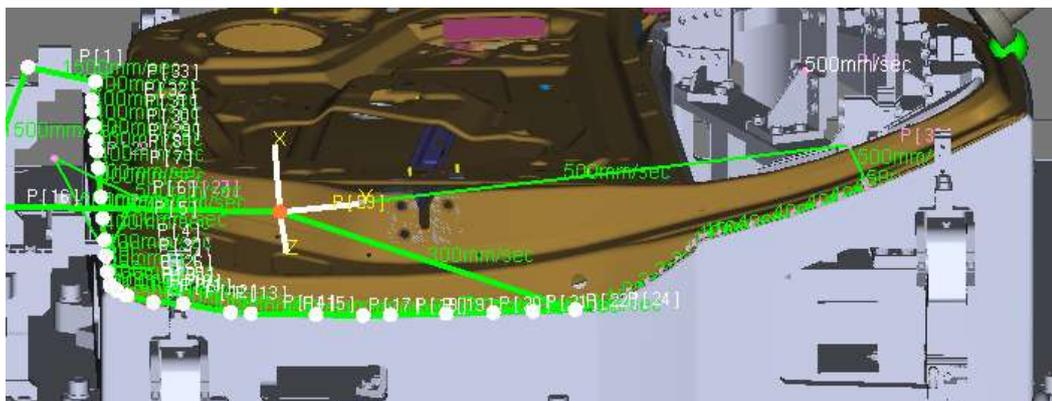


Figura 210. Robot A, engrapado 90°

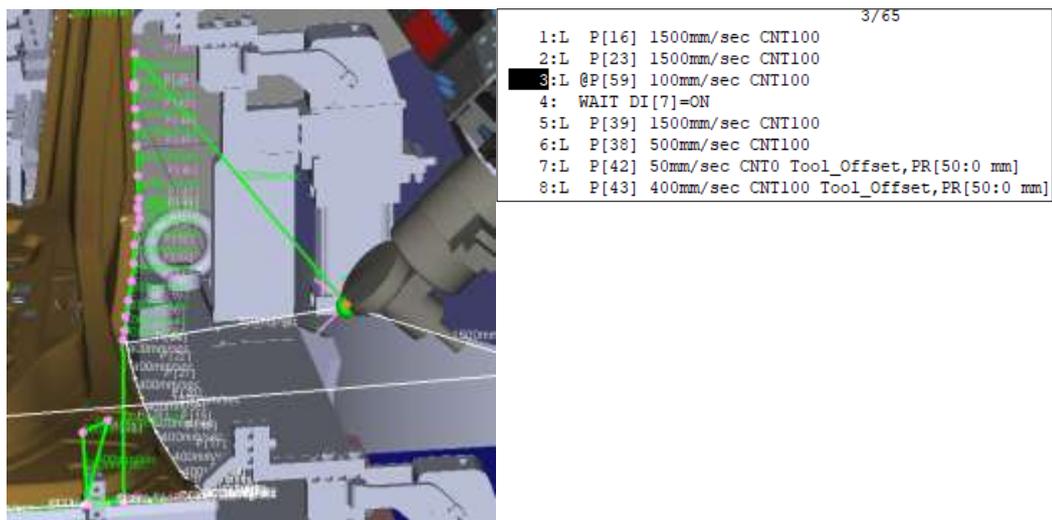


Figura 211. Robot A en espera del robot B

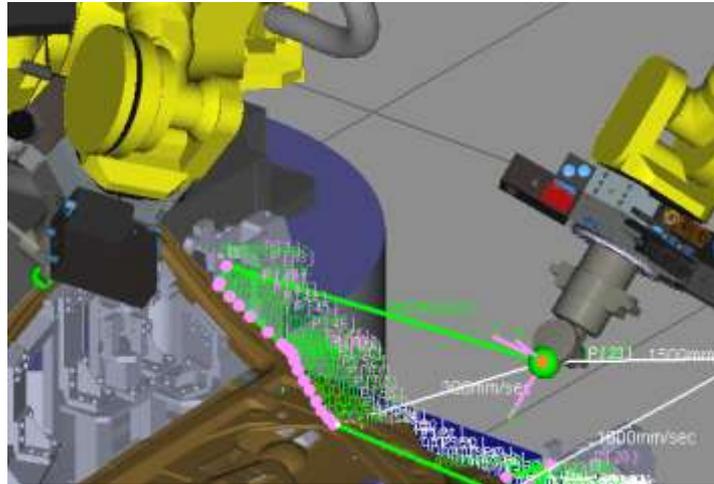


Figura 212. Robot A respecto al robot B

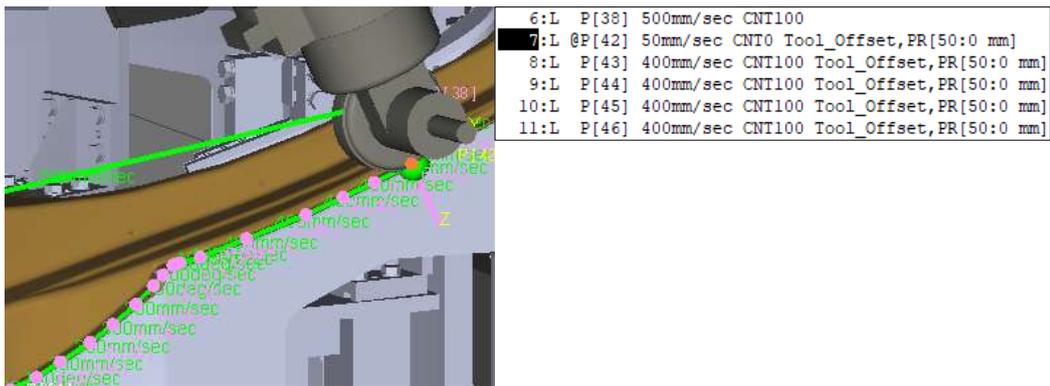


Figura 213. Robot A aproximación a la pieza

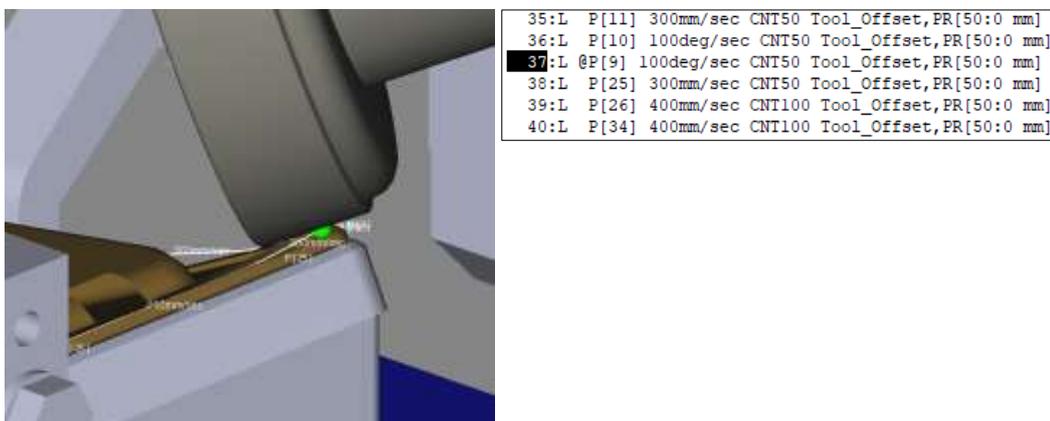


Figura 214. Robot A, detalle del giro

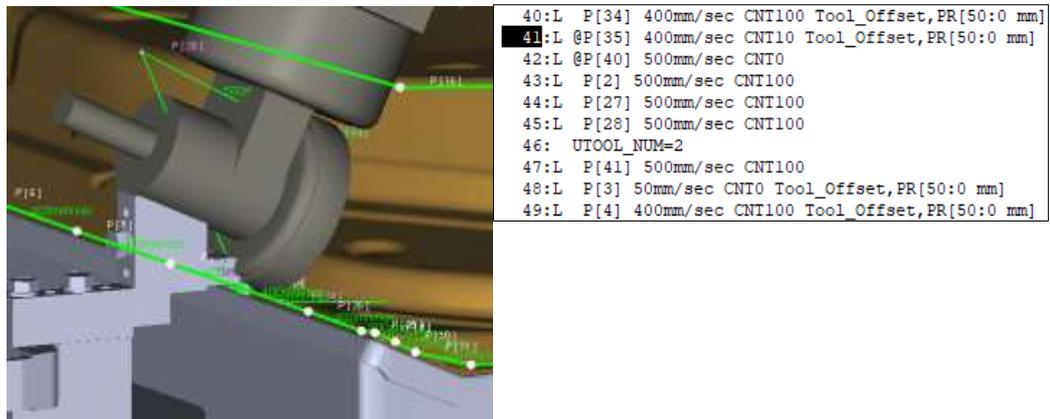


Figura 215. Robot A cambio de roldana [1]

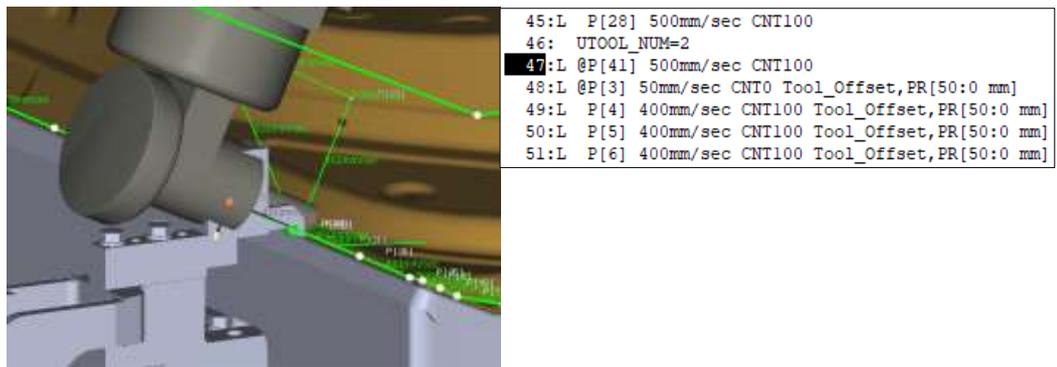


Figura 216. Robot A cambio de roldana [2]

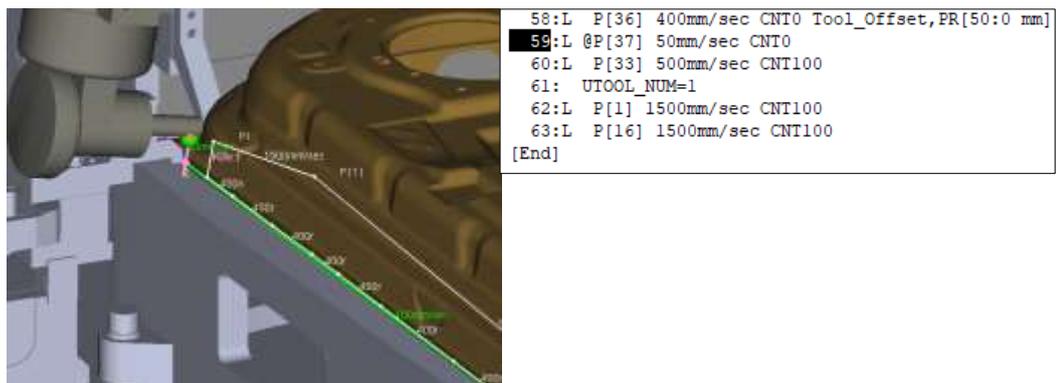


Figura 217. Robot A finalización del engrapado

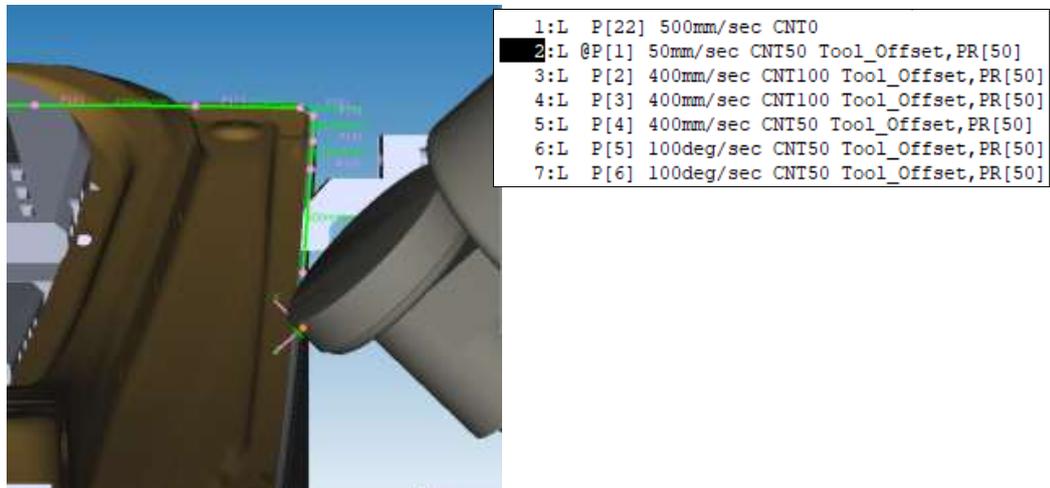


Figura 220. Robot B aproximación al útil

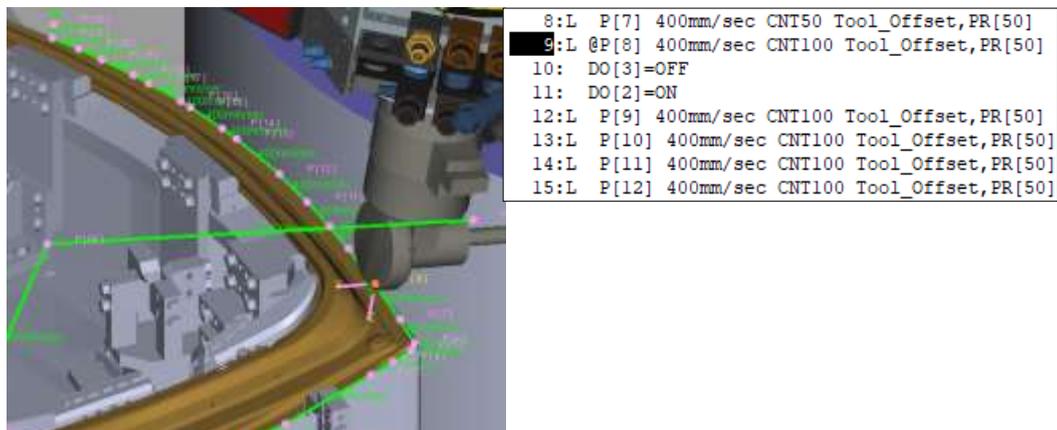


Figura 221. Robot B envía señal de movimiento al robot A

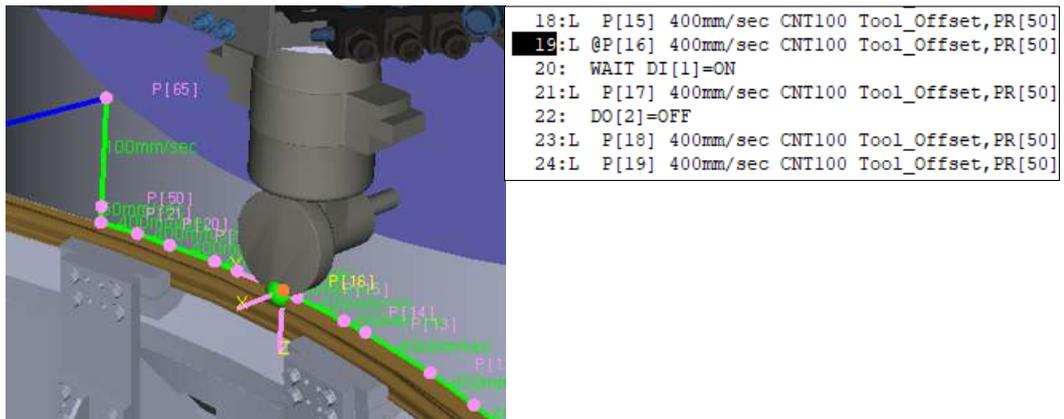


Figura 222. Robot B en espera de la señal del robot C

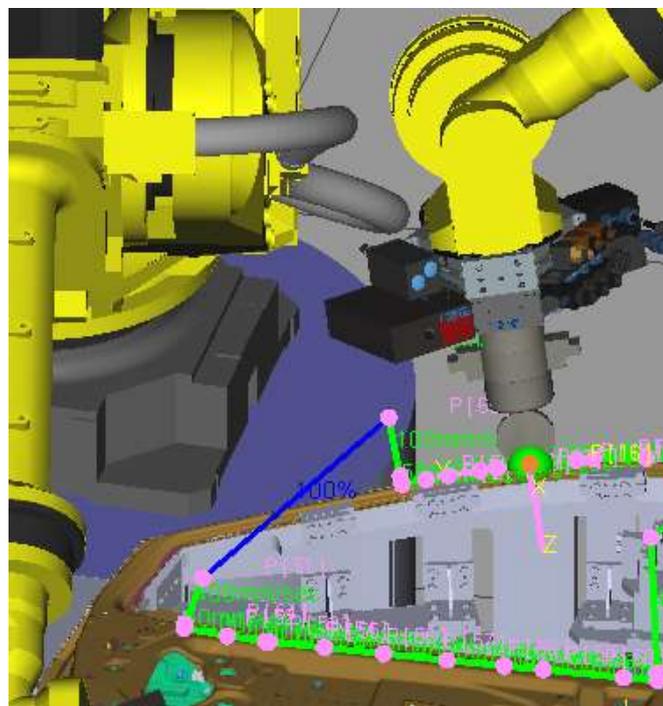


Figura 224. Robot B detenido para evitar colisiones

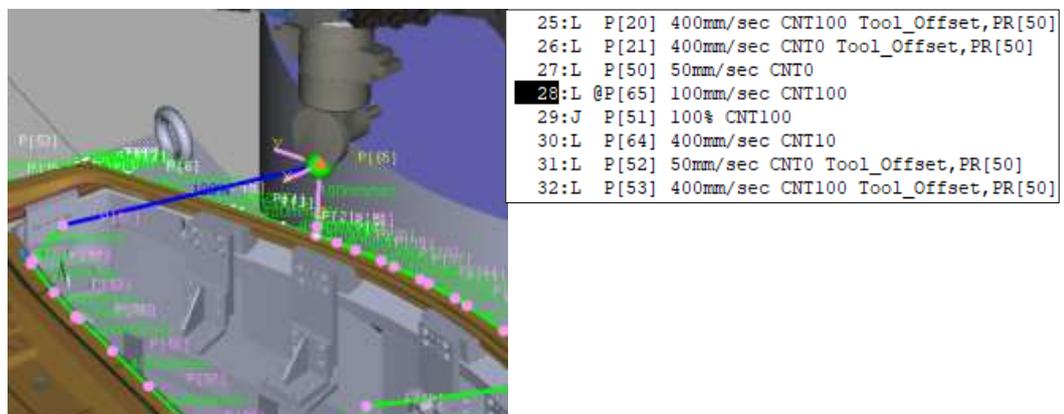


Figura 223. Robot B finalización de la pasada interior a 45°

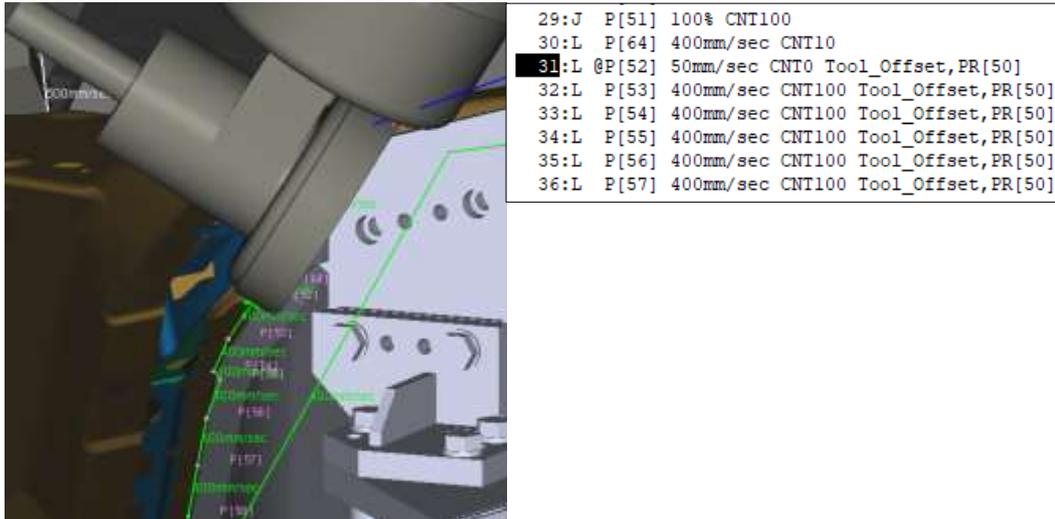


Figura 225. Robot B aproximación zona interior de la ventana

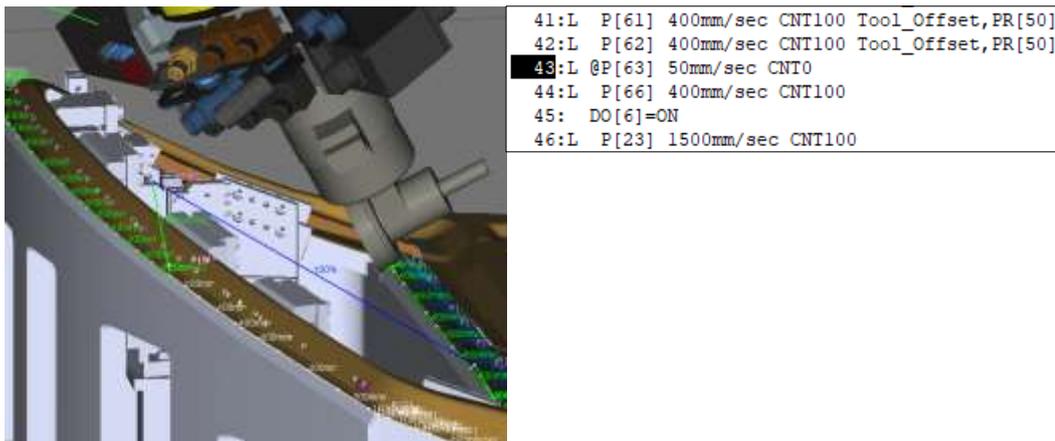


Figura 226. Robot B finalización de la pasada interior a 45°

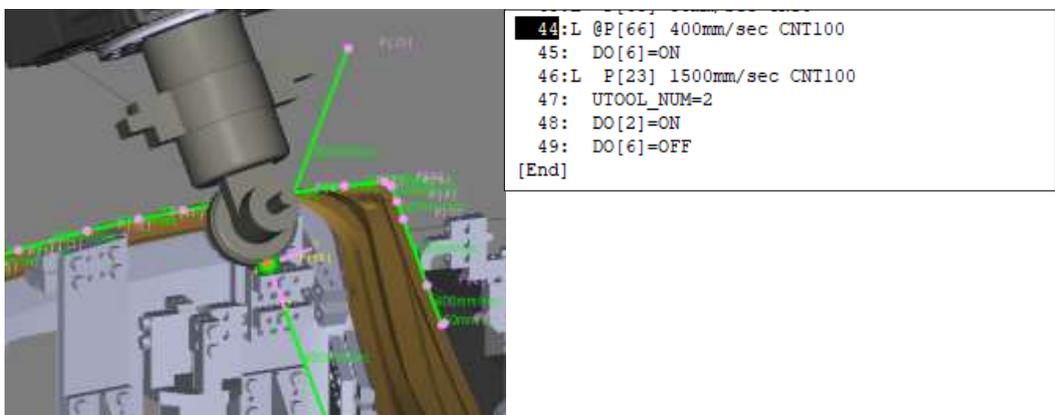


Figura 227. Robot B desbloquea el movimiento del robot C

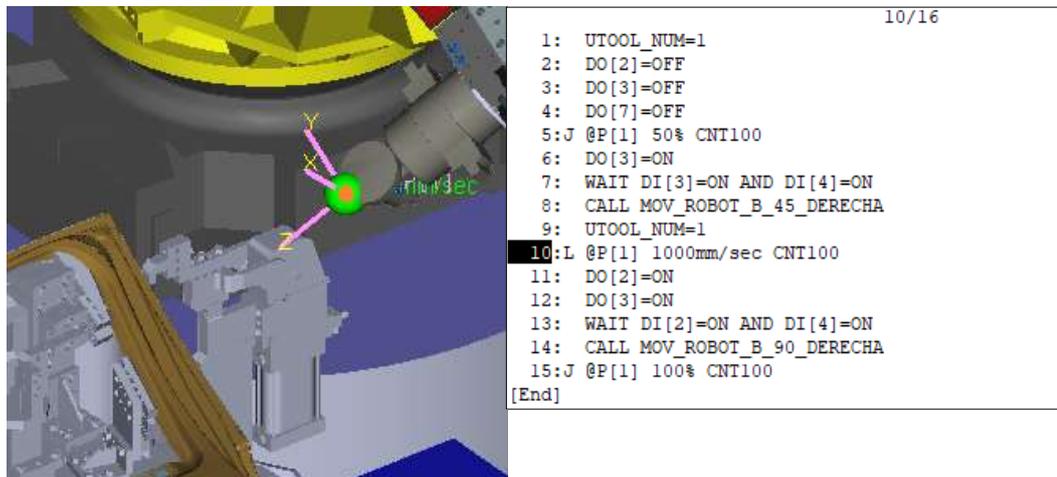


Figura 228. Robot B en espera de la finalización de los otros dos robots



Figura 229. Robot B engrapado 90°



Figura 230. Robot B aproximación al útil a 90°

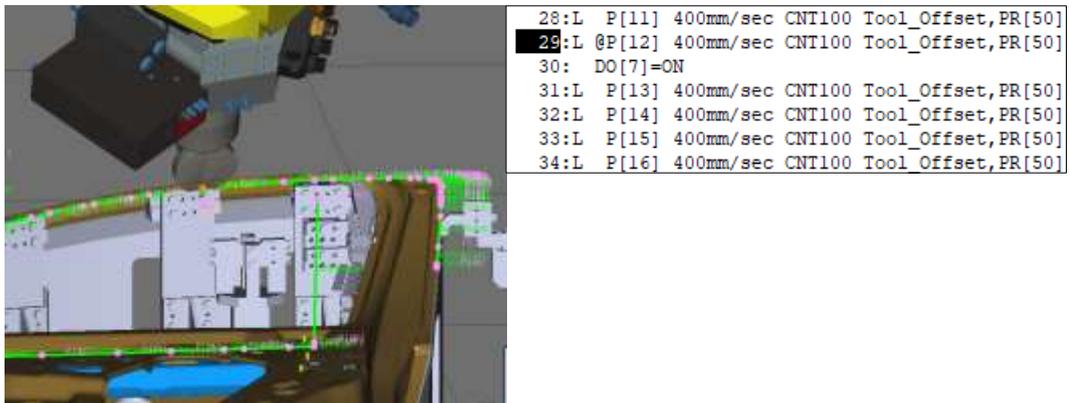


Figura 231. Robot B permite el movimiento del robot A

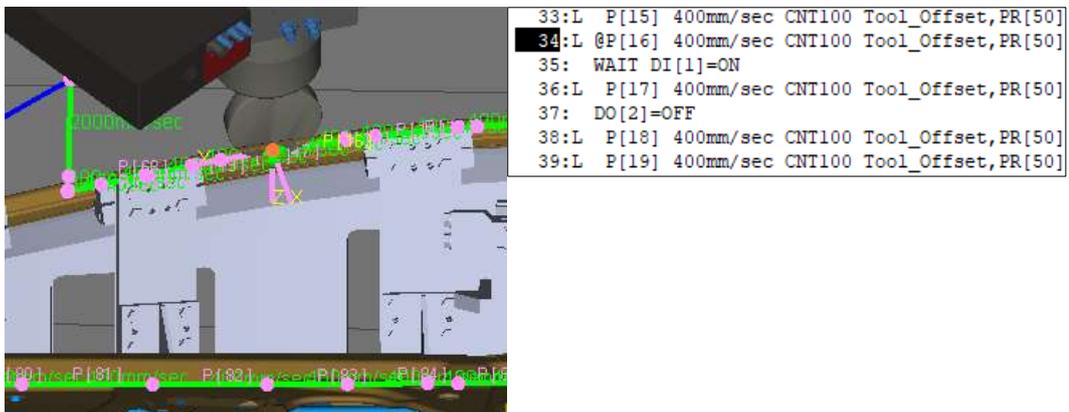


Figura 232. Robot B a la espera del robot C



Figura 233. Robot B finalización de la pasada superior a 90°

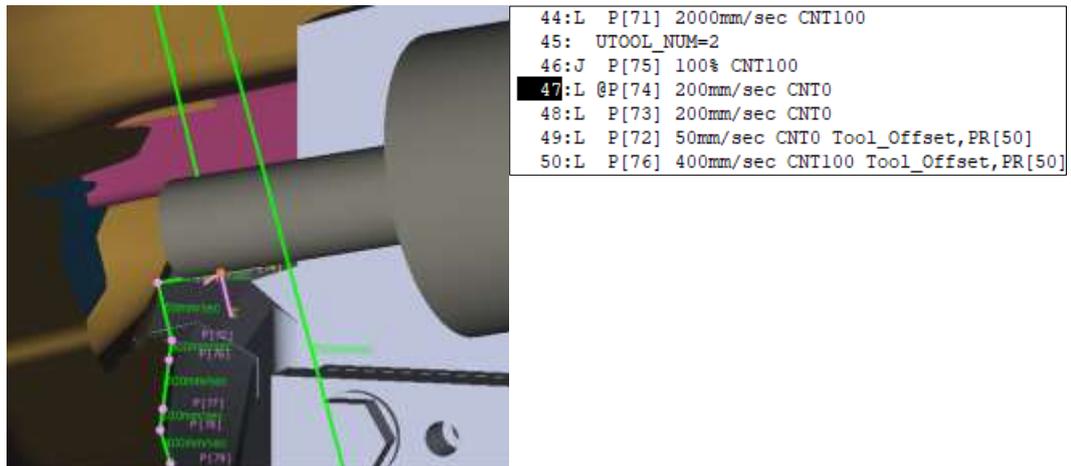


Figura 234. Robot B entrada de la roldana pequeña

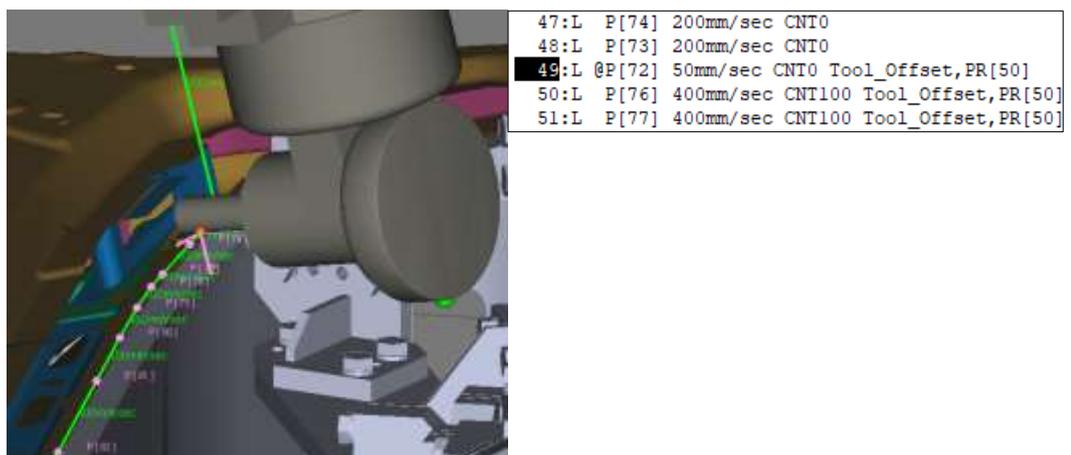


Figura 235. Robot B aproximación de la roldana pequeña a la zona interior

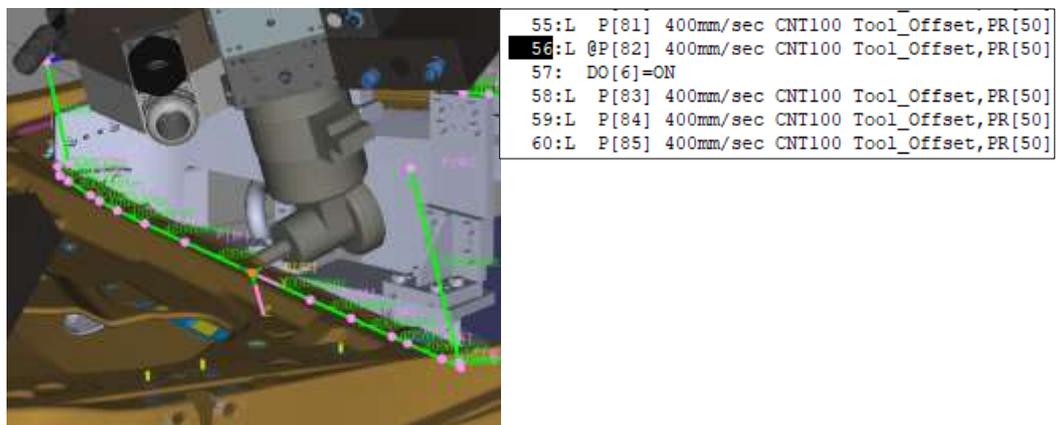


Figura 236. Robot B desbloqueo del movimiento del robot C

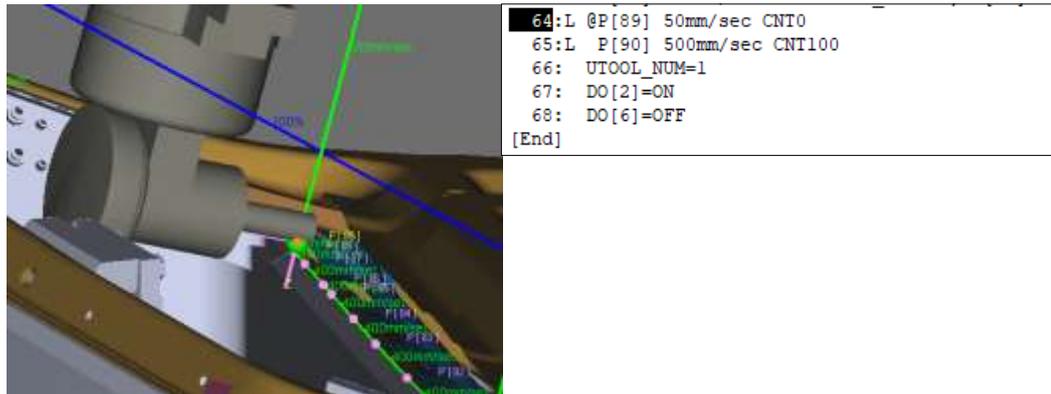


Figura 237. Robot B finalización de la pasada interior a 90°

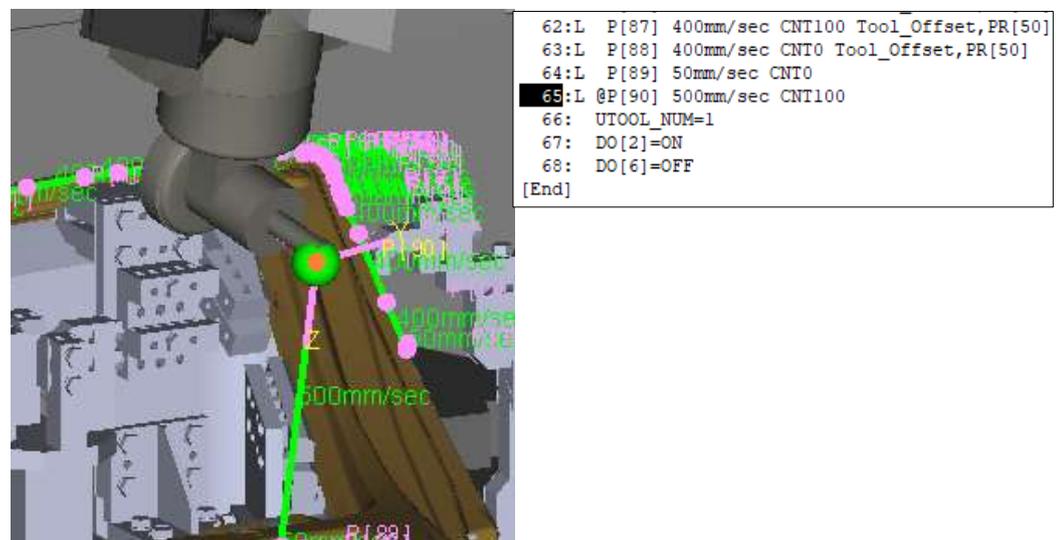


Figura 238. Robot B salida de la zona interior

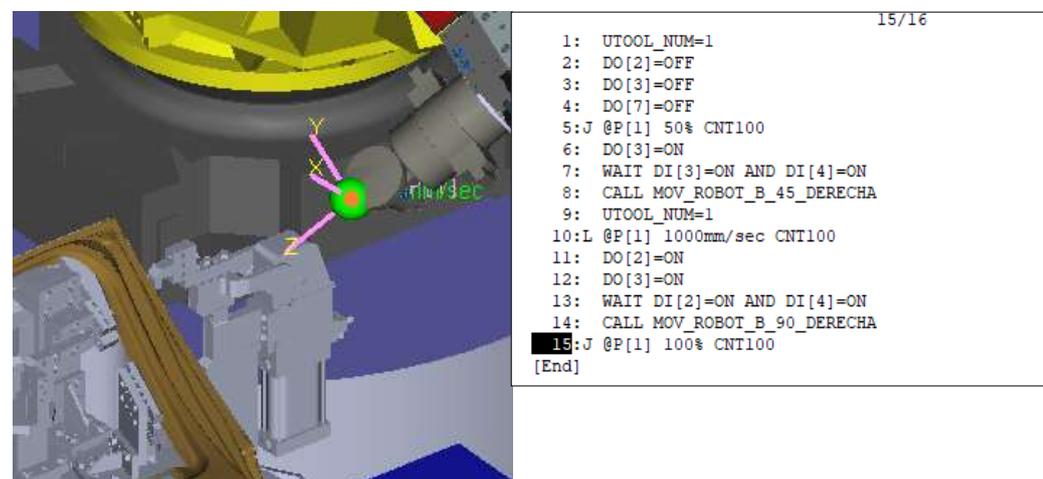


Figura 239. Robot B posición inicial

6.2.3. Robot C

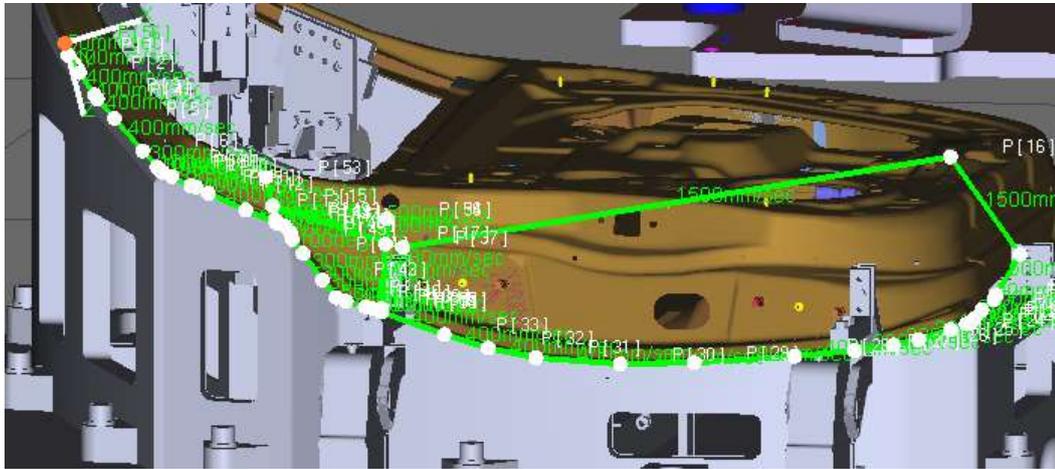


Figura 240. Robot C engrapado 45°

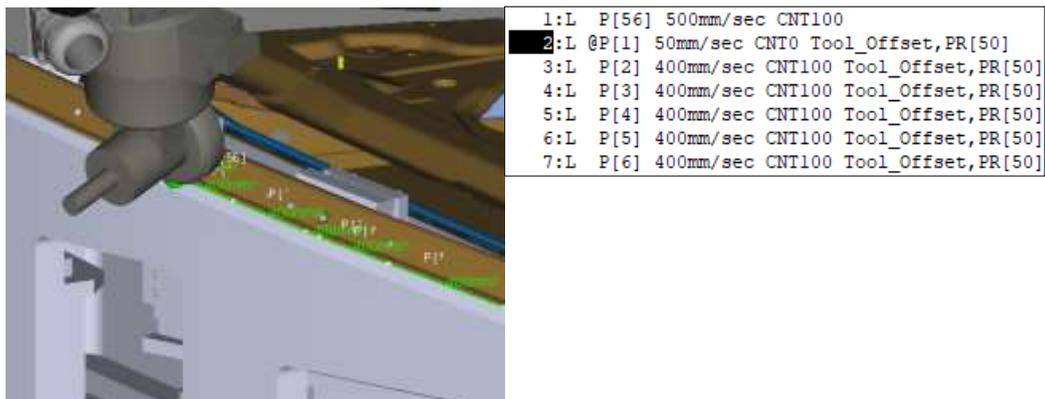


Figura 241. Robot C aproximación a la pieza

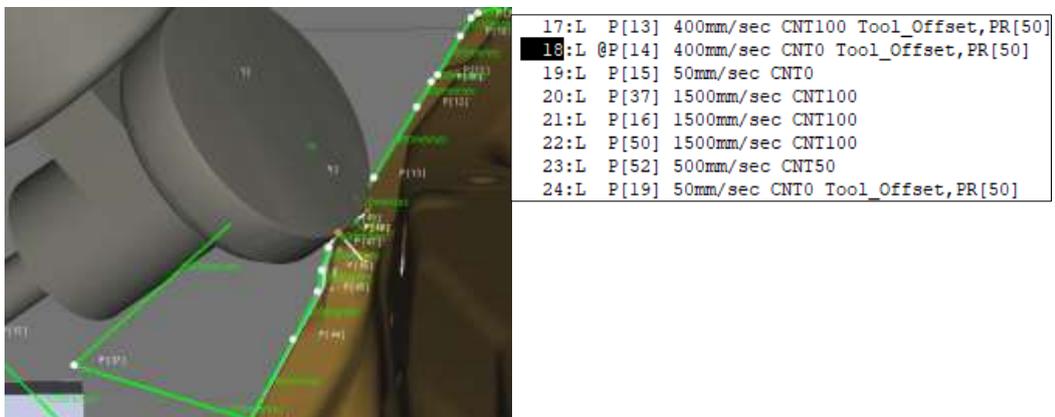


Figura 242. Robot C cambio de la zona de la pieza a engrapar [1]

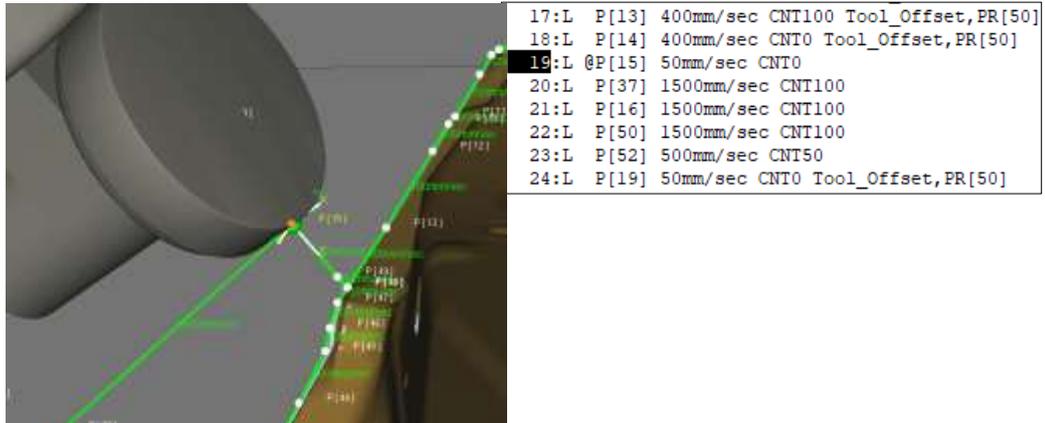


Figura 243. Robot C cambio de la zona de la pieza a engrapar [2]



Figura 244. Robot C aproximación a la pieza para el engrapado de la esquina

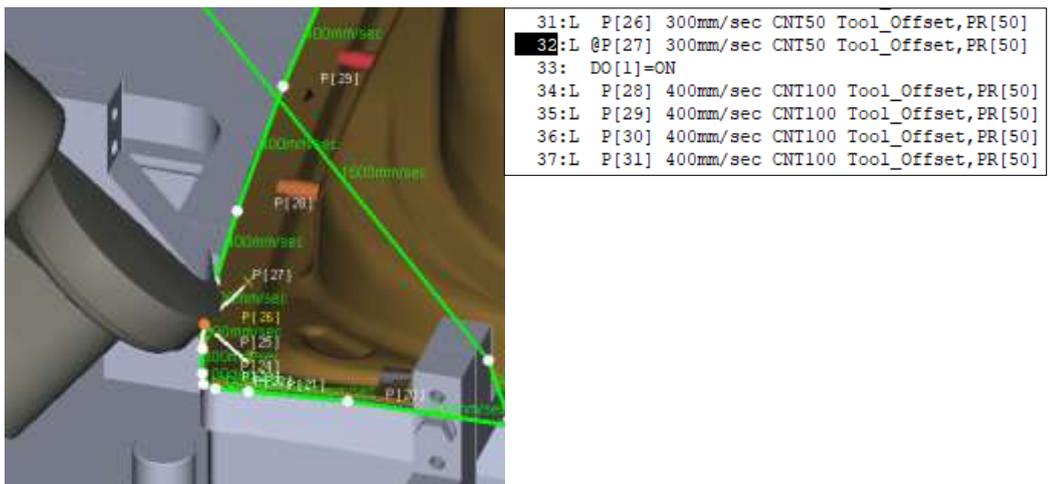


Figura 245. Robot C desbloqueo del movimiento del robot B

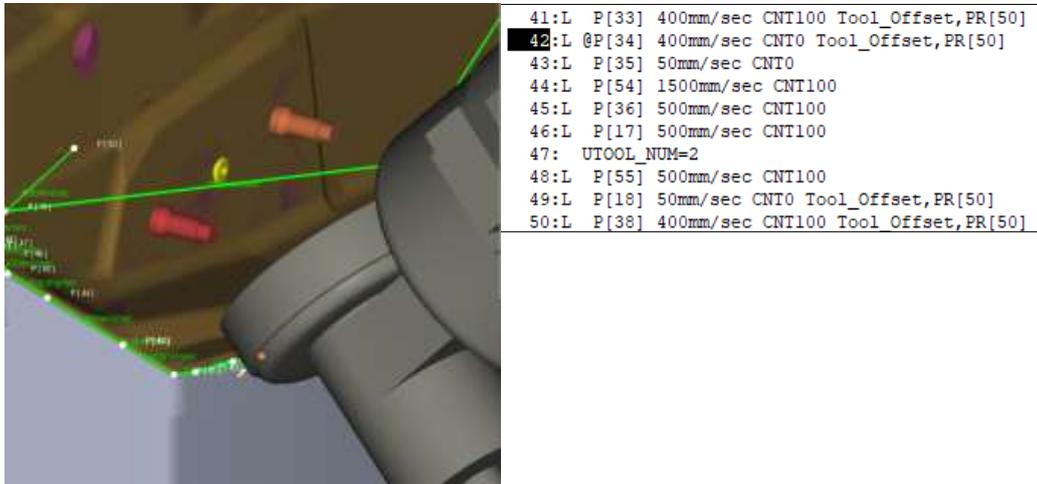


Figura 246. Robot C cambio de roldana [1]

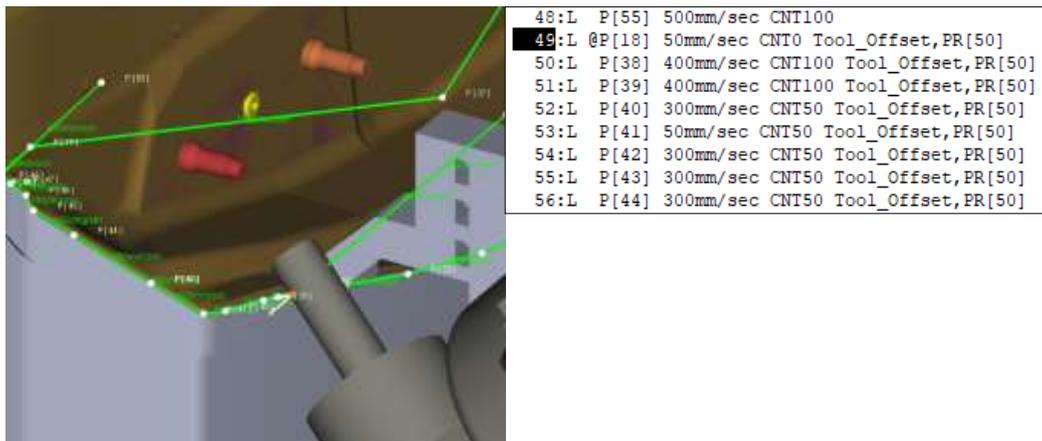


Figura 247. Robot C cambio de roldana [2]

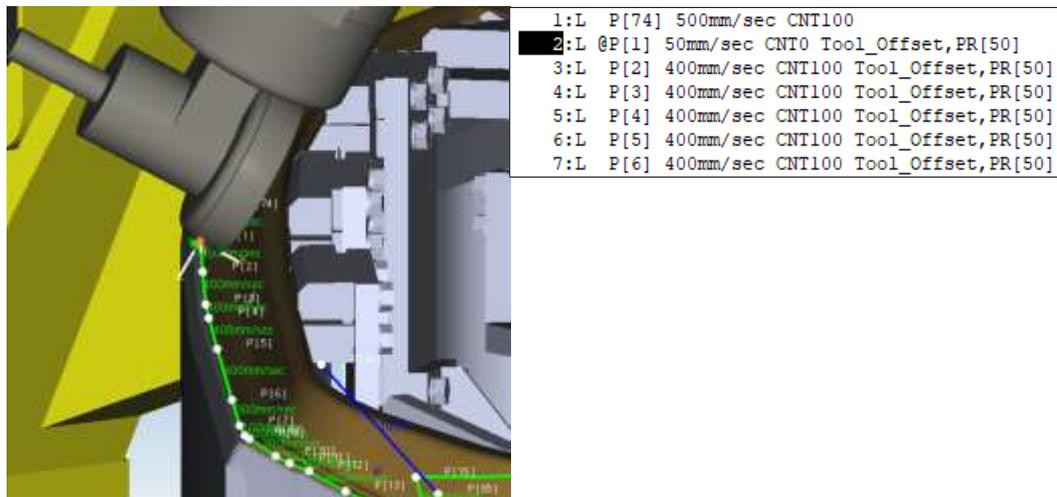


Figura 251. Robot C aproximación a la pieza 90°

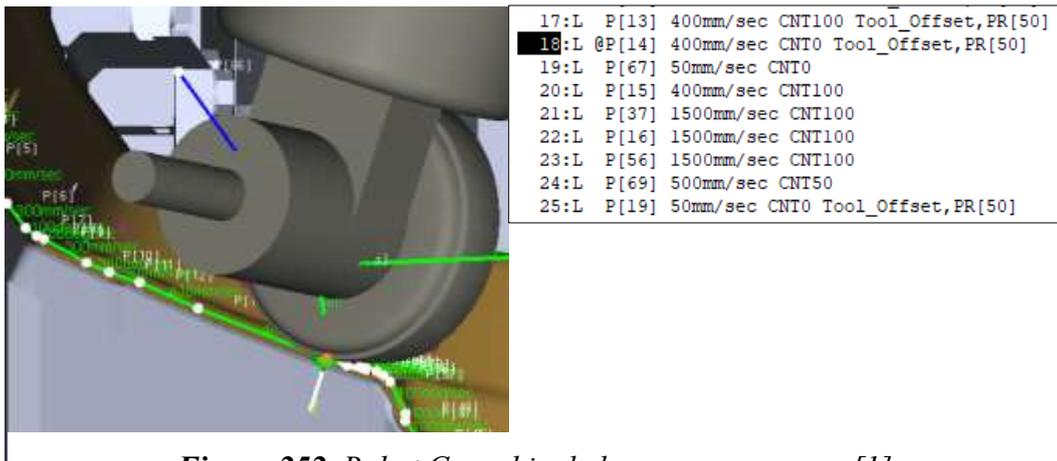


Figura 252. Robot C cambio de la zona a engrapar [1]

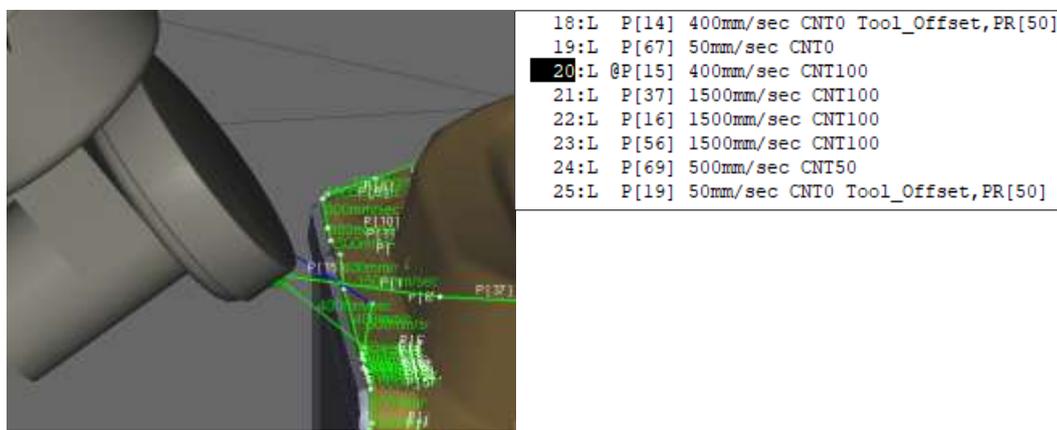


Figura 253. Robot C cambio de la zona a engrapar [2]

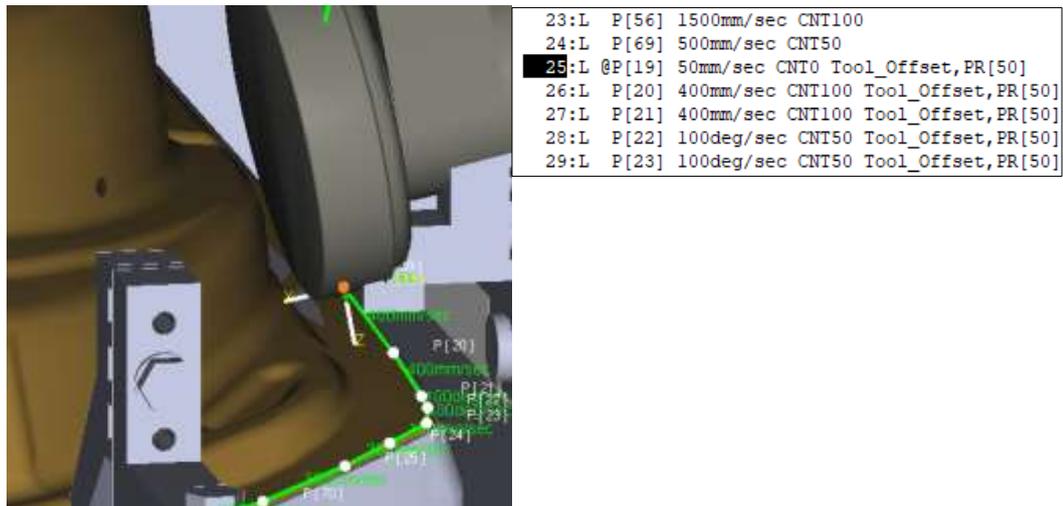


Figura 254. Robot C aproximación a la pieza para el engrapado de la esquina

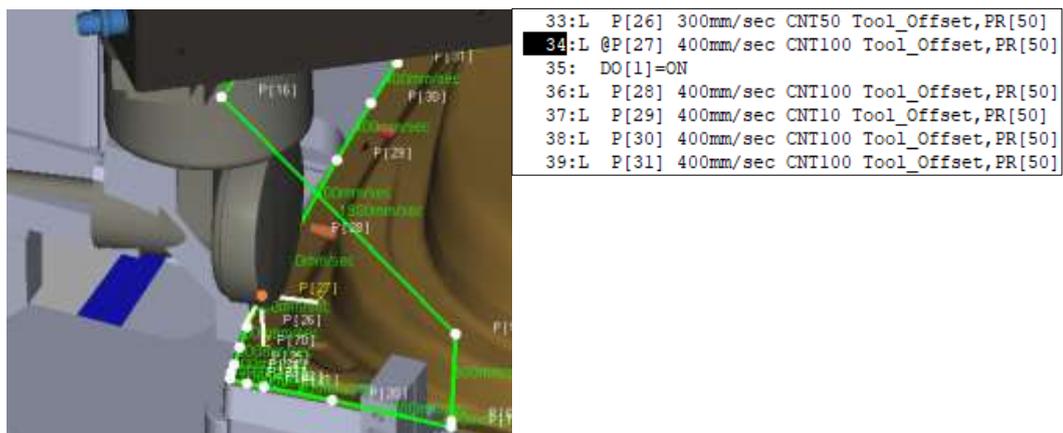


Figura 255. Robot C aproximación a la pieza para el engrapado de la esquina

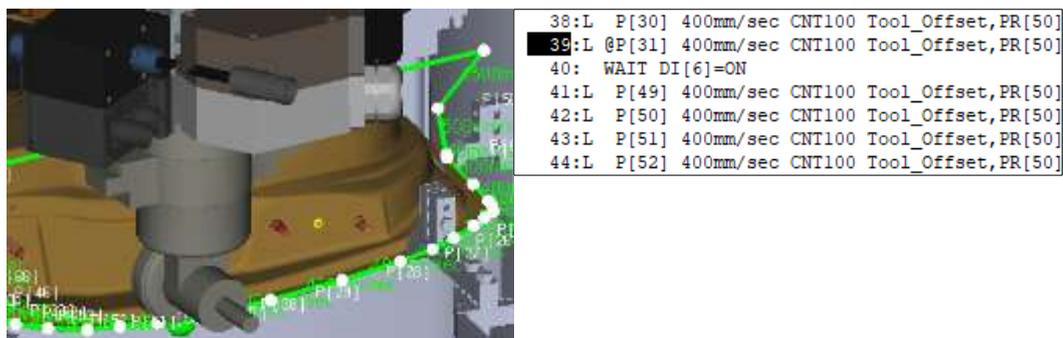


Figura 256. Robot C a la espera de la señal del robot B

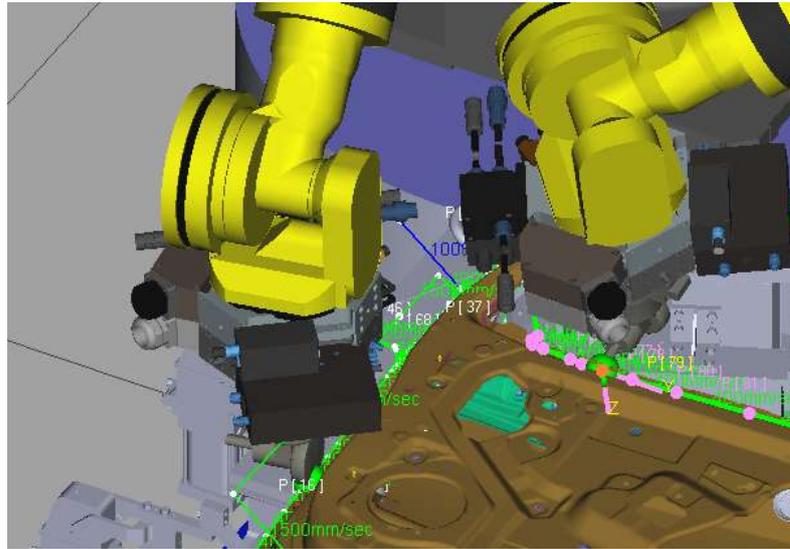


Figura 257. Robot C detenido para evitar colisión

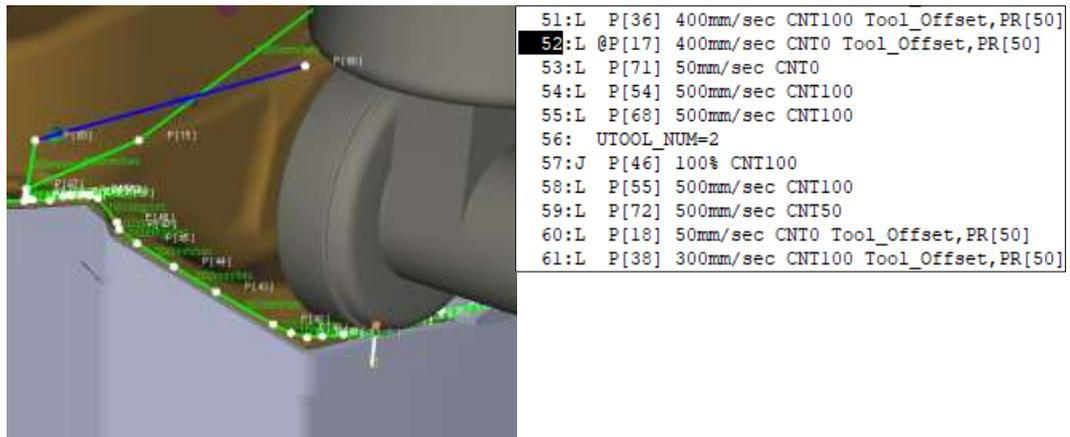


Figura 258. Robot C cambio de roldana [1]

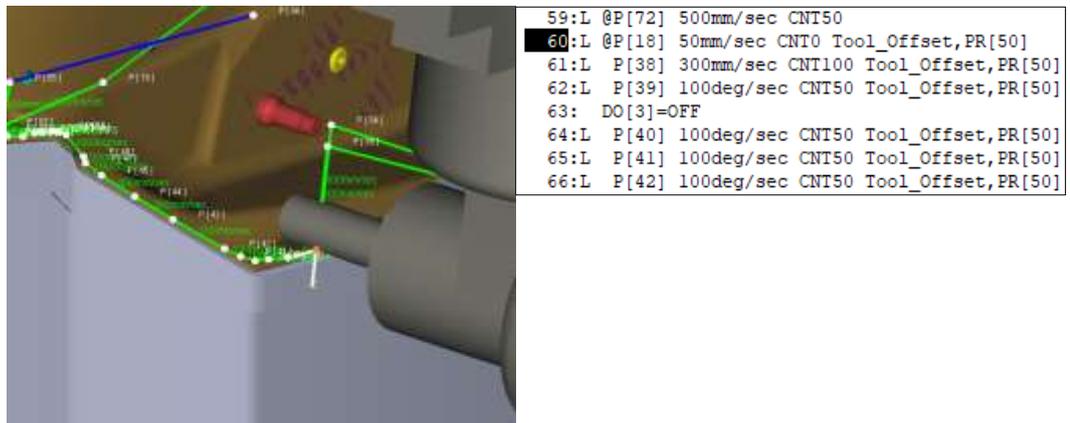


Figura 259. Robot C cambio de roldana [2]

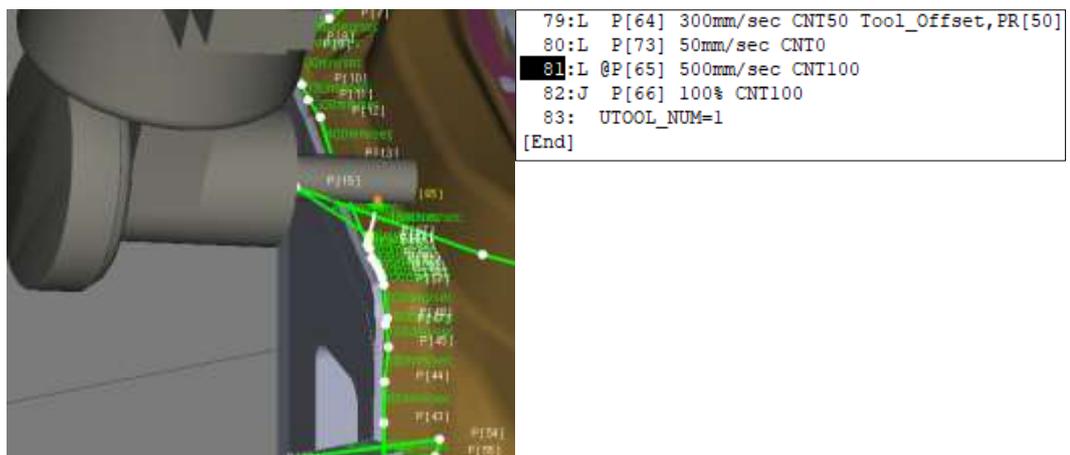


Figura 260. Robot C finalización de la pasada a 90°

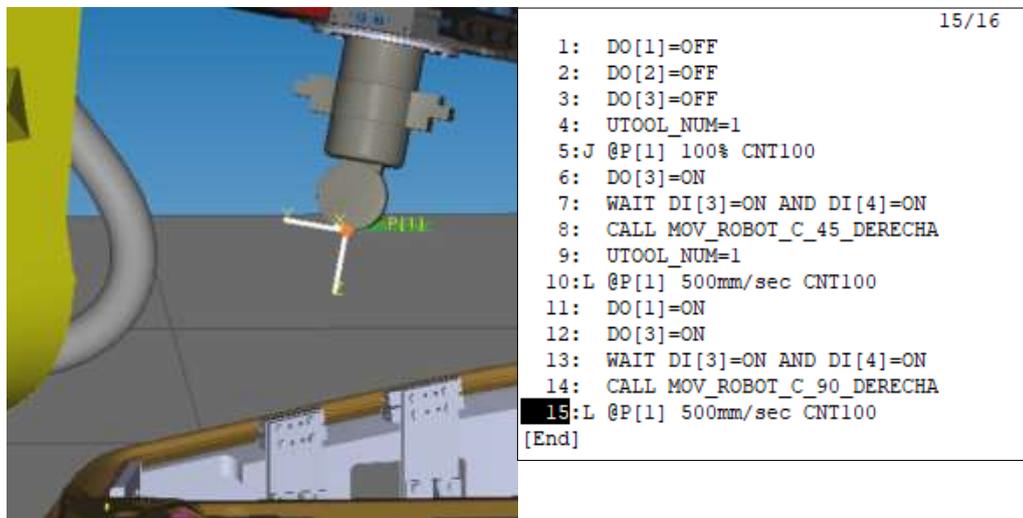


Figura 261. Robot C vuelta a la posición inicial

6.3. Tercera pieza

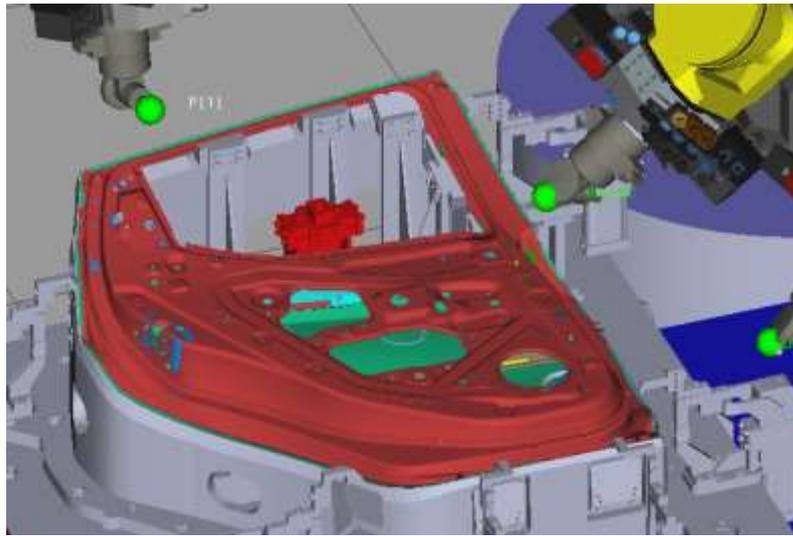


Figura 262. Pieza 3, robots en posición inicial

6.3.1. Robot A

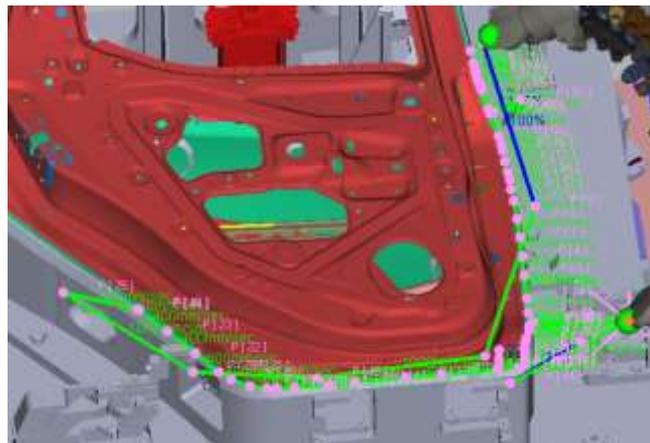


Figura 263. Robot A engrapado 45°

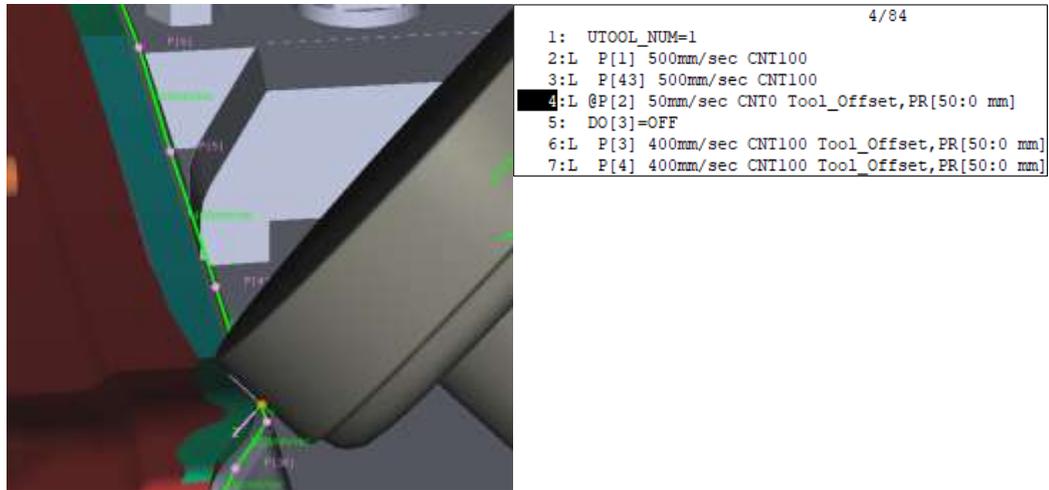


Figura 264. Robot A aproximación a la pieza a 45°

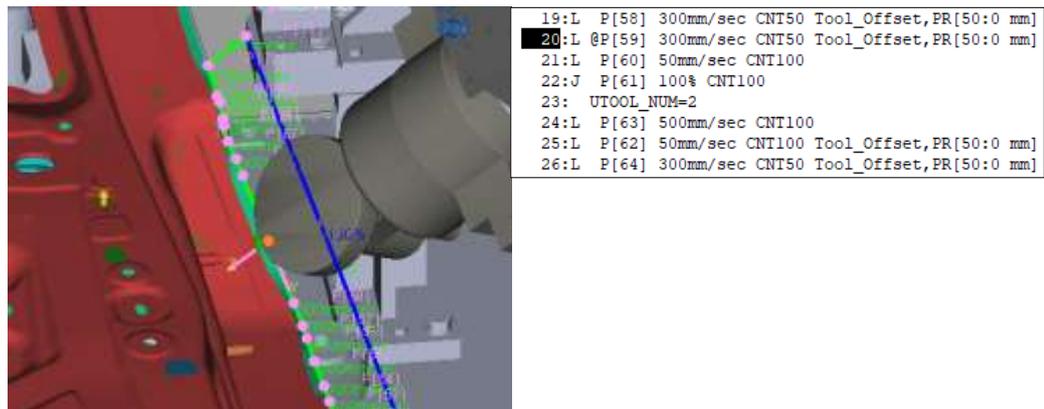


Figura 265. Robot A cambio de roldana [1]

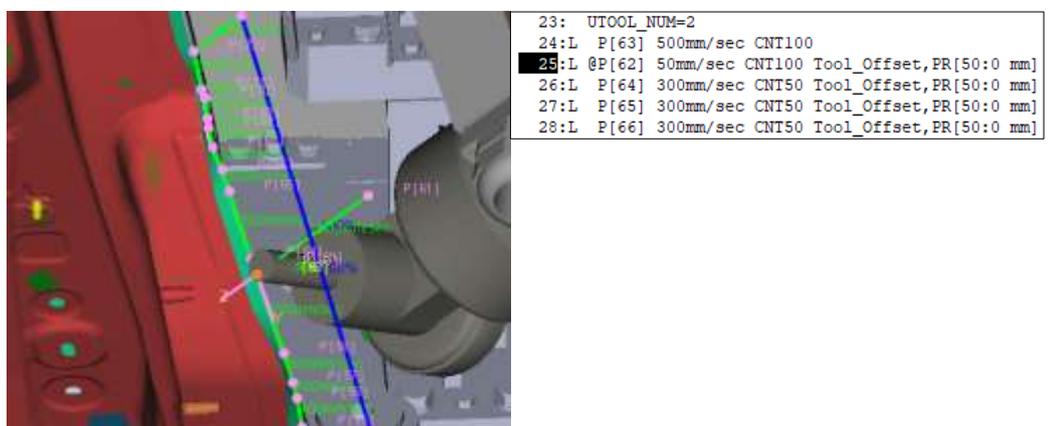


Figura 266. Robot A cambio de roldana [2]

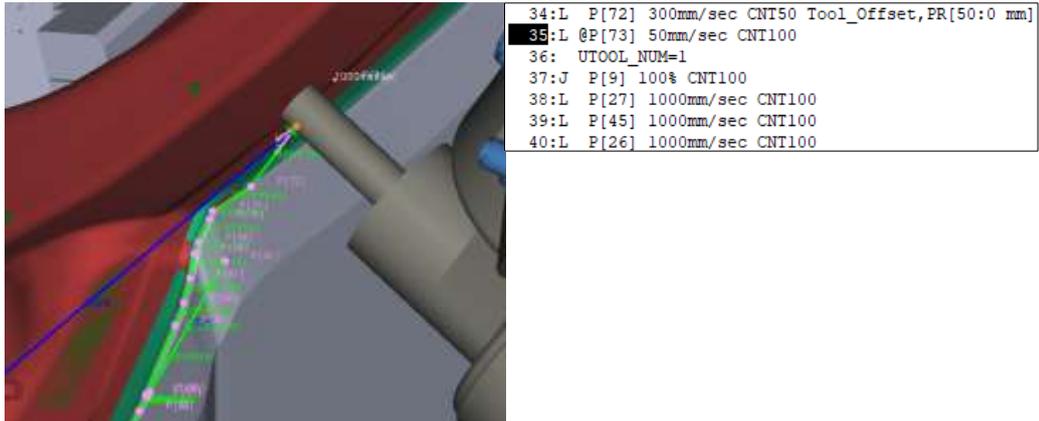


Figura 267. Robot A finalización engrapado lateral derecho a 45°

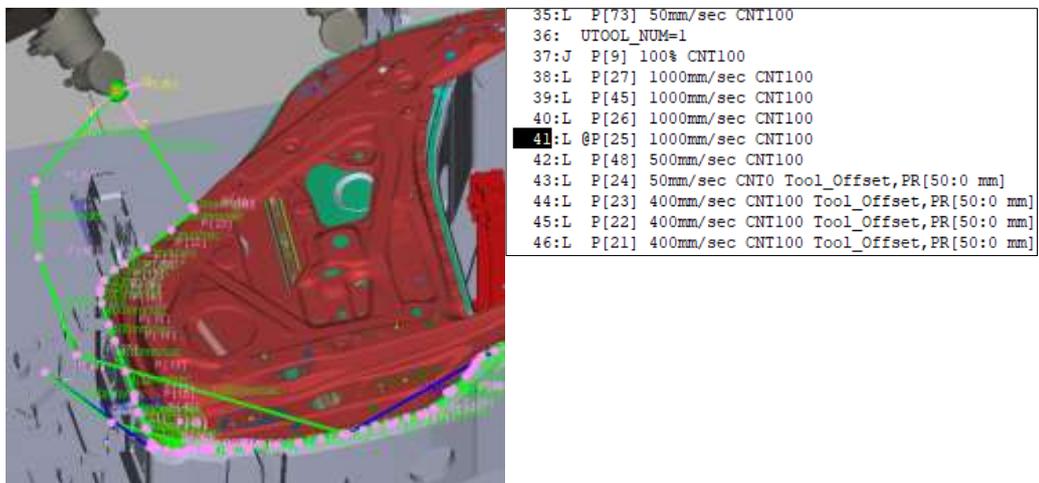


Figura 268. Robot A movimiento al lado opuesto

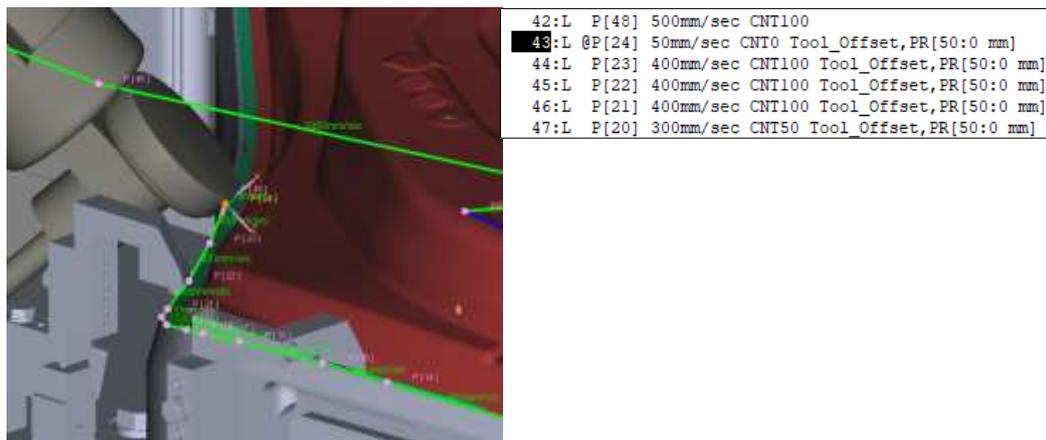


Figura 269. Robot A aproximación al lateral izquierdo de la pieza

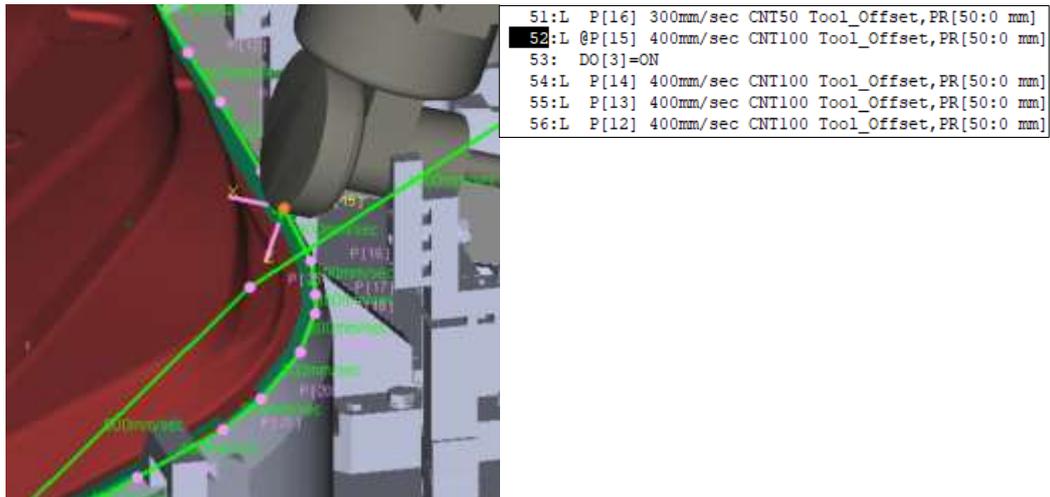


Figura 270. Robot A desbloquea el movimiento del robot C

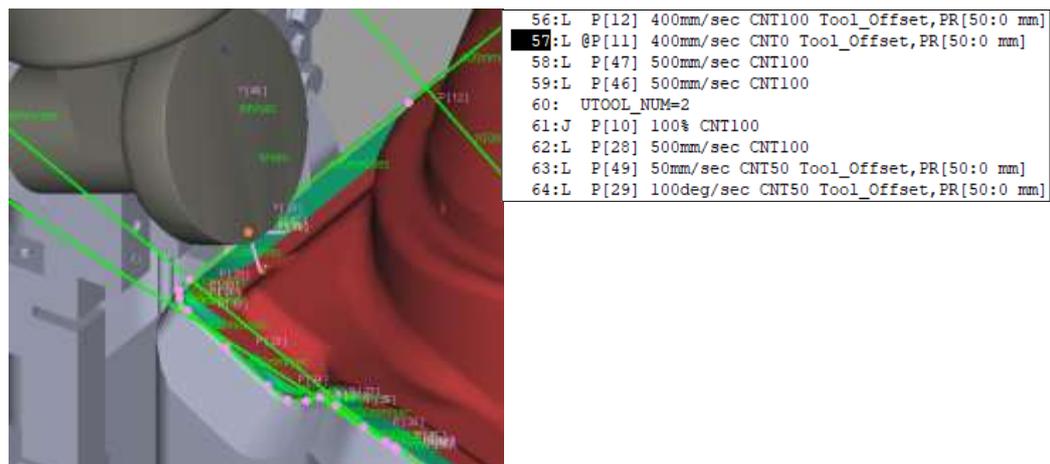


Figura 271. Robot A, cambio de roldana [1]

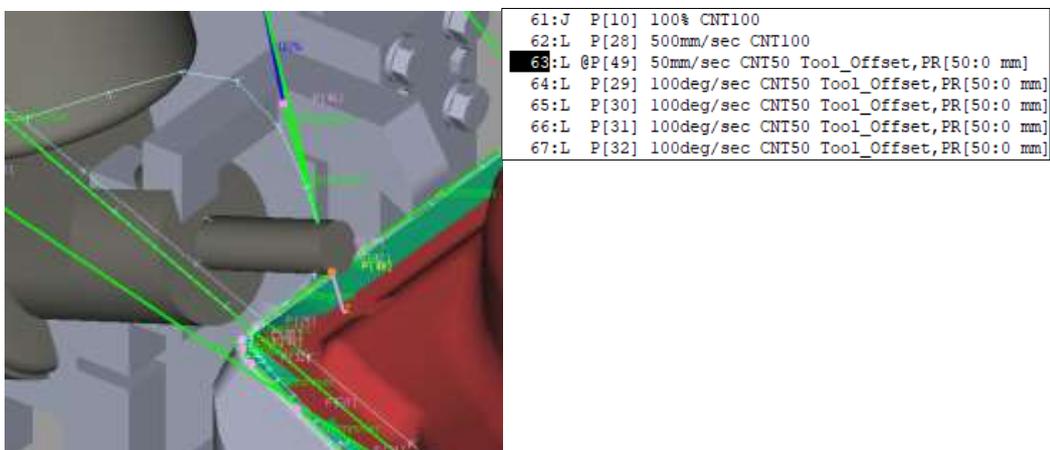


Figura 272. Robot A, cambio de roldana [2]

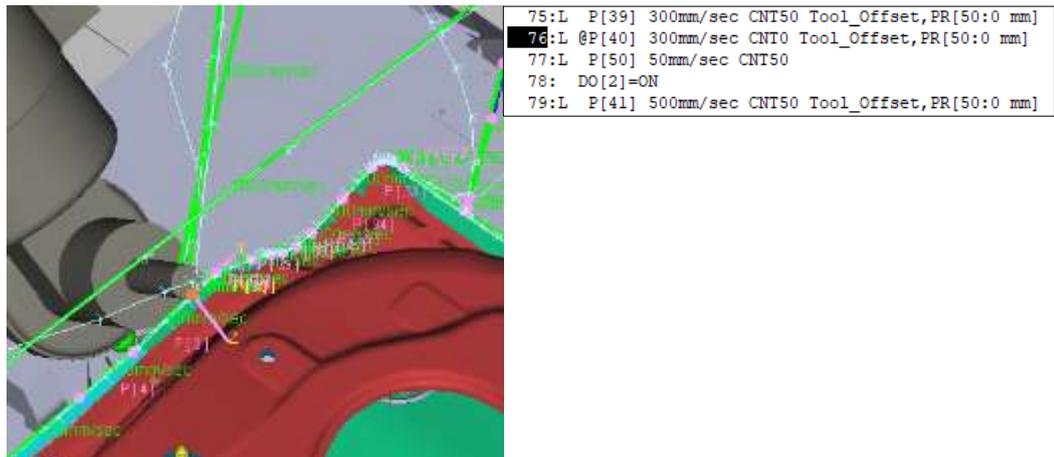


Figura 273. Robot A, fin del trayecto y desbloqueo del movimiento del robot B

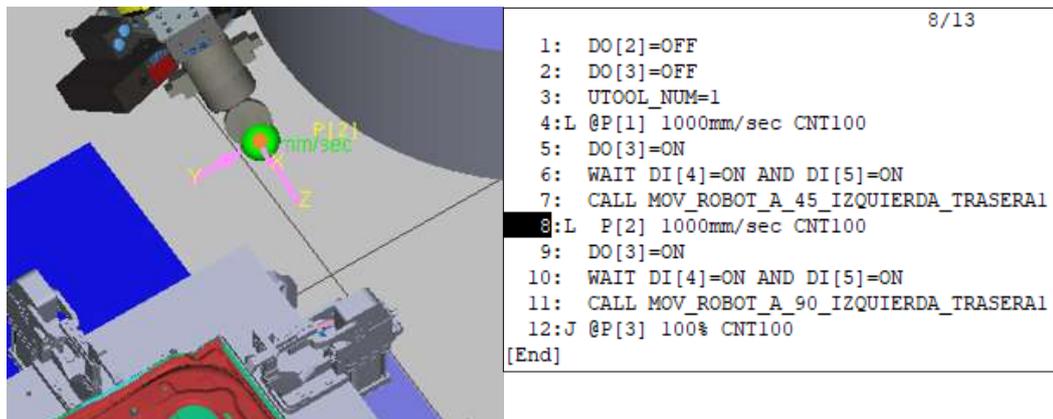


Figura 274. Robot A en espera de la finalización de los otros dos robots

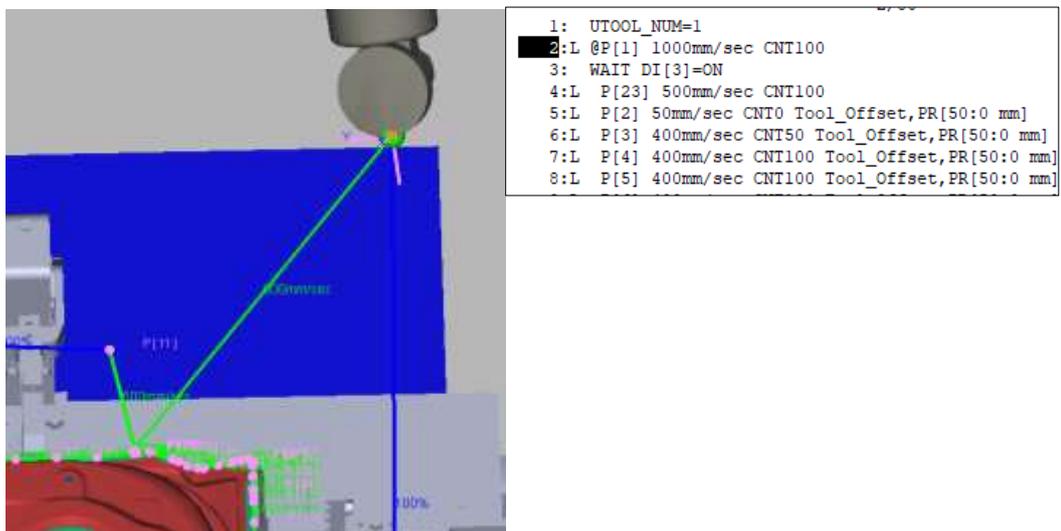


Figura 275. Robot A esperando a la señal del robot B

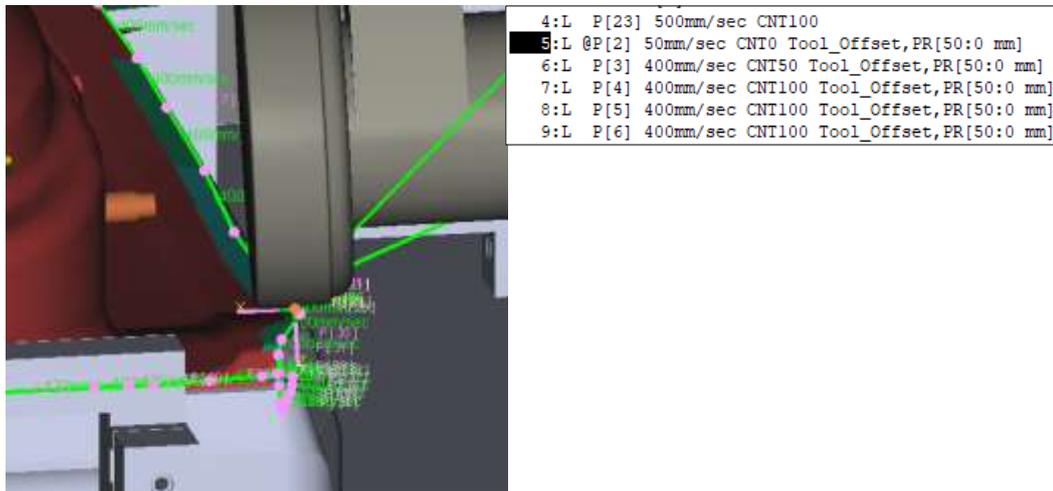


Figura 276. Robot A aproximación a la pieza

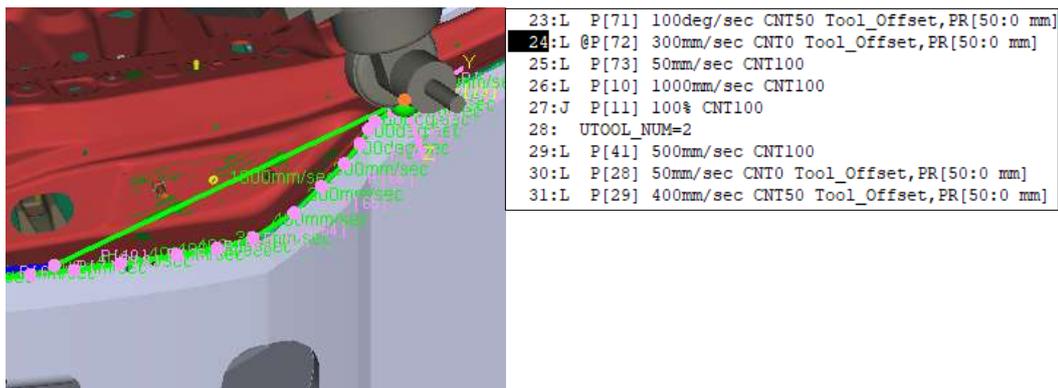


Figura 277. Robot A finalización proceso de engrapado lateral derecho

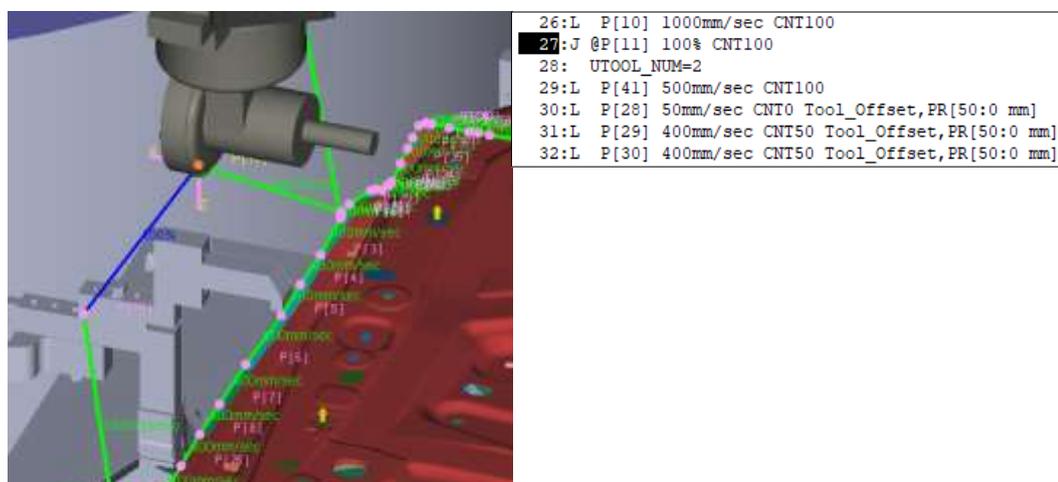


Figura 278. Robot A movimiento con cambio de roldana

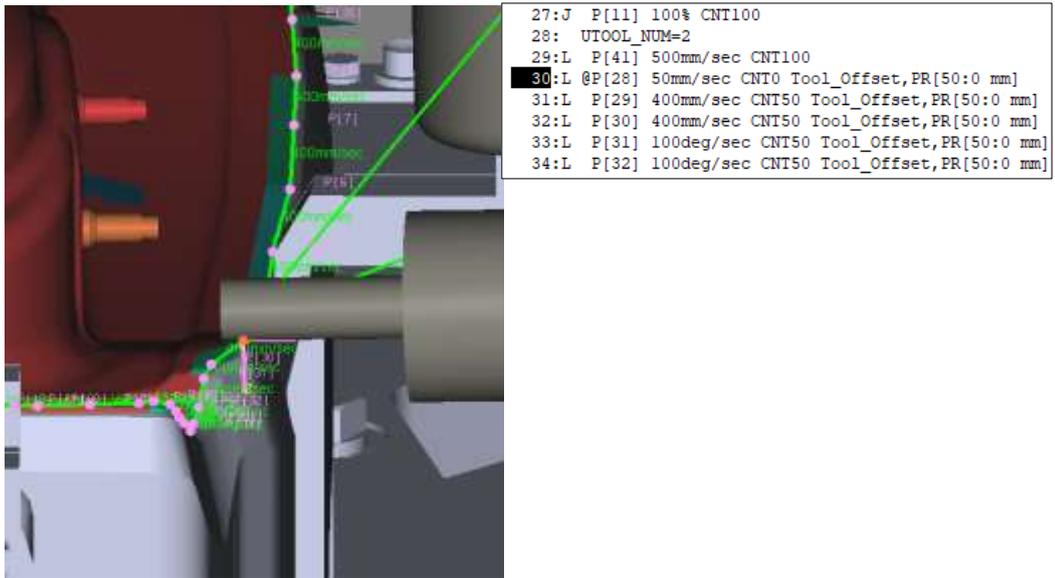


Figura 279. Robot A movimiento con cambio de roldana

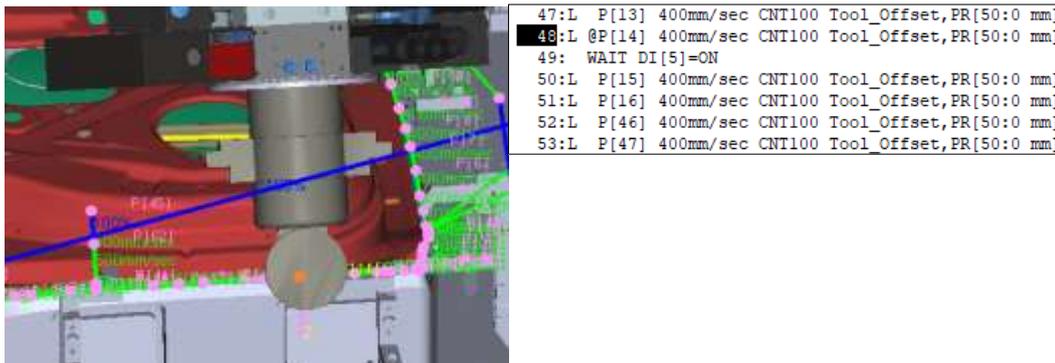


Figura 280. Robot A en espera a la señal de movimiento del robot C

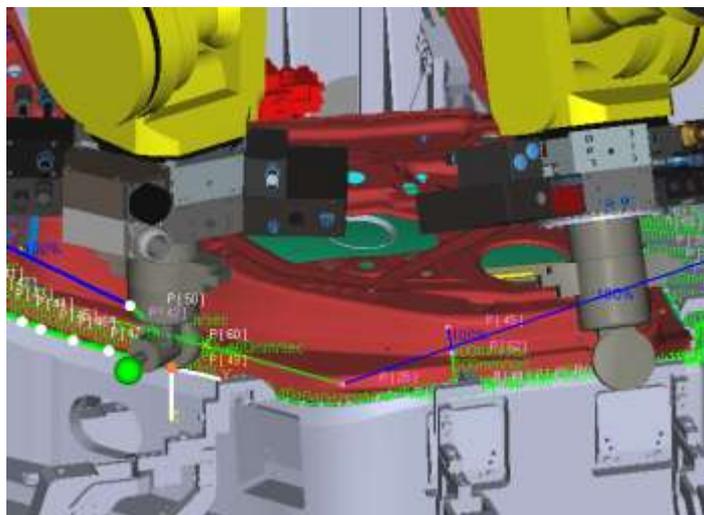


Figura 281. Robot C en posición cercana al Robot A



Figura 282. Robot A cambio a la roldana grande [1]

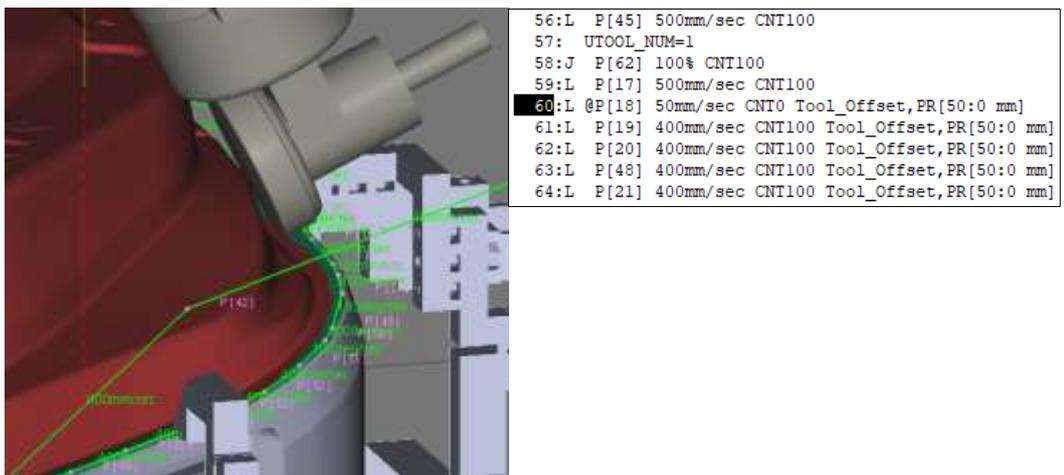


Figura 283. Robot A cambio a la roldana grande [2]

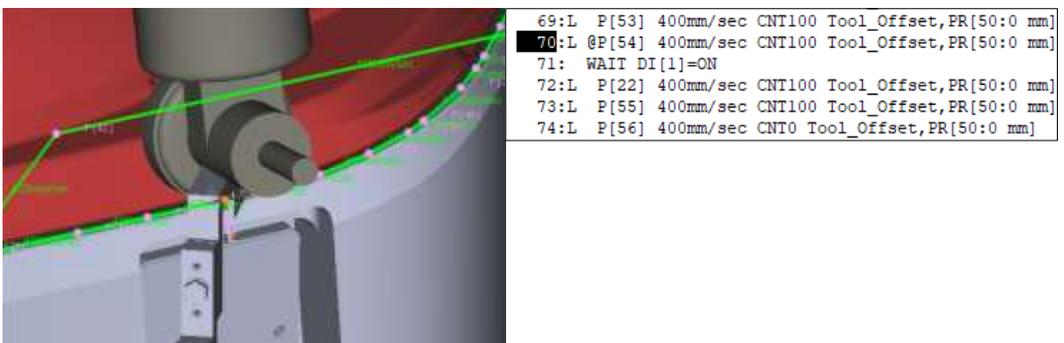


Figura 284. Robot A en espera a la señal de movimiento del robot C

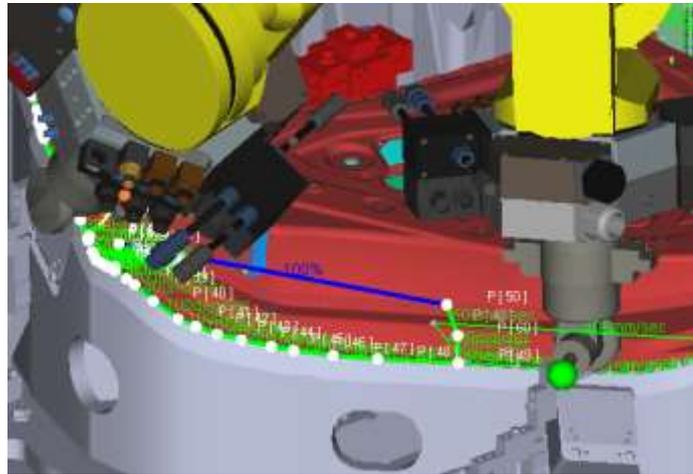


Figura 285. Robot C manda señal de movimiento al robot A

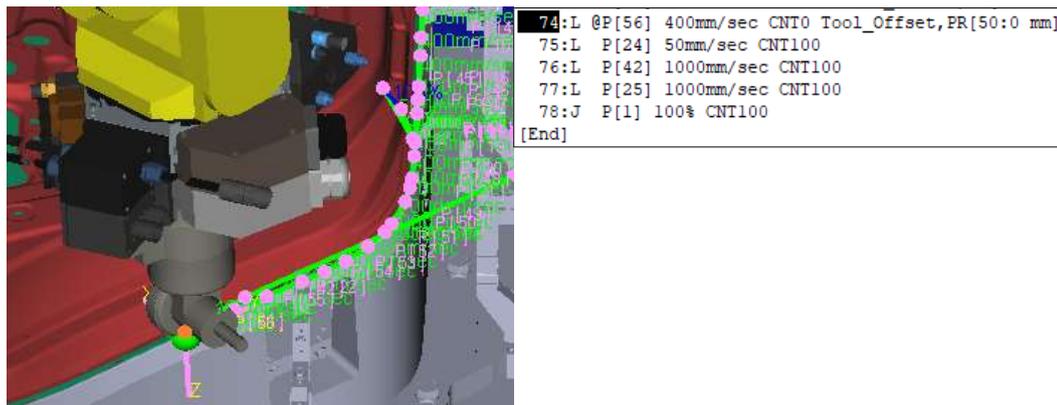


Figura 286. Robot A termina recorrido a 90°



Figura 287. Robot A vuelve a la posición inicial

6.3.2. Robot B

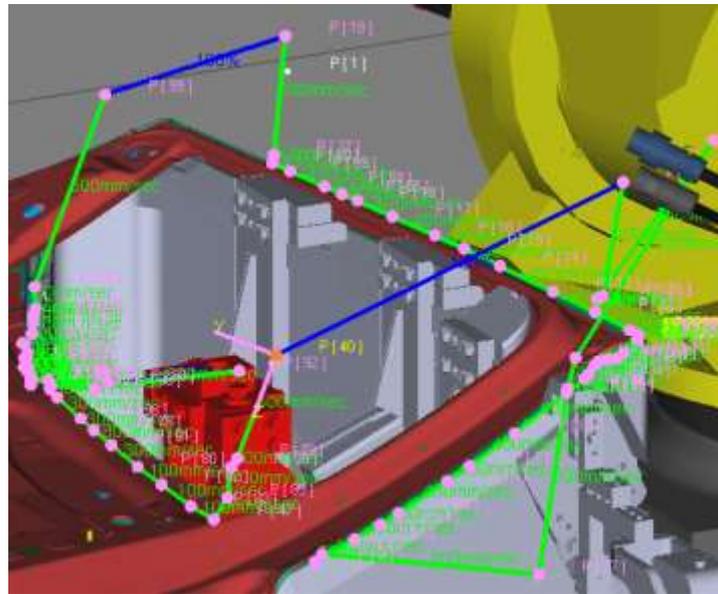


Figura 288. Robot B, engrapado a 45°



Figura 289. Robot aproximación a la pieza

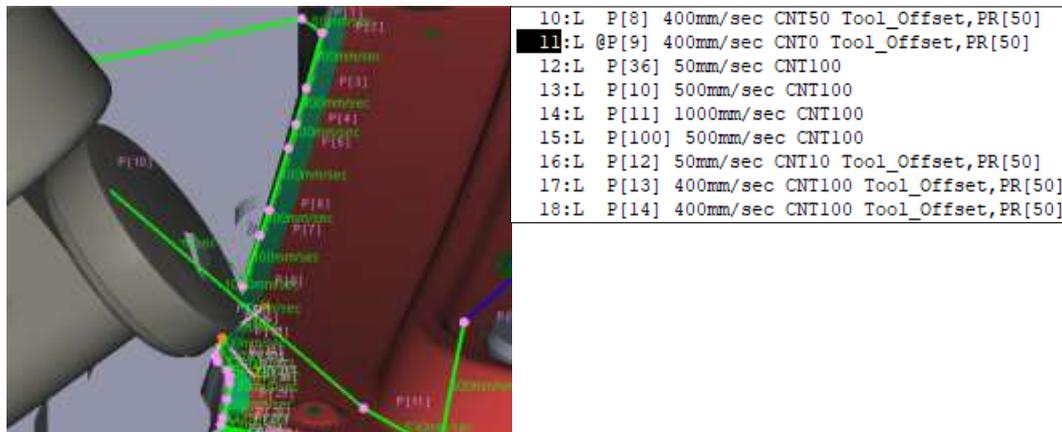


Figura 290. Robot B deja de aplicar presión

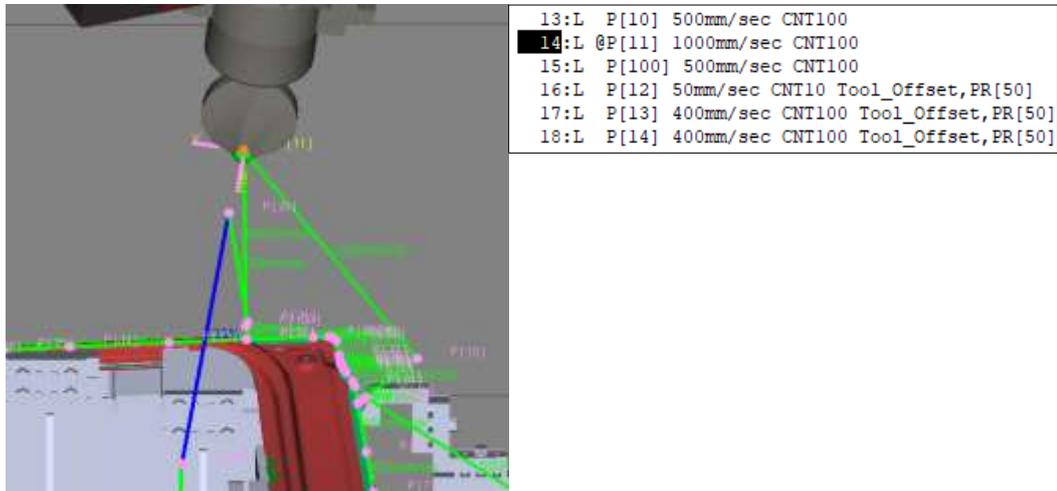


Figura 291. Robot B movimiento hacia la zona superior

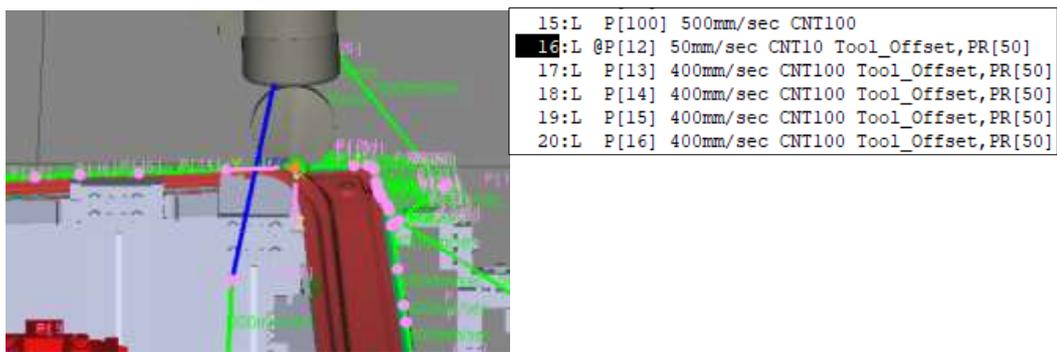


Figura 292. Robot B aproximación zona superior



Figura 293. Robot B a la espera de la señal del robot C

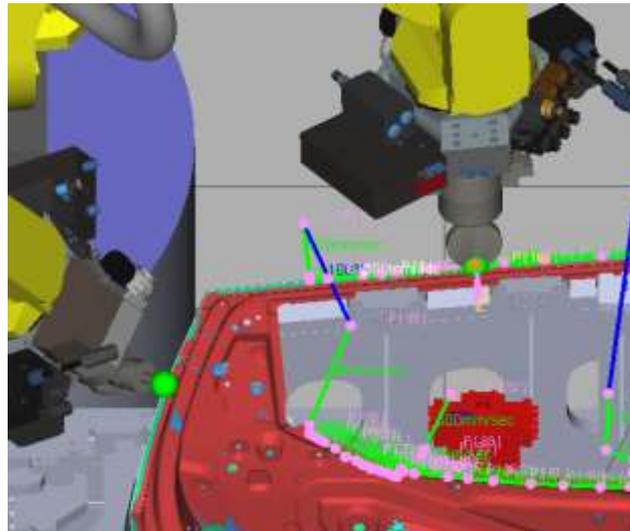


Figura 294. Robot C manda la señal de movimiento al A



Figura 295. Robot B finaliza el engrapado de la zona superior

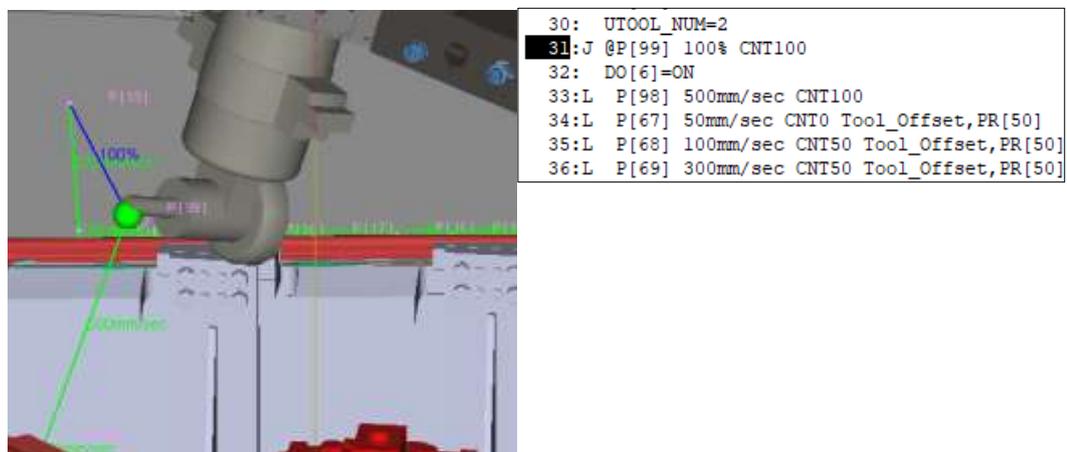


Figura 296. Robot B envía señal de movimiento al robot C

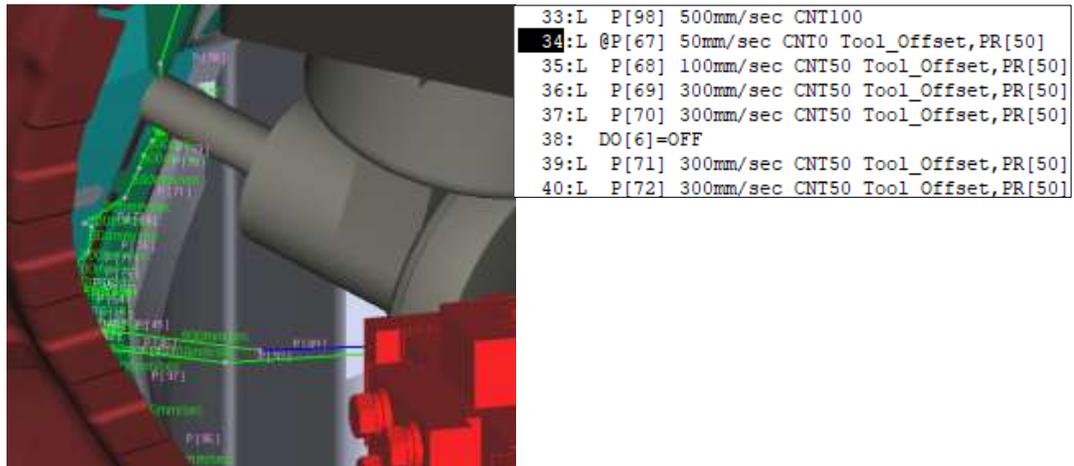


Figura 297. Robot B usando la roldana pequeña para el engrapado a 45°

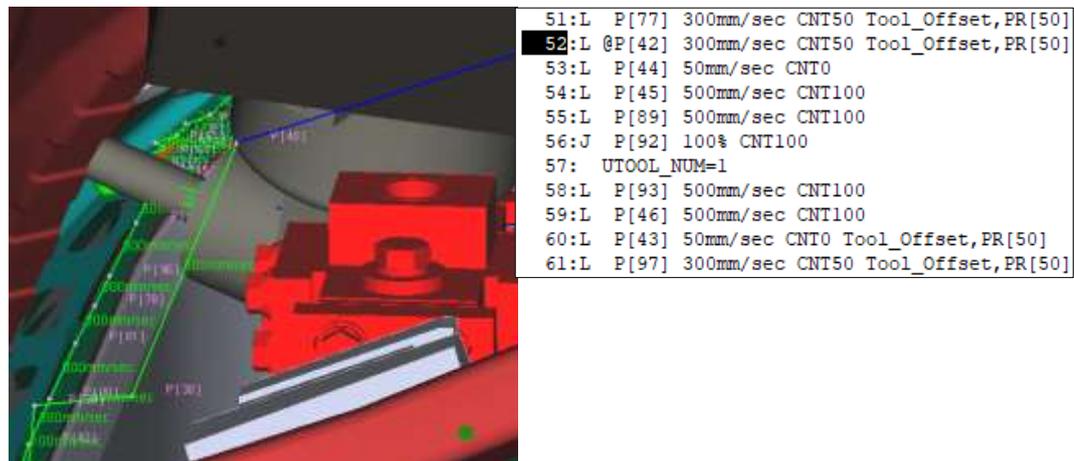


Figura 298. Robot B cambio de roldana [1]

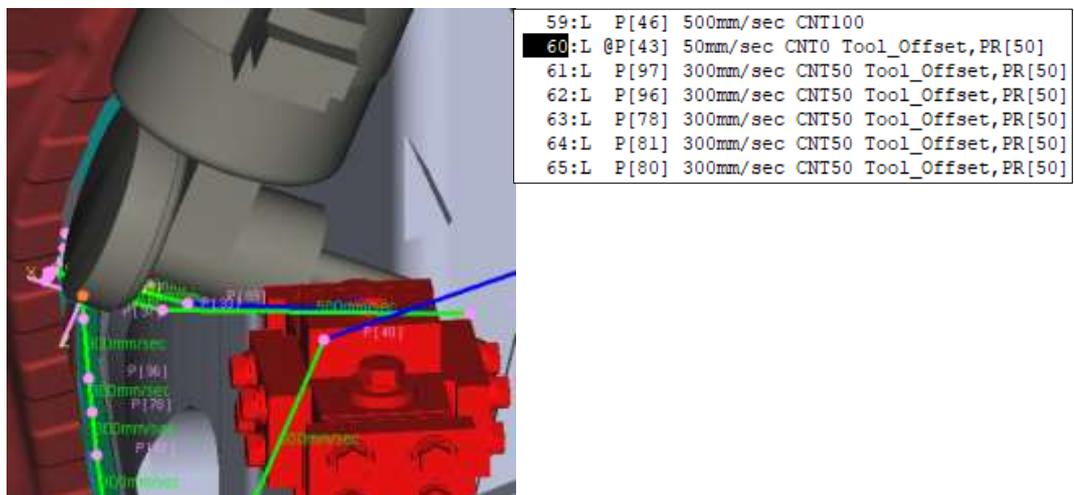


Figura 299. Robot B cambio de roldana [1]

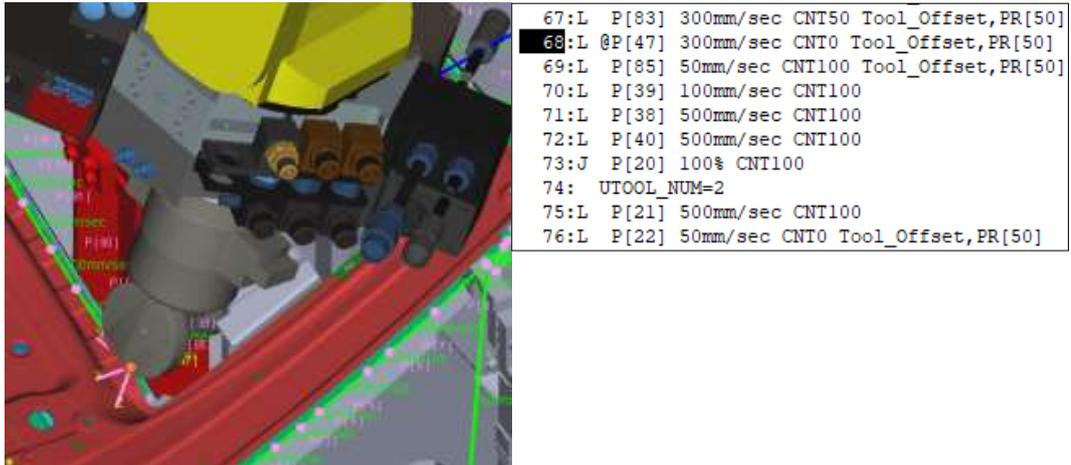


Figura 300. Robot B finalización pasada zona interior

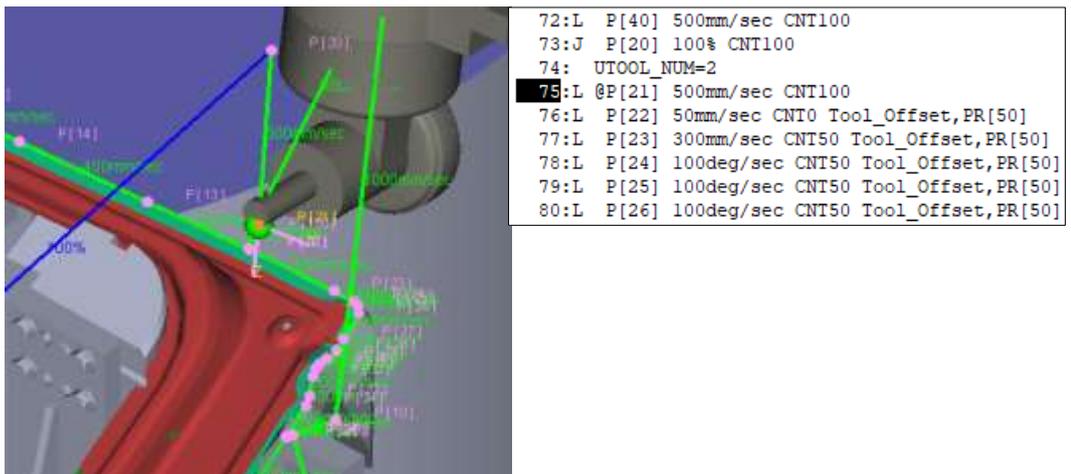


Figura 301. Robot B movimiento con la roldana pequeña para realizar el giro

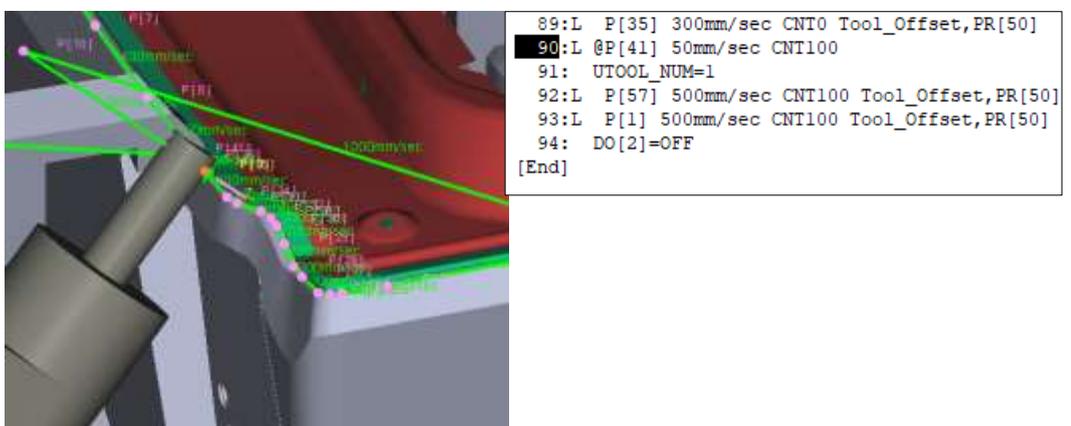


Figura 302. Robot B finalización engrapado de 45°

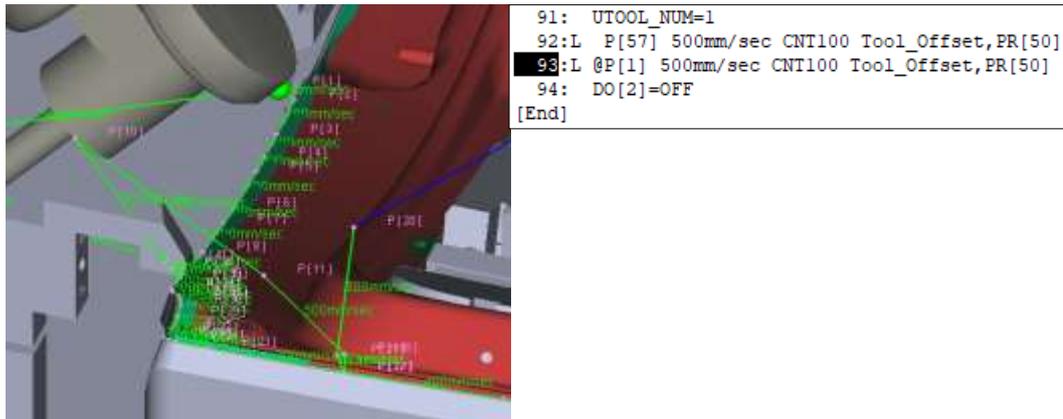


Figura 303. Robot B se desplaza para la siguiente pasada

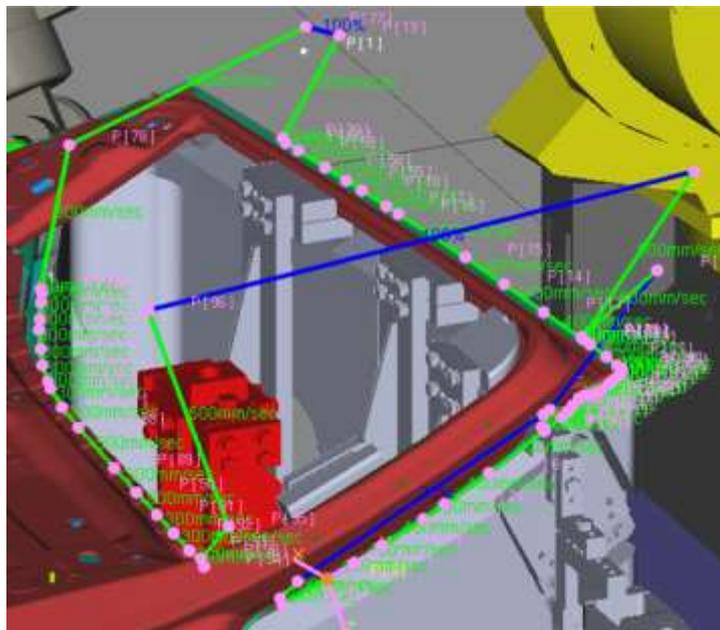


Figura 304. Robot B, engrapado a 90°

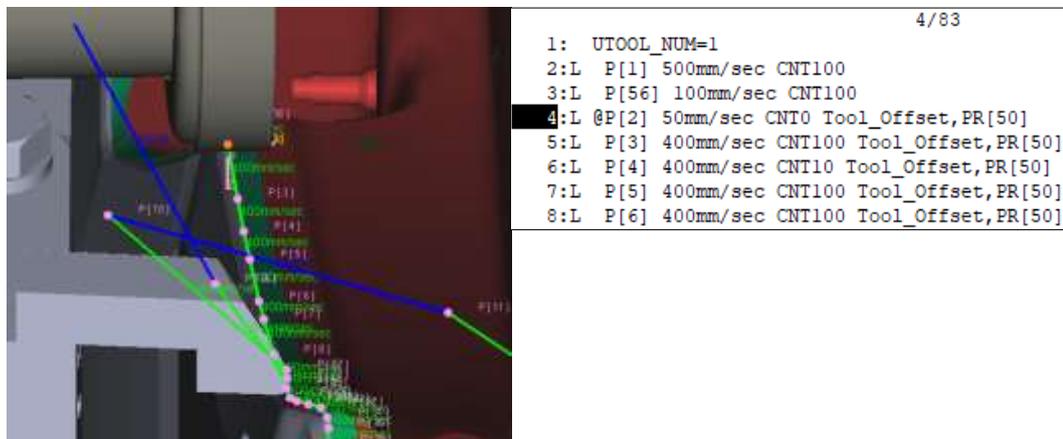


Figura 305. Robot B aproximación a la pieza

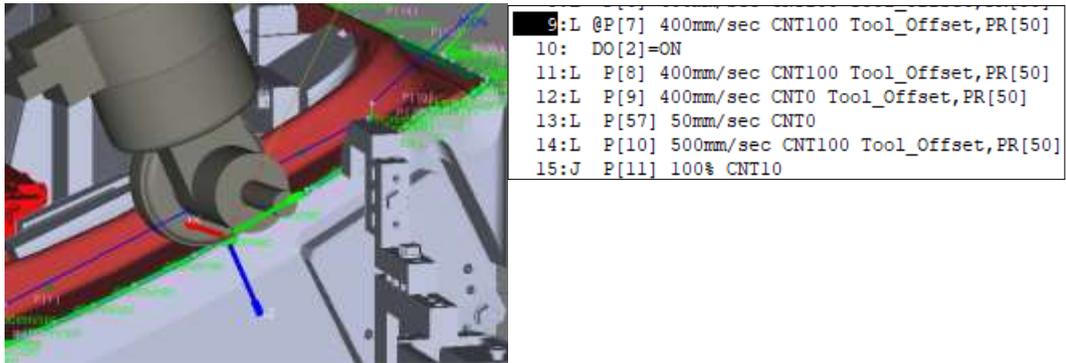


Figura 306. Robot B envía señal de movimiento al robot A

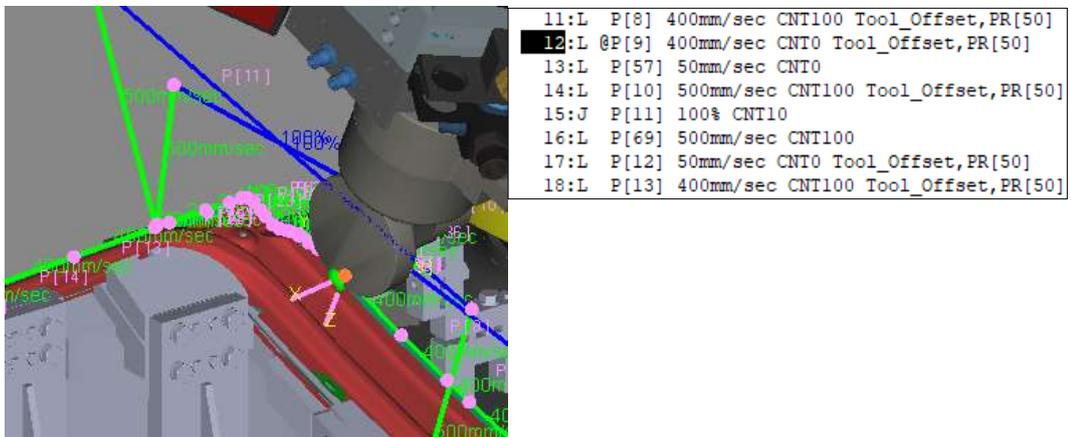


Figura 307. Robot B cambio de posición de la roldana [1]

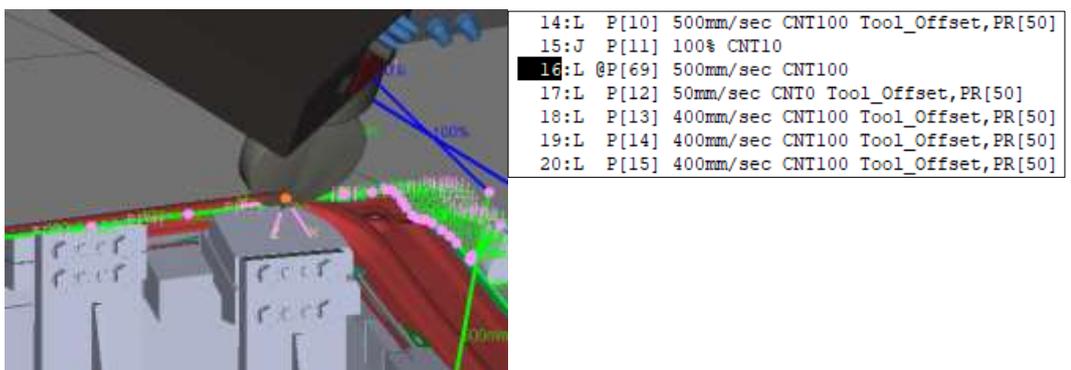


Figura 308. Robot B cambio de posición de la roldana [2]

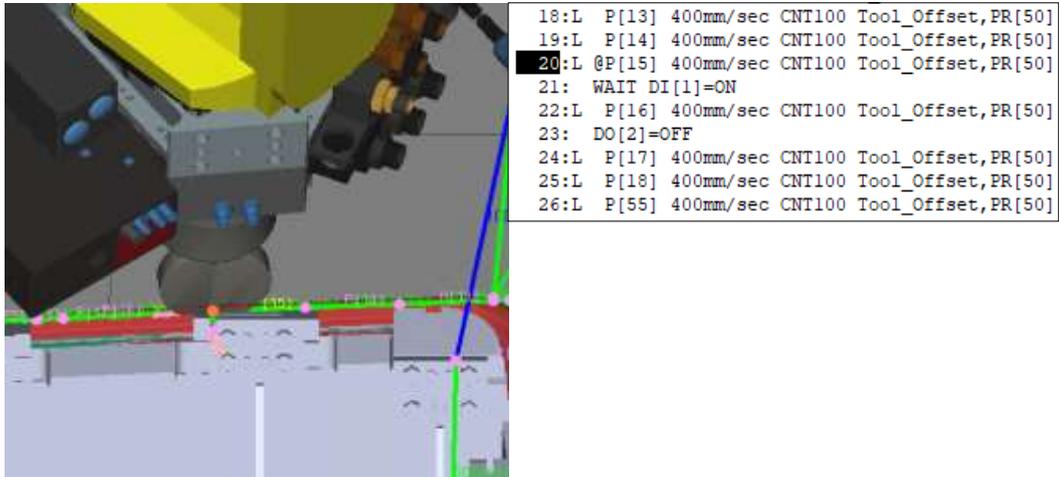


Figura 309. Robot B a la espera de la señal de movimiento de C

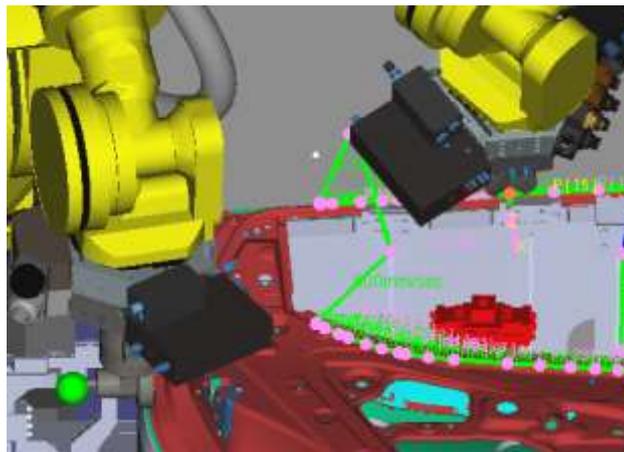


Figura 310. Robot C envía señal al robot B

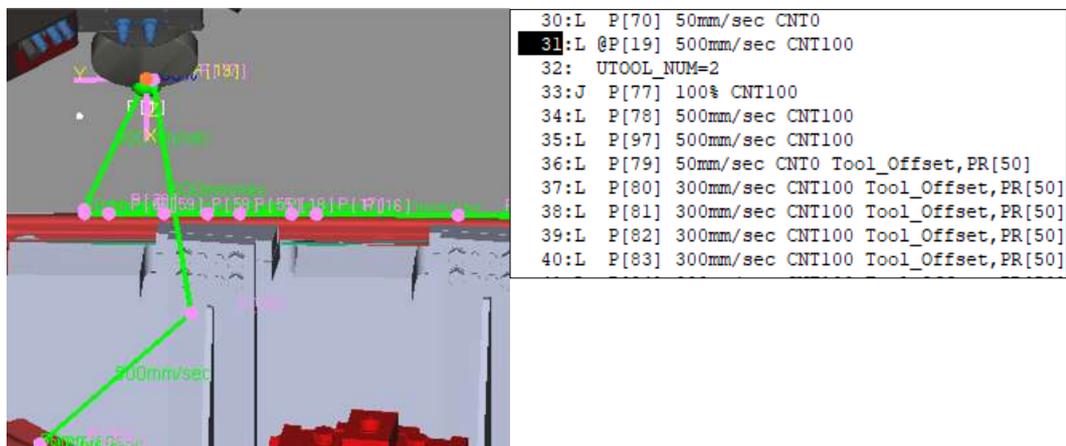


Figura 311. Robot B se desplaza hacia la zona interior

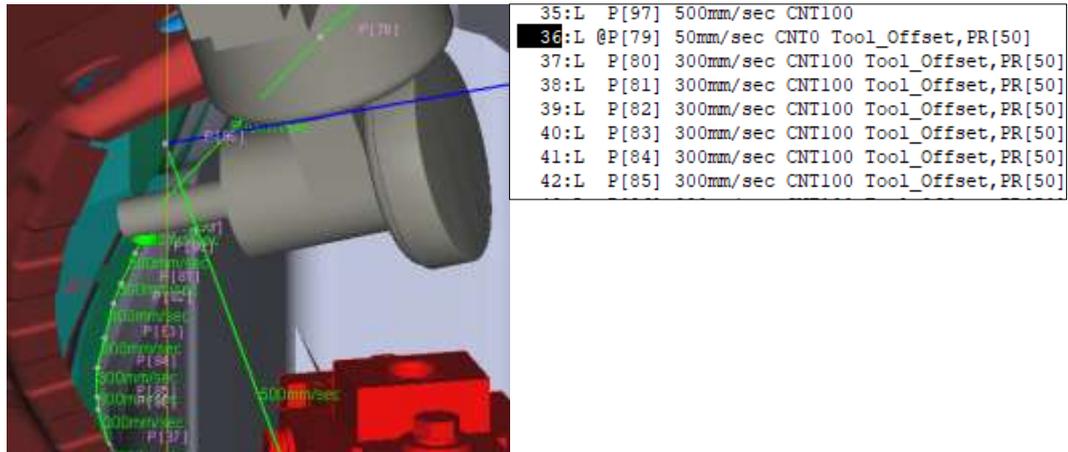


Figura 312. Robot B aproximación a la zona interior



Figura 313. Robot B envía señal de movimiento al robot C

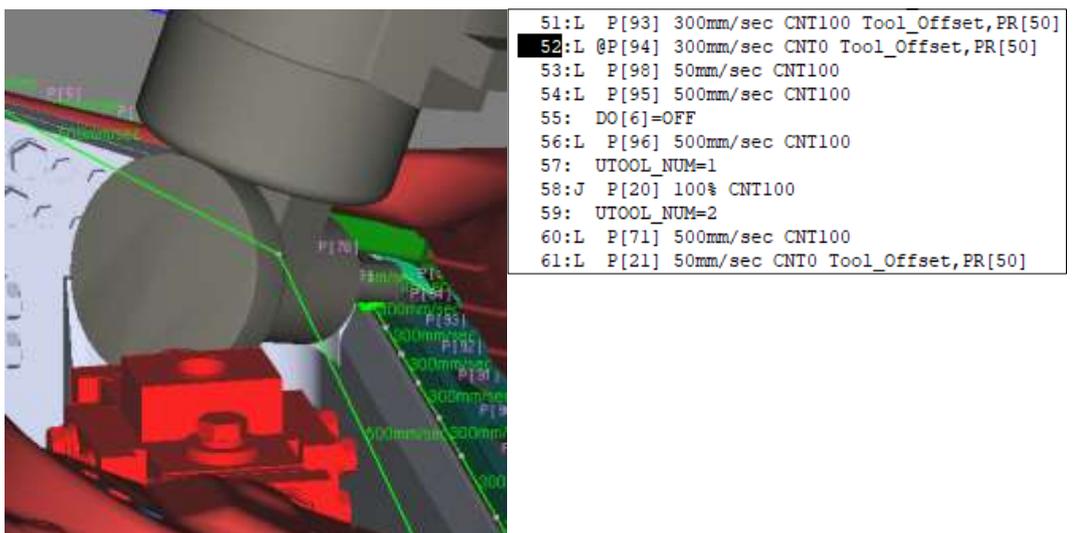


Figura 314. Robot B finaliza el engrapado a 90° de la zona interior

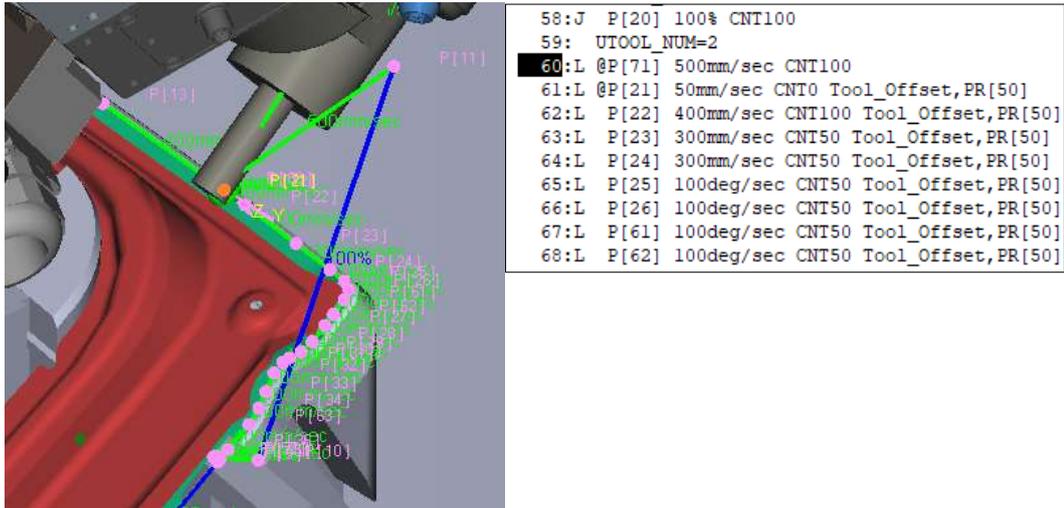


Figura 315. Robot B, e ngrapado de la esquina superior

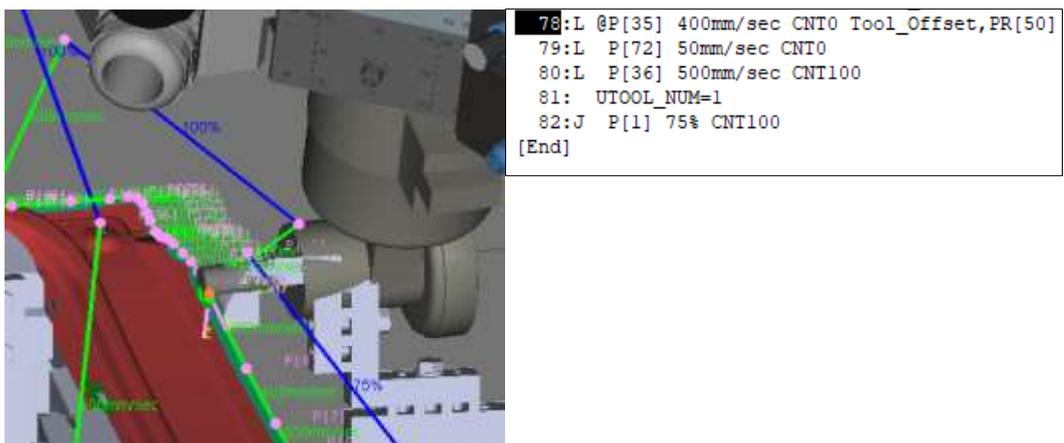


Figura 316. Finalización del proceso

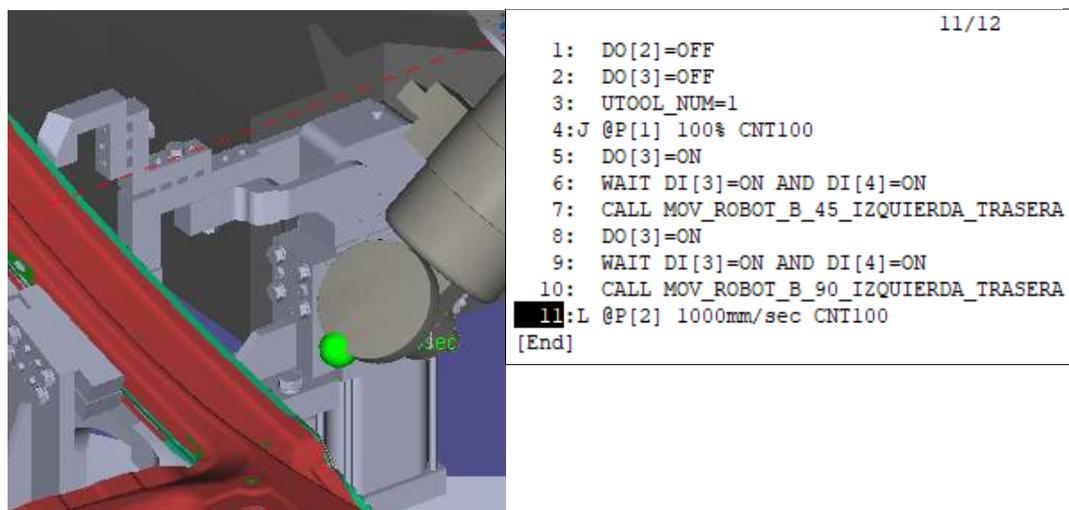


Figura 317. Robot B en posición inicial

6.3.3. Robot C

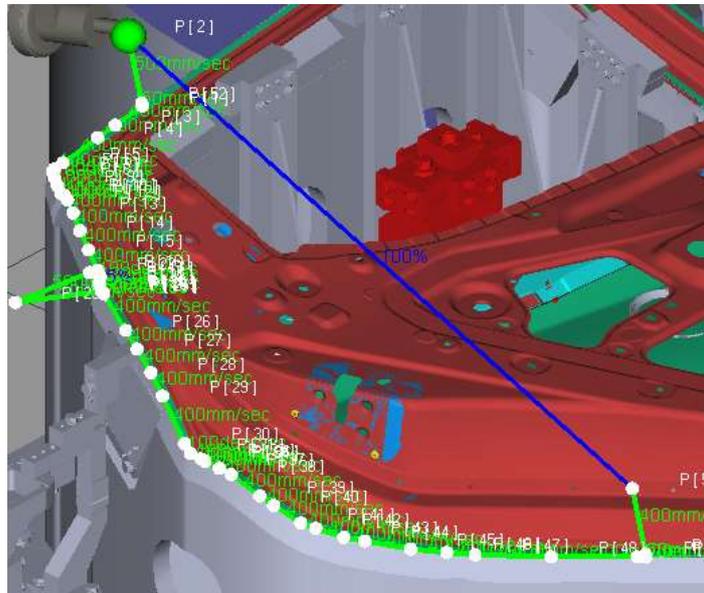


Figura 318. Robot C engrapado 45°

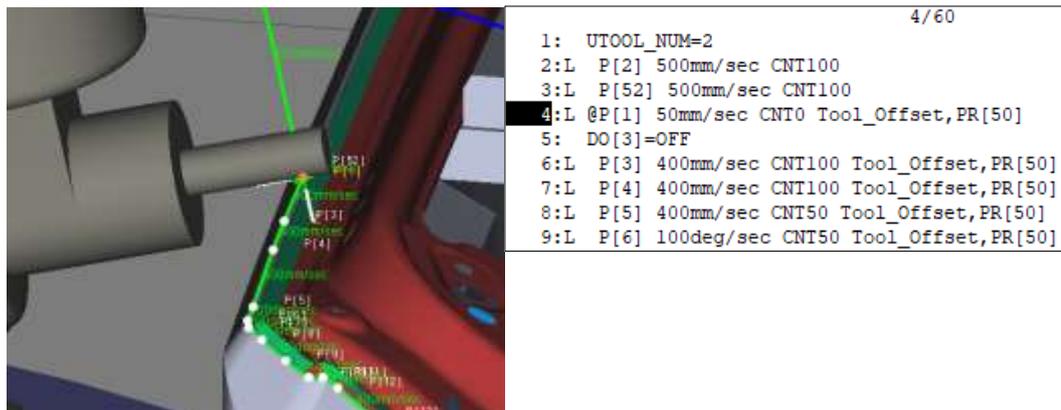


Figura 319. Robot C aproximación a la pieza

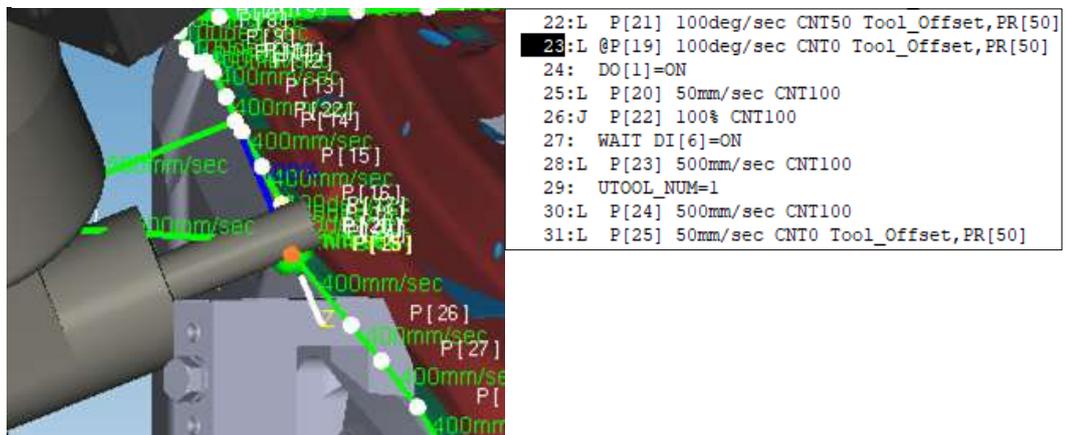


Figura 320. Robot C envía señal de movimiento al robot B y espera a recibir señal de este



Figura 321. Robot C cambia de herramienta a la roldana grande

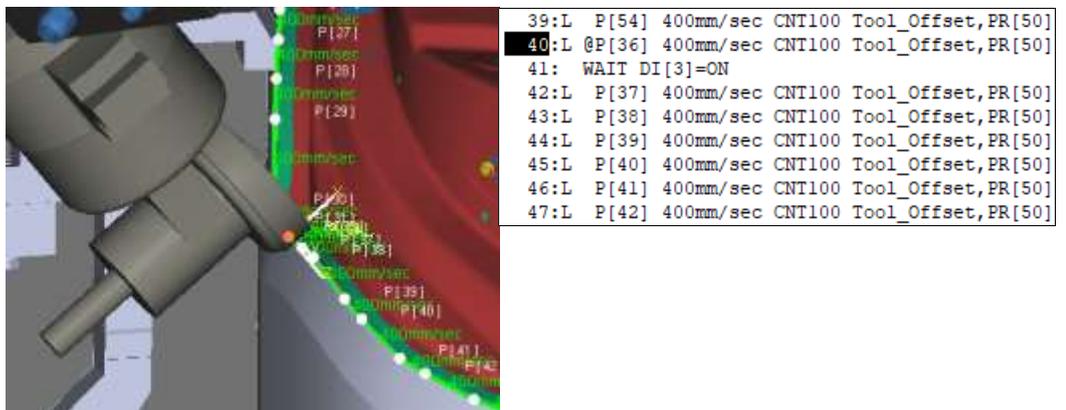


Figura 322. Robot C en espera a recibir señal de A

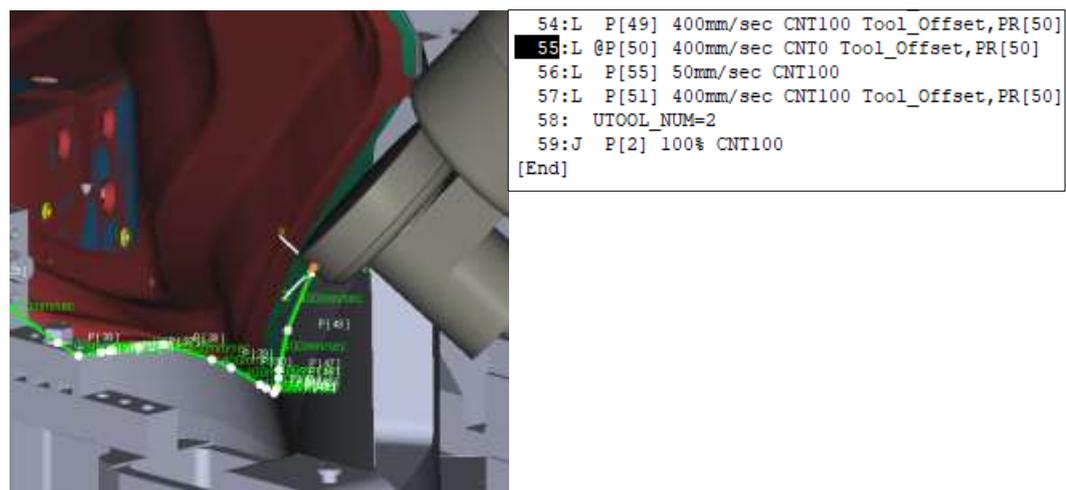


Figura 323. Robot C finaliza la pasada a 45°

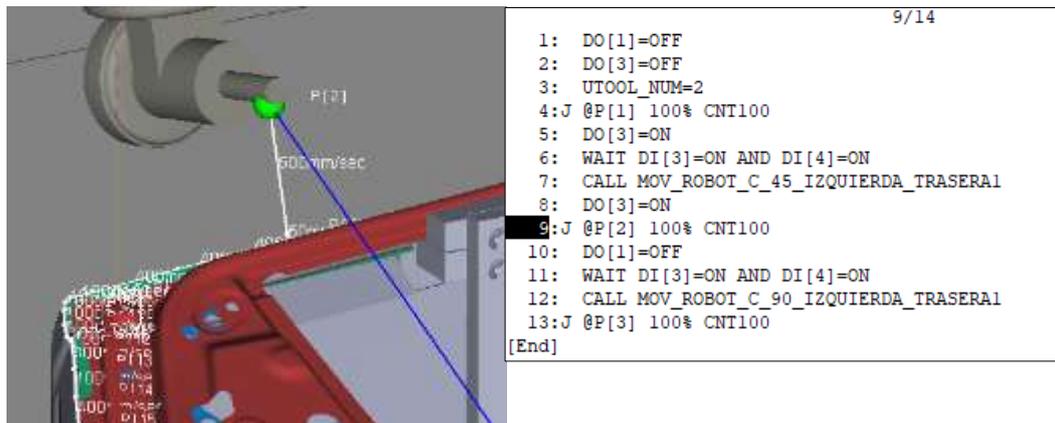


Figura 324. Robot C vuelve a la posición inicial

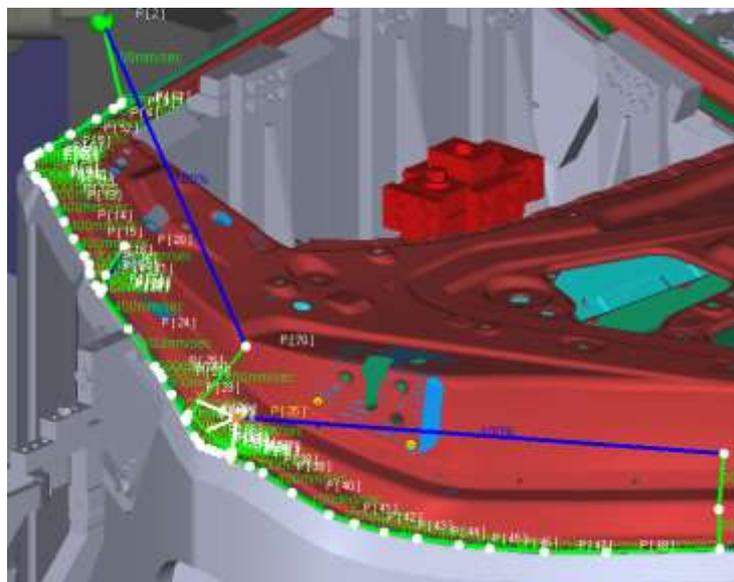


Figura 325. Robot C engrapado a 90°

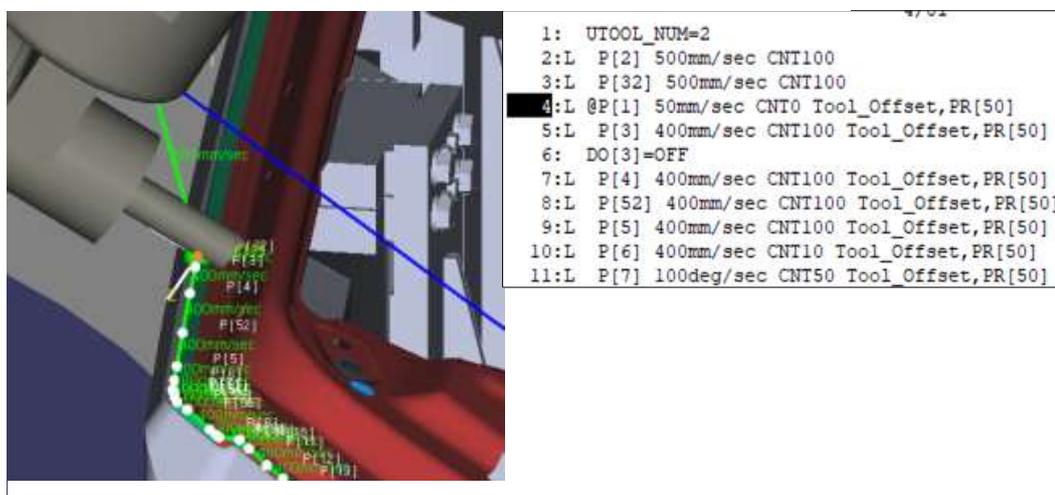


Figura 326. Robot C aproximación a la pieza

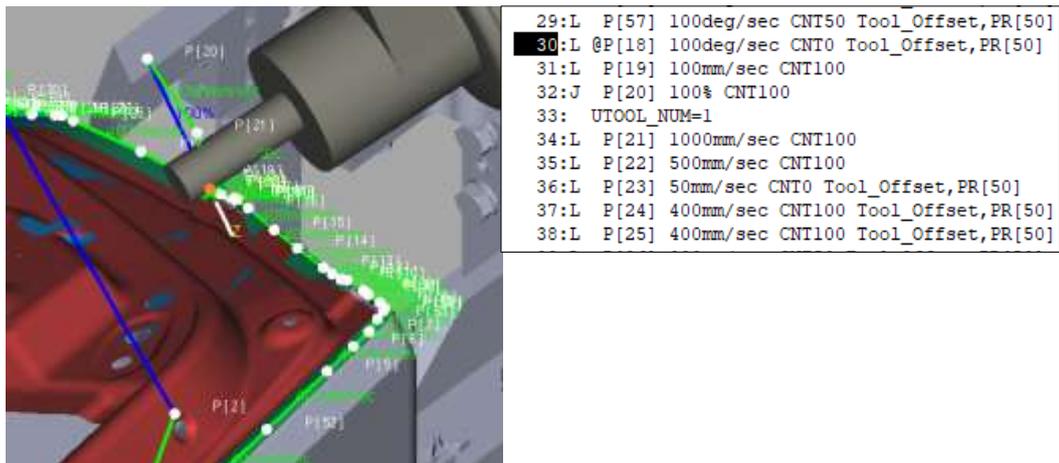


Figura 327. Robot C cambio de la roldana [1]

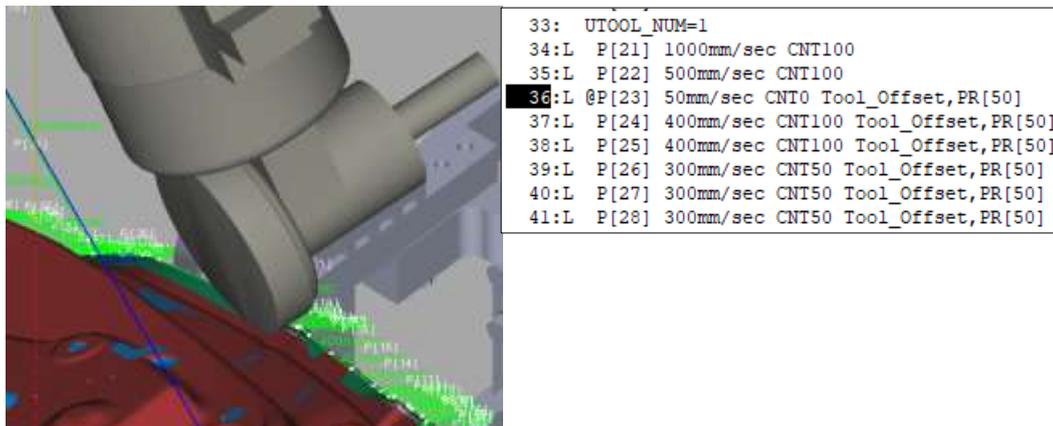


Figura 328. Robot C cambio de la roldana [2]

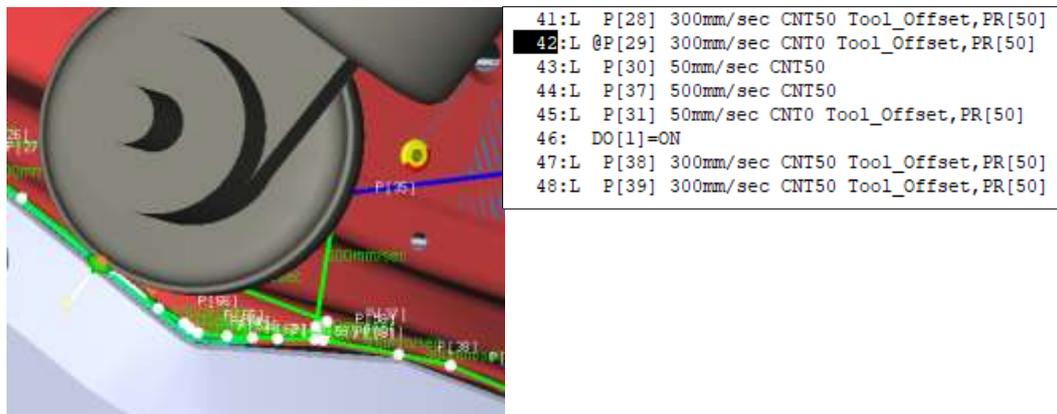


Figura 329. Robot C, roldana grande no accede a la esquina

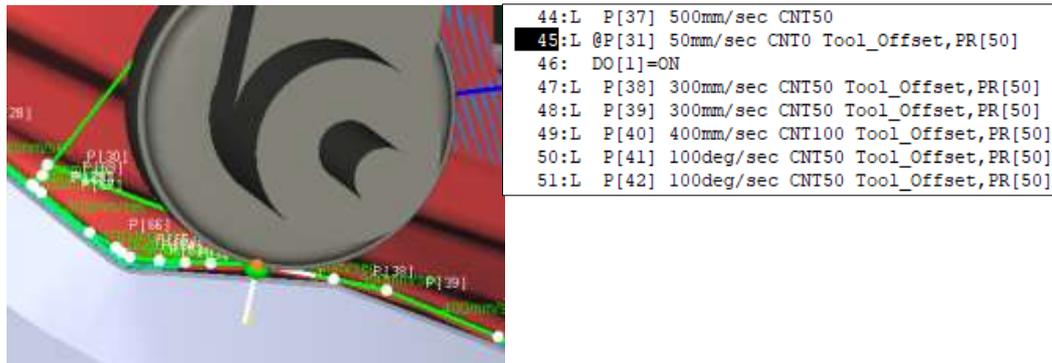


Figura 330. Robot C, continua recorrido y envía señal de movimiento al robot A

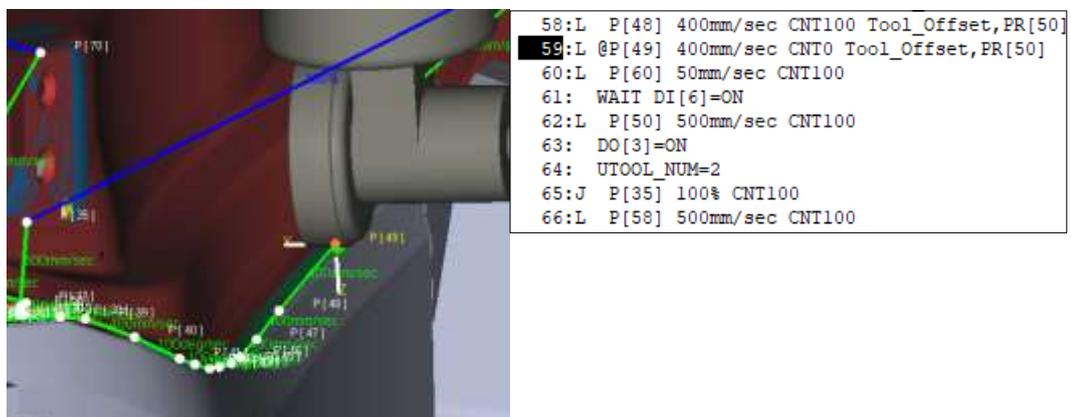


Figura 332. Robot C finaliza el recorrido con la roldana grande y espera a recibir señal del robot B

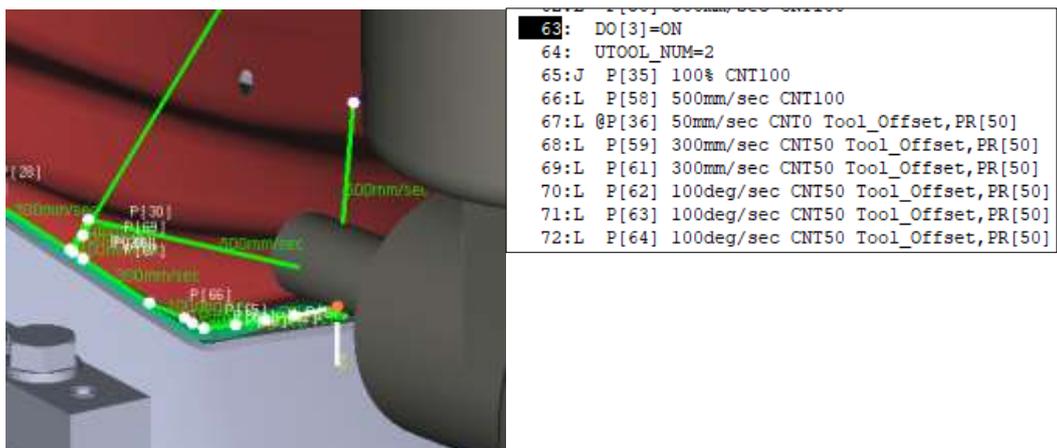


Figura 331. Robot C finaliza el recorrido con la roldana grande y espera a recibir señal del robot B

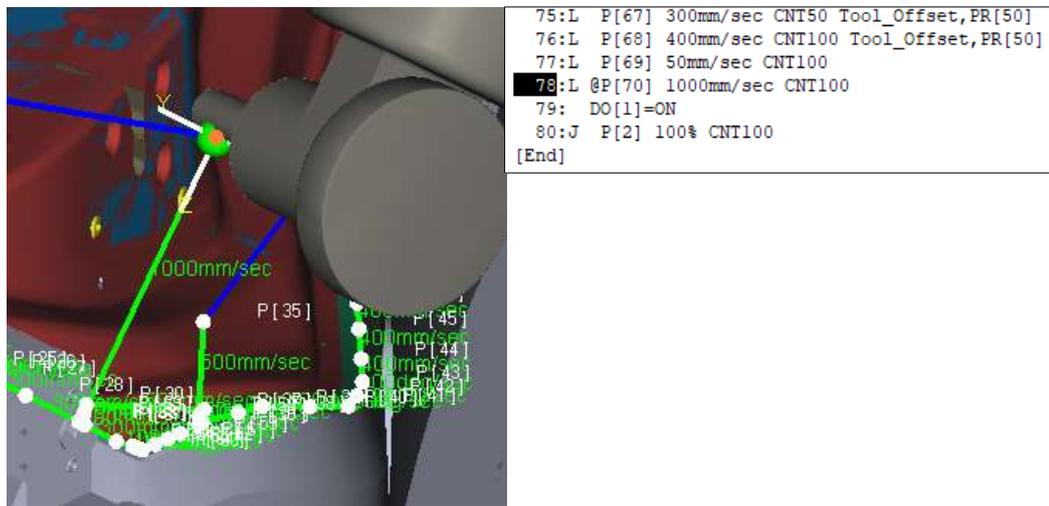


Figura 333. Robot C, finaliza la esquina, permitiendo el movimiento del robot A

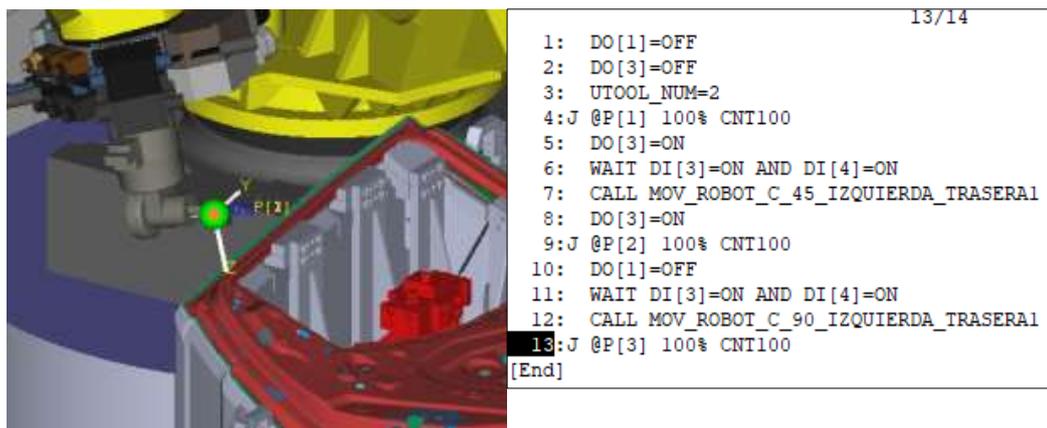


Figura 334. Robot C, vuelta a la zona inicial

6.4. Cuarta pieza

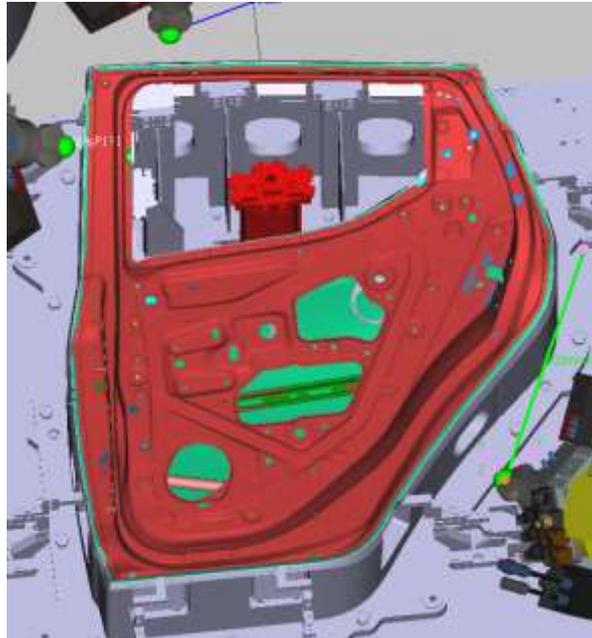


Figura 335. Pieza 4, robots en posiciones iniciales

6.4.1. Robot A

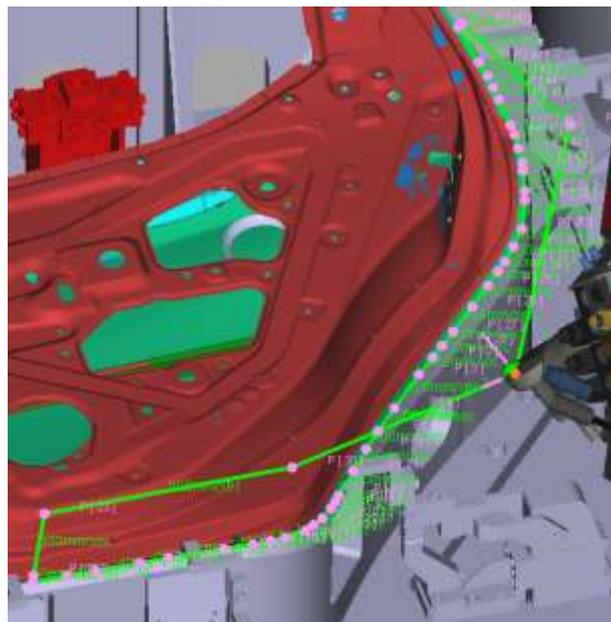


Figura 336. Robot A, engrapado 45°

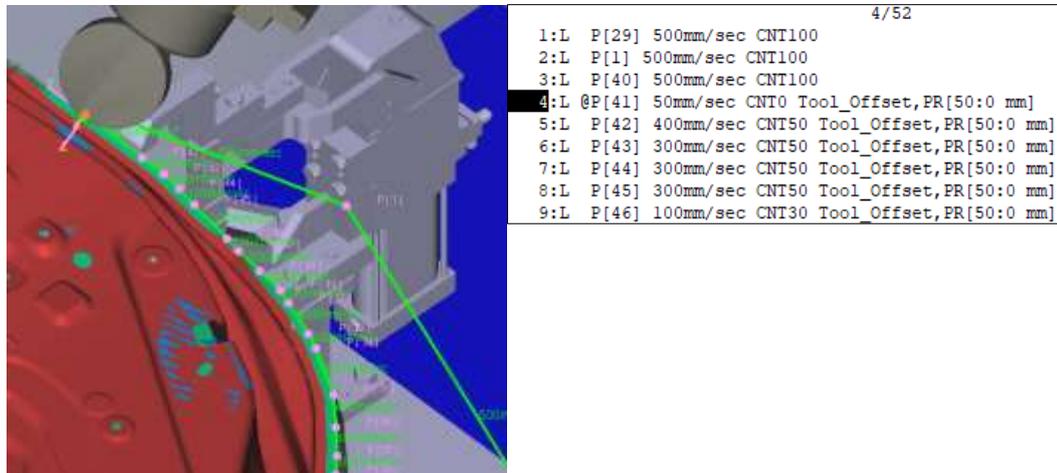


Figura 337. Robot A aproximación a la pieza

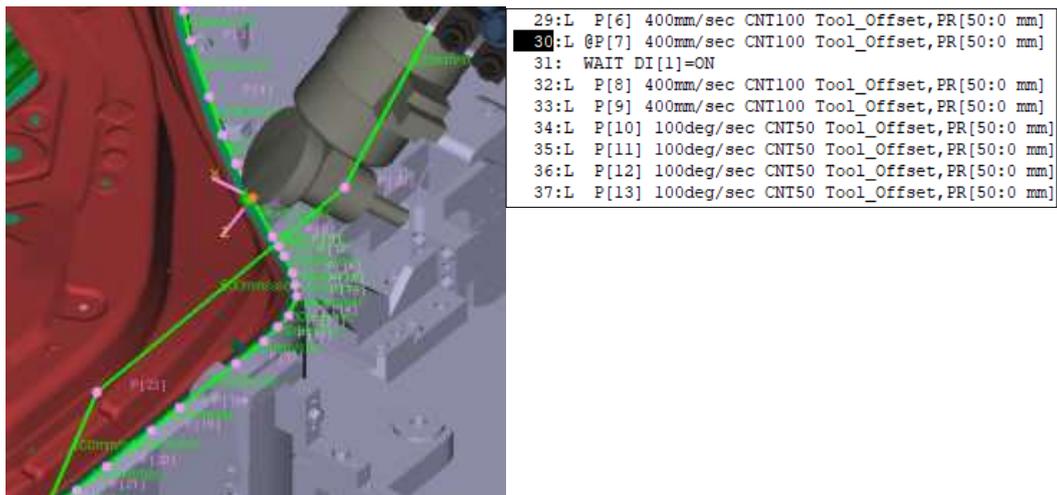


Figura 338. Robot en espera de recibir señal de movimiento del robot C

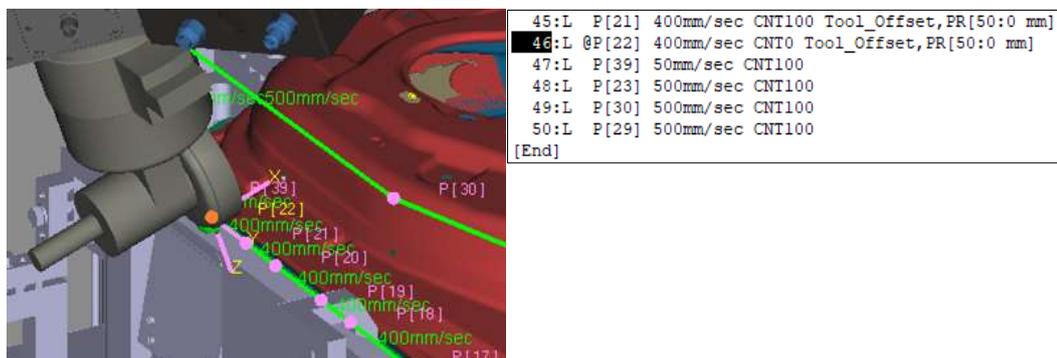


Figura 339. Robot A, finalización de la pasada a 45°

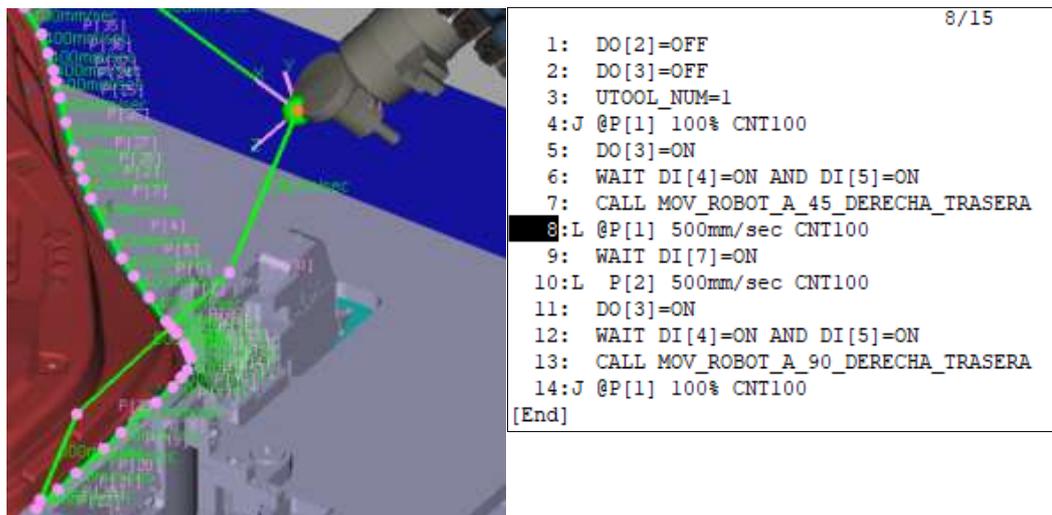


Figura 340. Robot A, vuelta a posición inicial y espera a señal del robot B

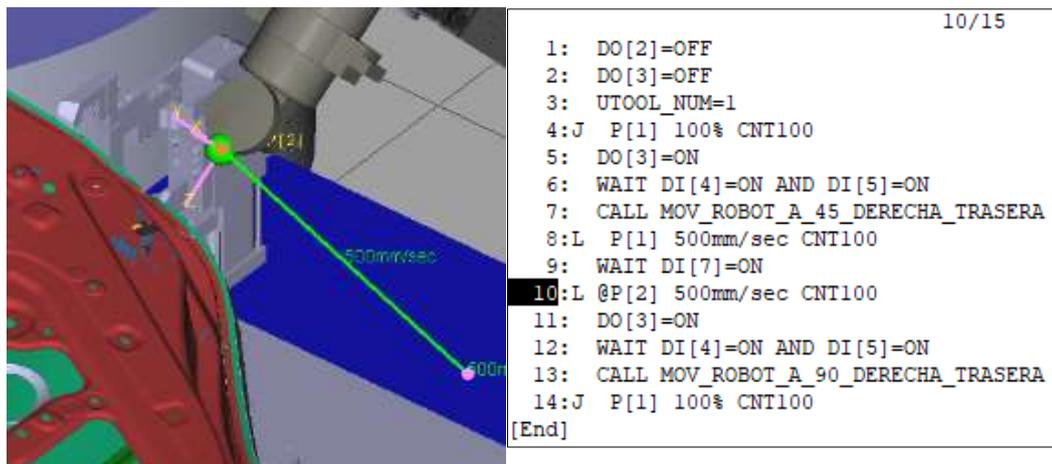


Figura 341. Robot A, en espera a finalización de los otros robots

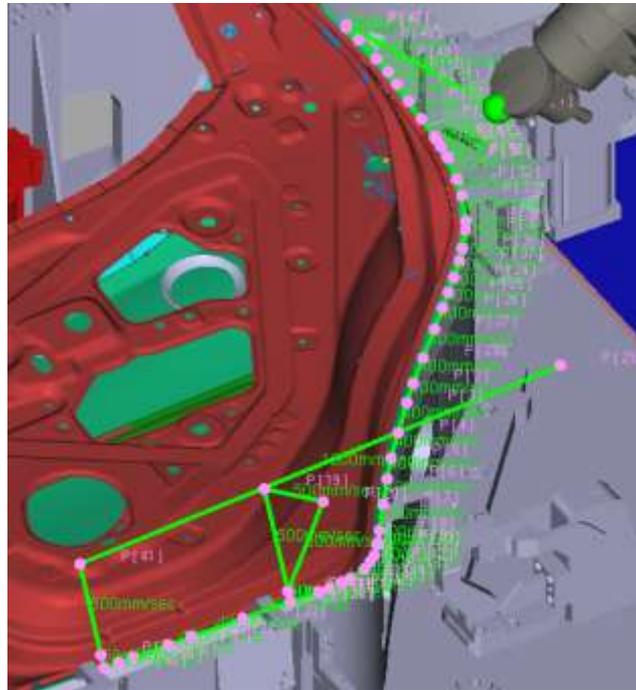


Figura 342. Robot A, engrapado 90°

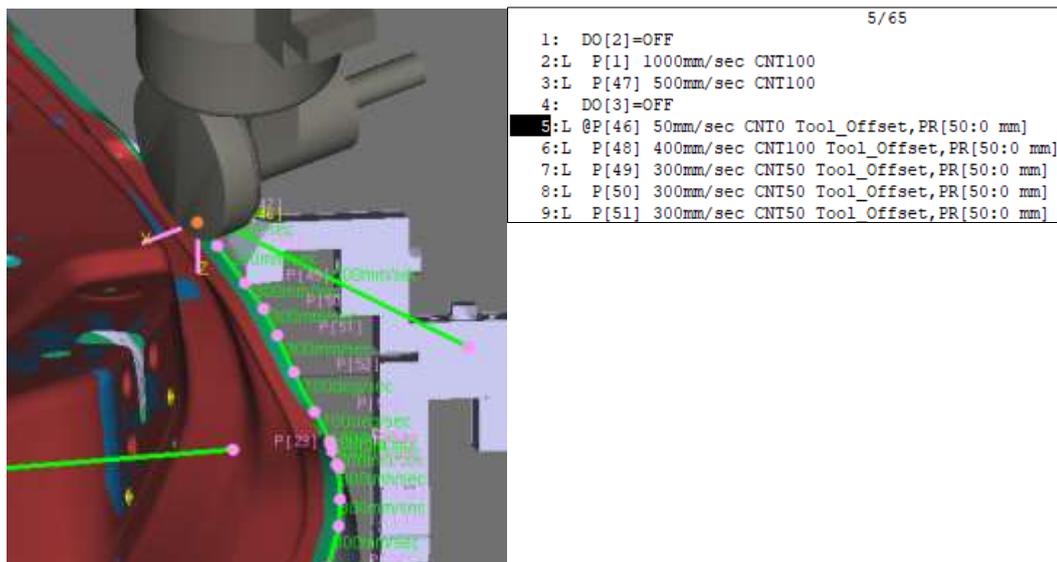


Figura 343. Robot A, aproximación a la pieza

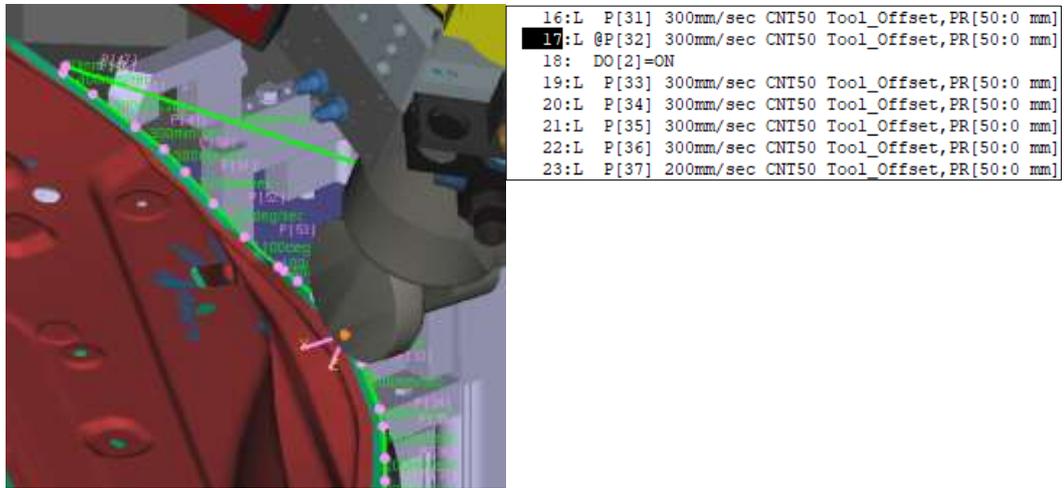


Figura 344. Robot A envía señal de movimiento al robot B

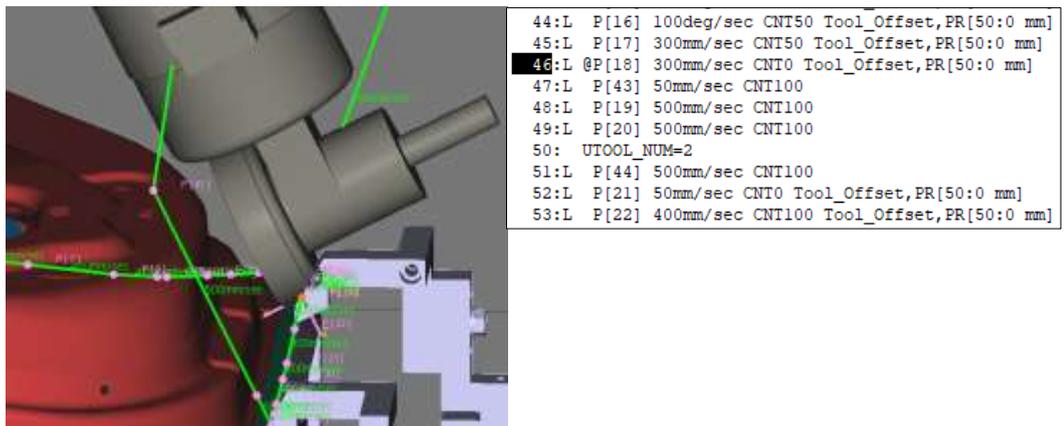


Figura 345. Robot A, cambio de herramienta [1]

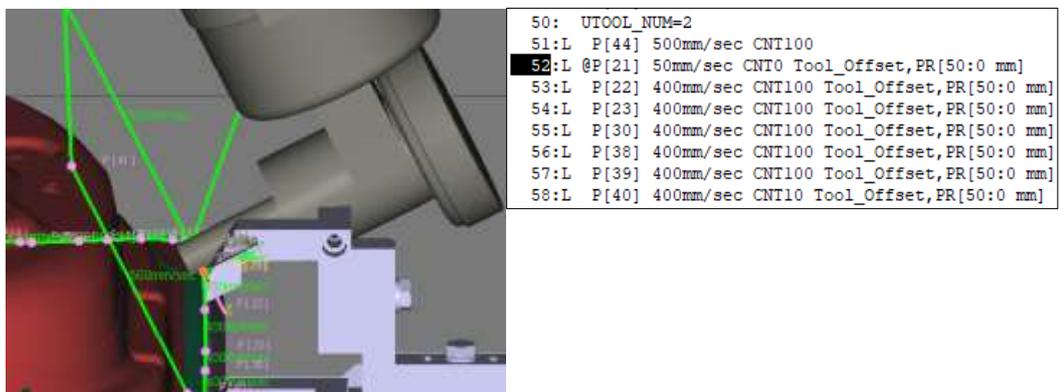


Figura 346. Robot A, cambio de herramienta [2]

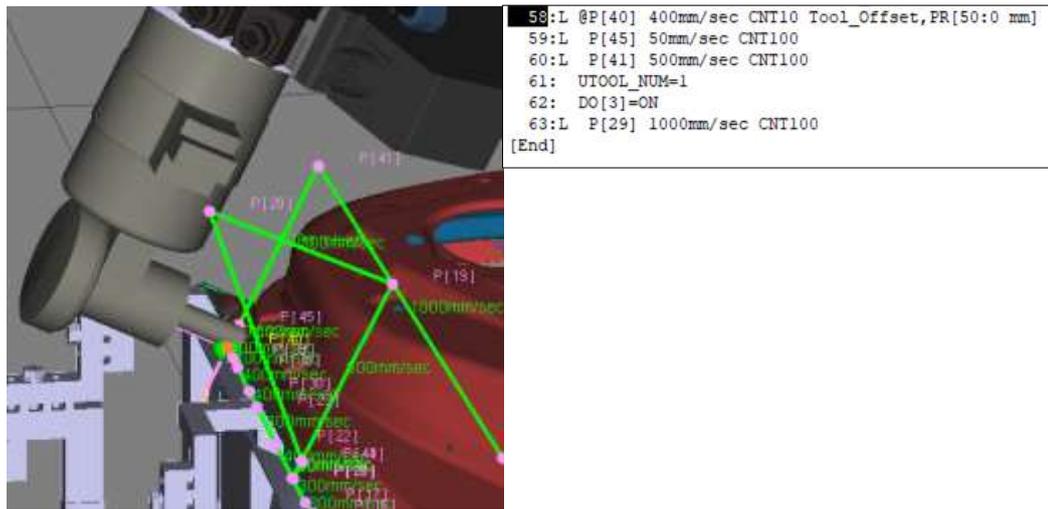


Figura 347. Robot A, finalización del proceso y envío de señal a los otros dos robots

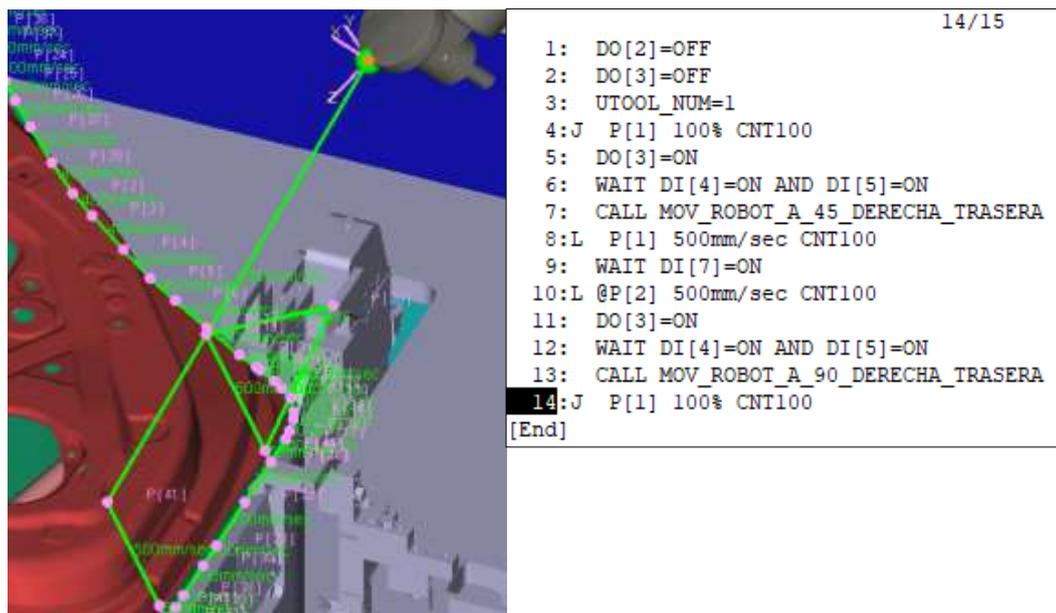


Figura 348. Robot A, vuelta a la posición inicial

6.4.2. Robot B

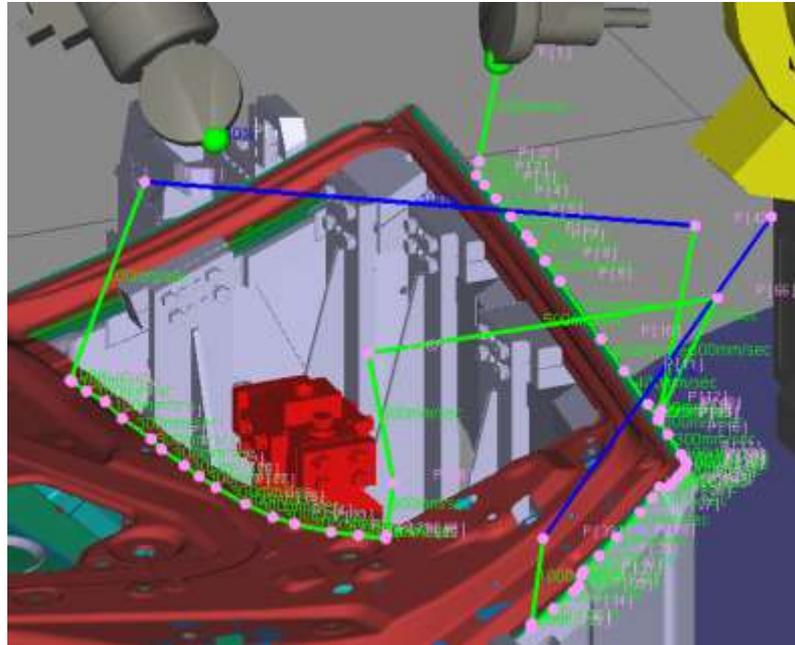


Figura 349. Robot B, engrapado a 45°

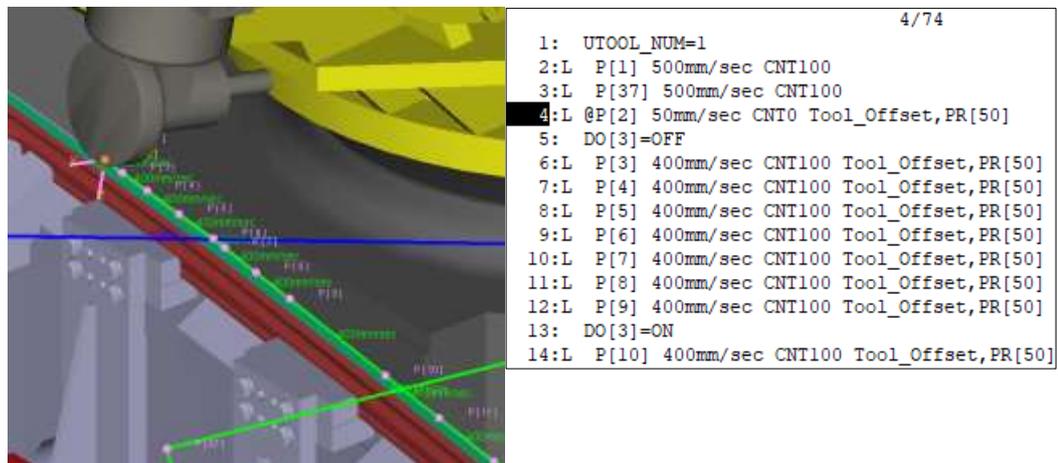


Figura 350. Robot B, aproximación a la pieza y posterior envío de señal al robot C

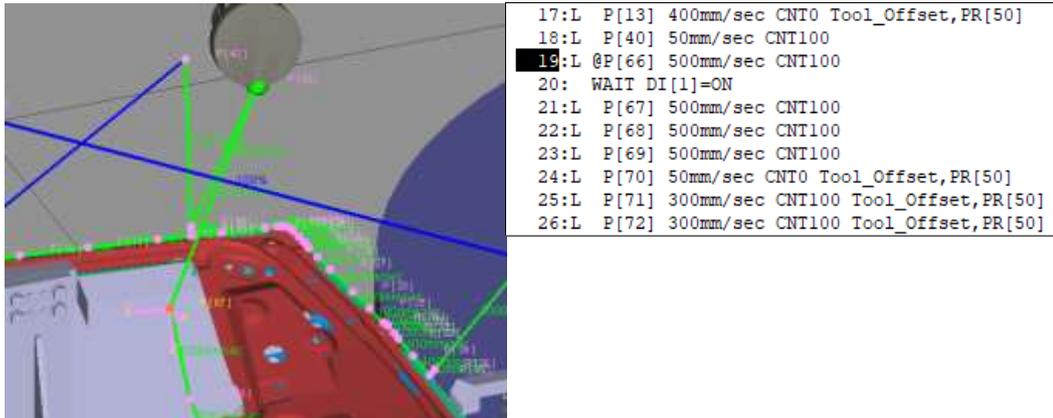


Figura 351. Robot B en espera a la señal del robot A



Figura 352. Aproximación a la zona interior de la pieza

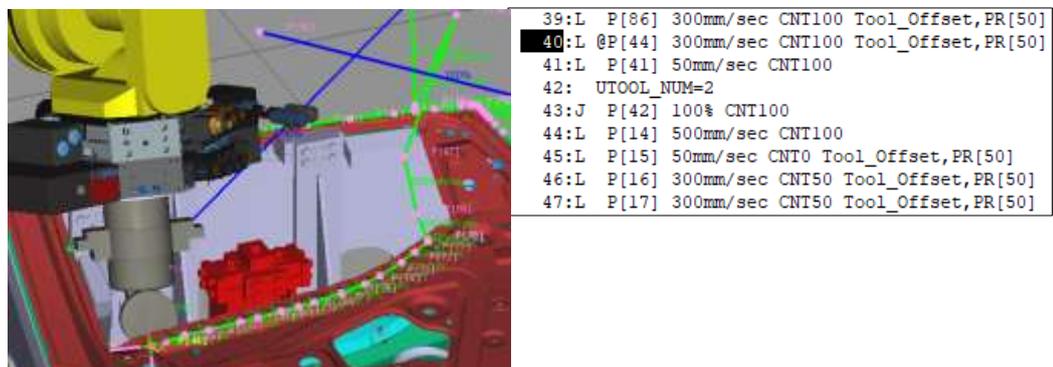


Figura 353. Robot B, Finalización engrapado zona interior

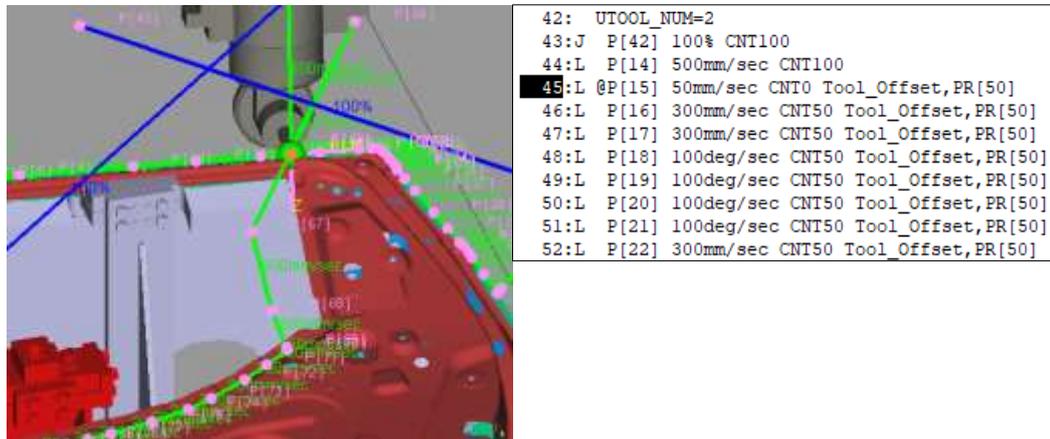


Figura 354. Robot B, cambio de roldana

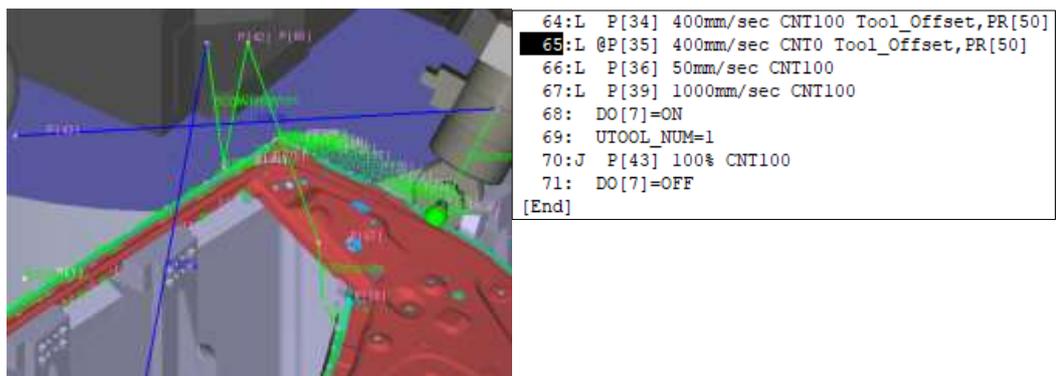


Figura 355. Robot B, fin del engrapado de 45° y envío de señal al robot A

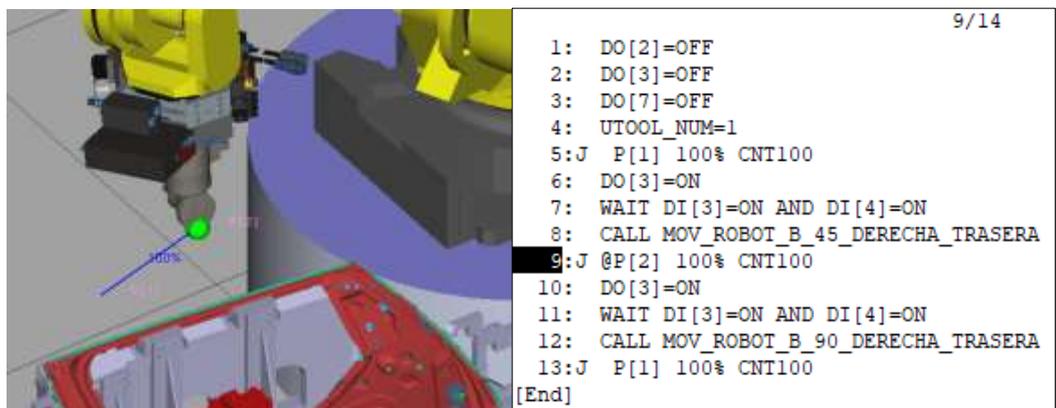


Figura 356. Robot B, en espera a la finalización de los otros robots

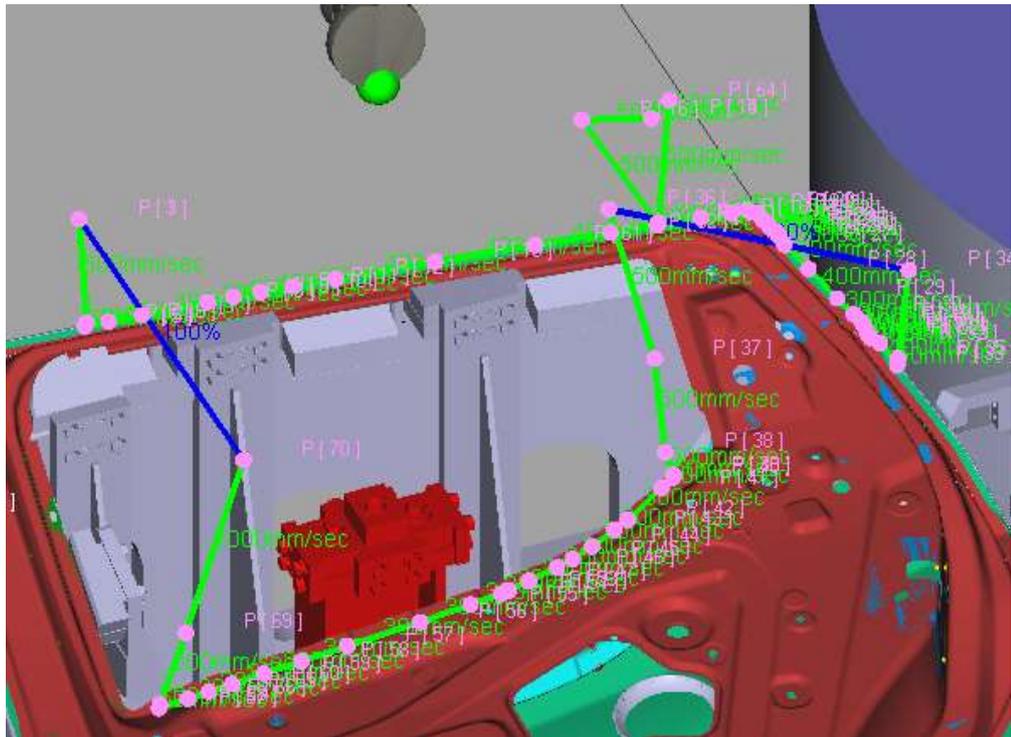


Figura 357. Robot B, engrapado a 90°

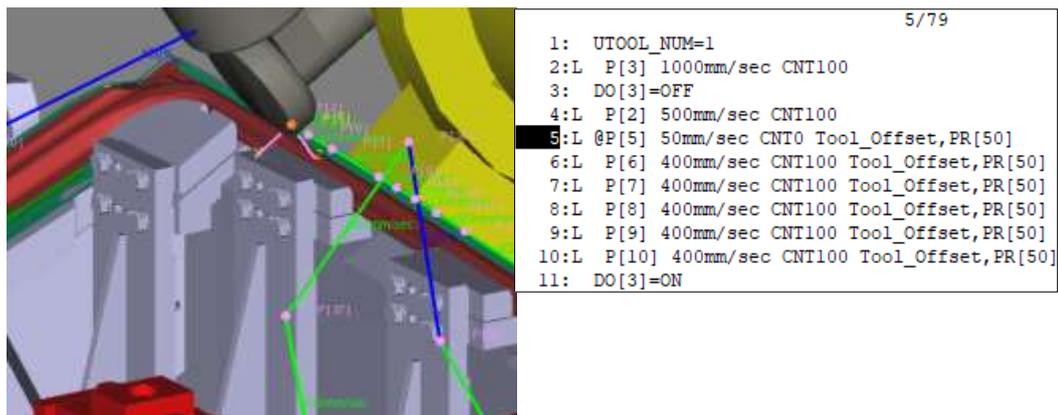


Figura 358. Robot B, aproximación a la pieza y posterior envío de señal al robot

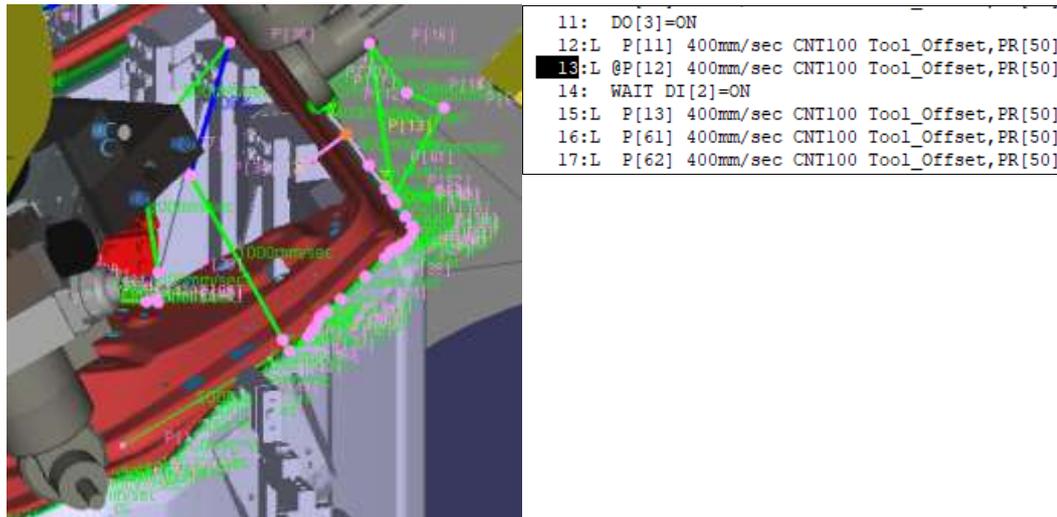


Figura 359. Robot B en espera a que el robot A le envíe señal de movimiento



Figura 360. Robot B, cambio de roldana

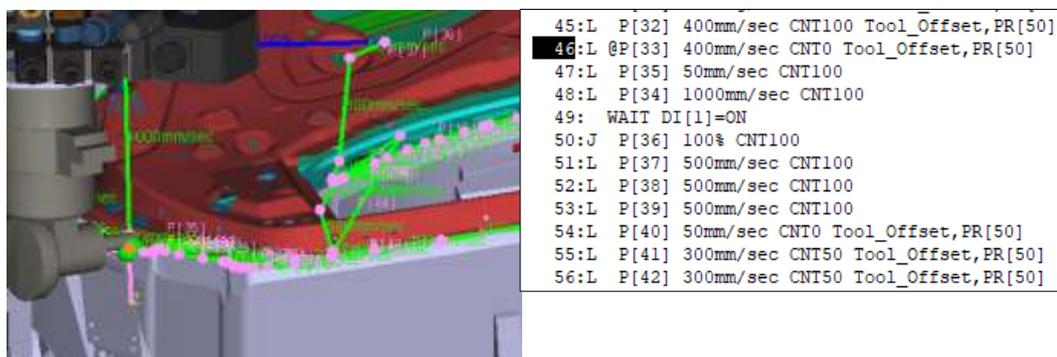


Figura 361. Robot B, finalización engrapado lateral

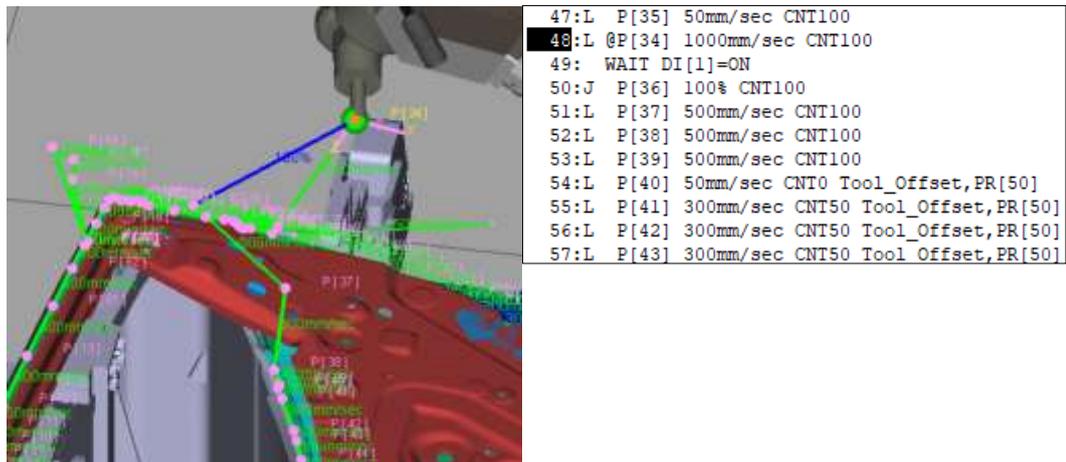


Figura 362. Robot B finalización engrapado lateral



Figura 363. Robot B, engrapado parte interior a 90°

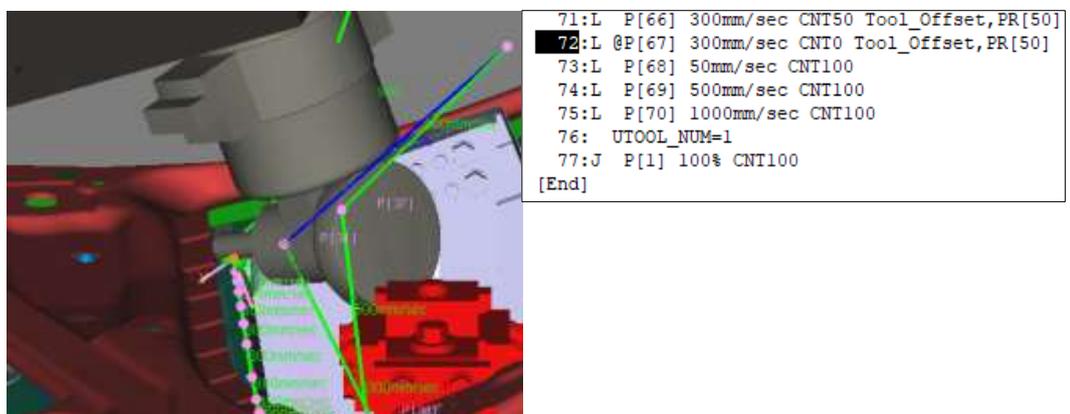


Figura 364. Robot B finalización engrapado zona interior

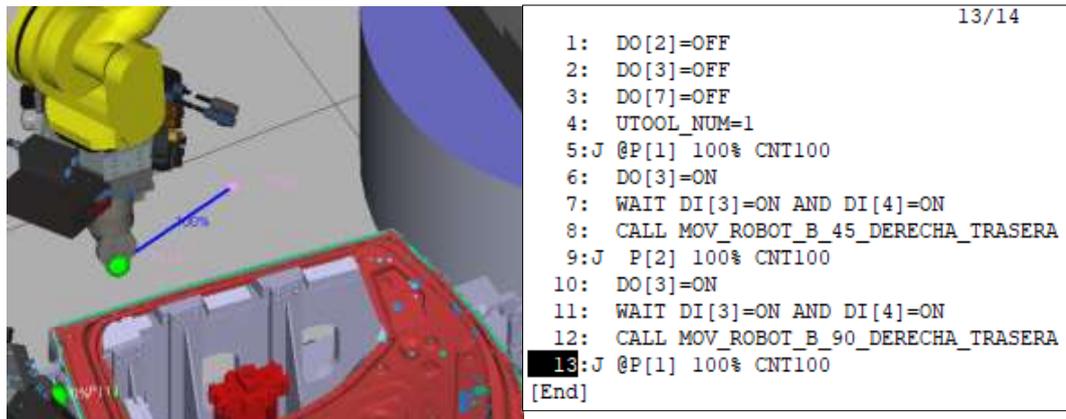


Figura 365. Robot B vuelta a la posición inicial

6.4.3. Robot C

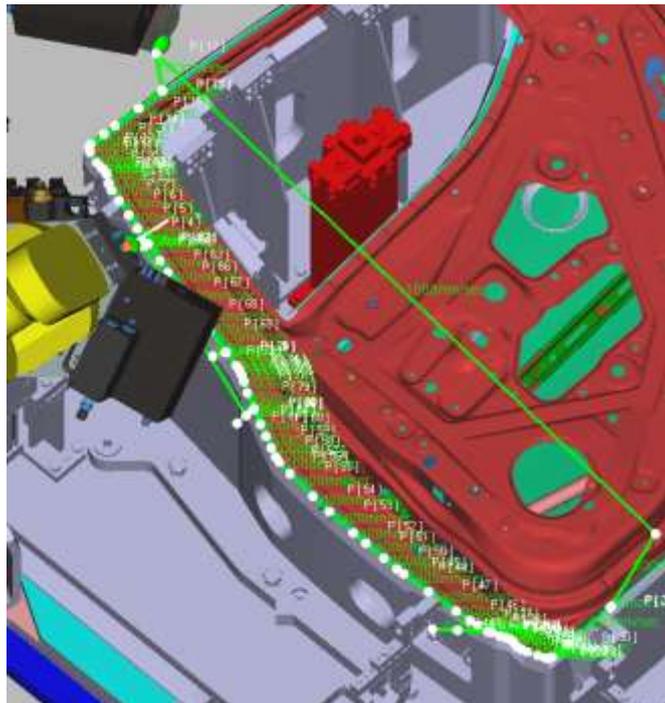


Figura 366. Robot C, engrapado a 45°

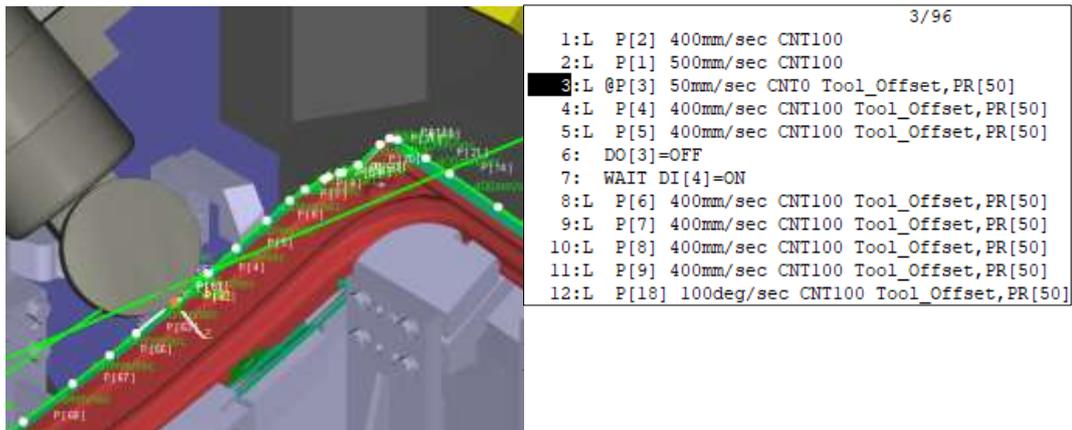


Figura 367. Robot C, aproximación a la pieza y espera posterior a la señal del robot B

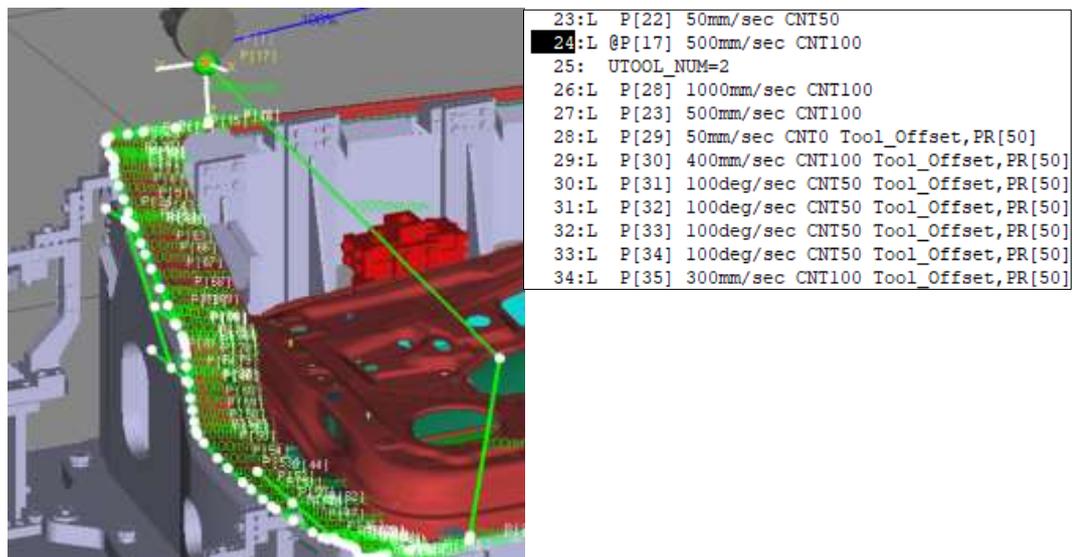


Figura 368. Robot C, cambio de zona de la pieza

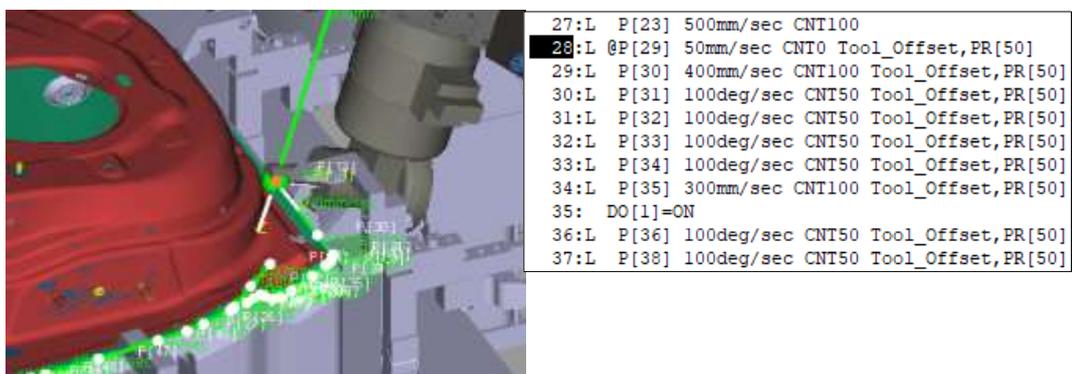


Figura 369. Robot C, aproximación a la zona inferior cambiando la roldana

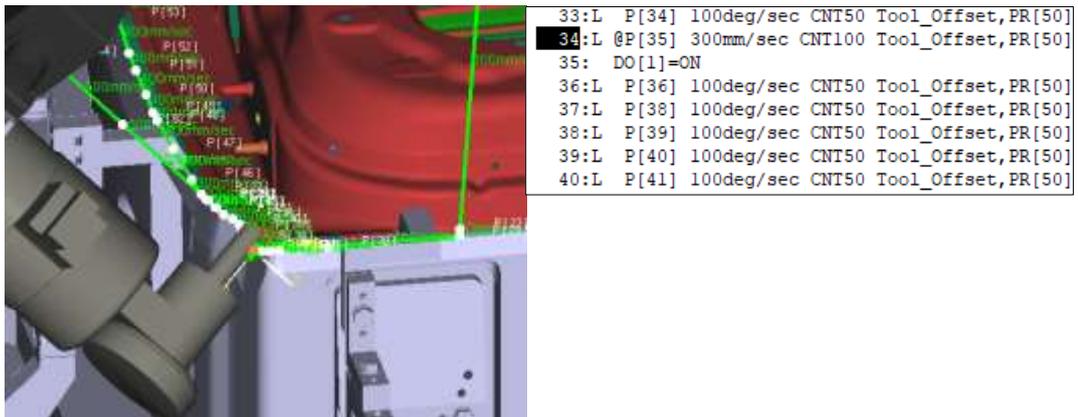


Figura 370. Robot C envía señal de movimiento al robot A

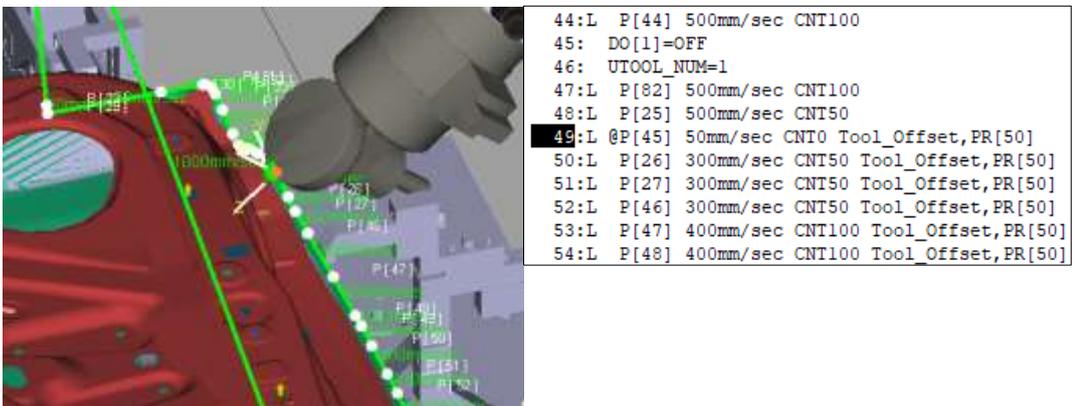


Figura 371. Robot C, cambio de roldana

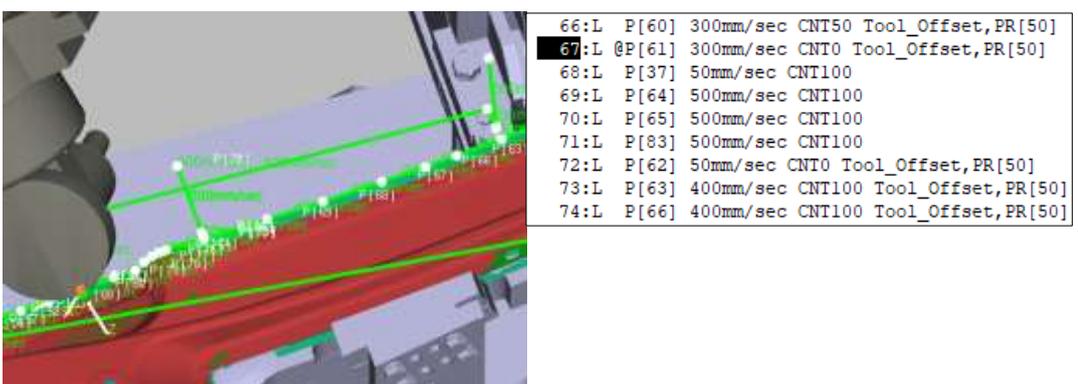


Figura 372. Robot C, salto de la esquina [1]

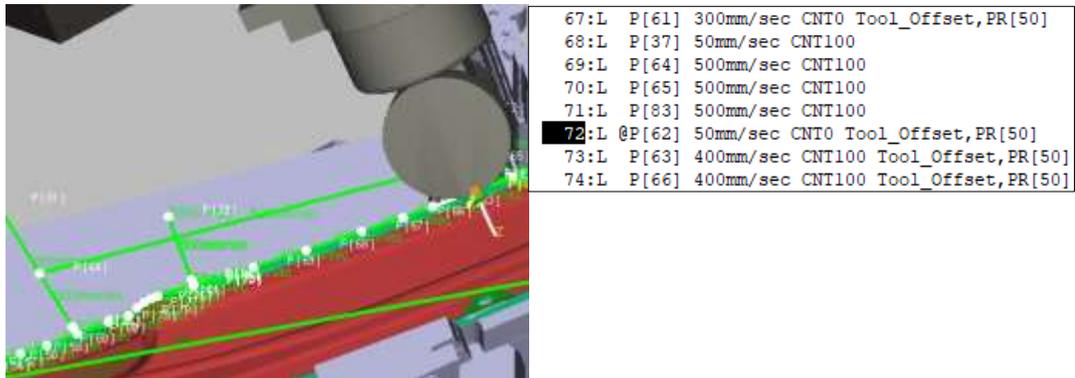


Figura 373. Robot C, salto de la esquina [2]

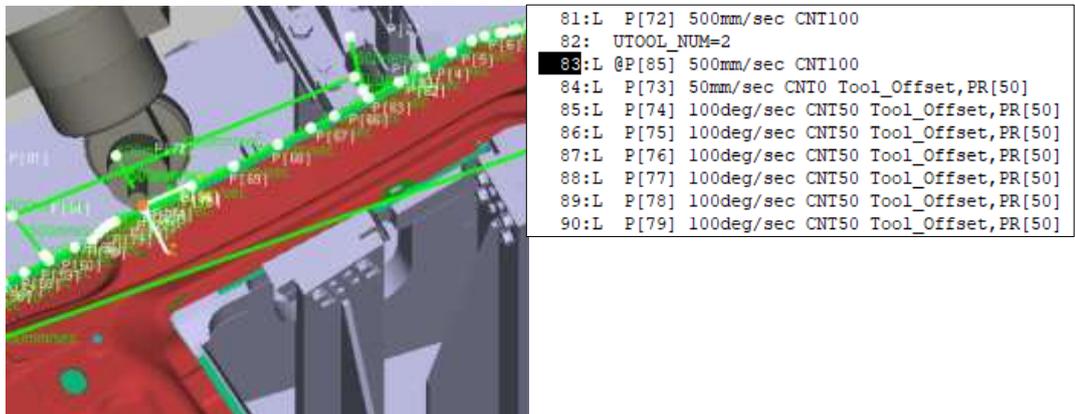


Figura 374. Robot C, cambio de roldana



Figura 375. Robot C, finalización pasada a 45°

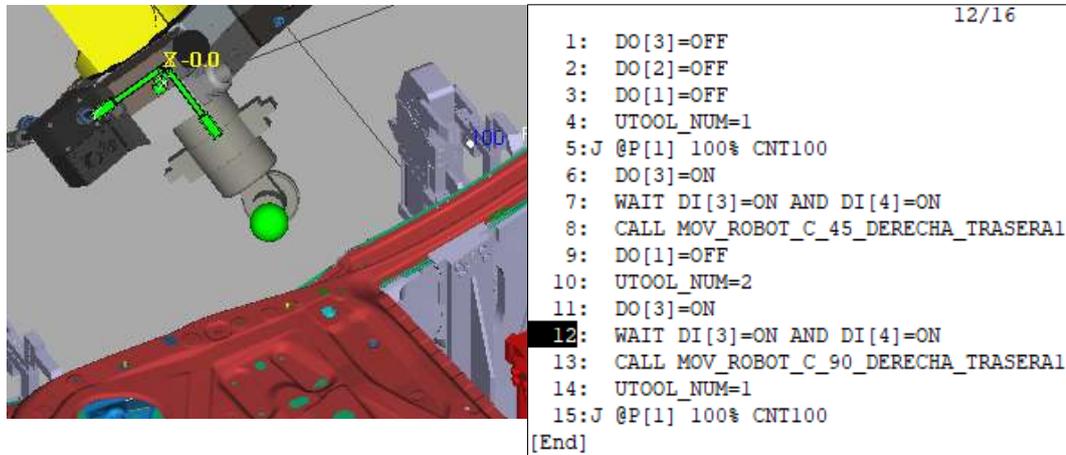


Figura 376. Robot C en espera a la finalización de los otros dos robots

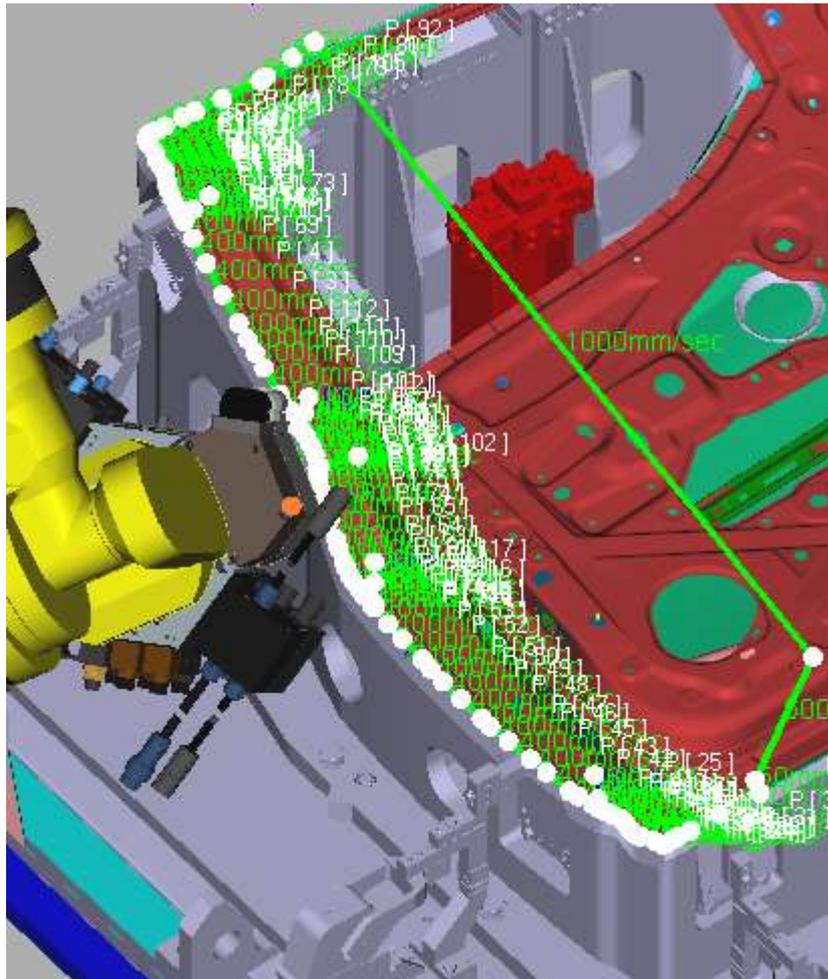


Figura 377. Robot C, engrapado a 90°

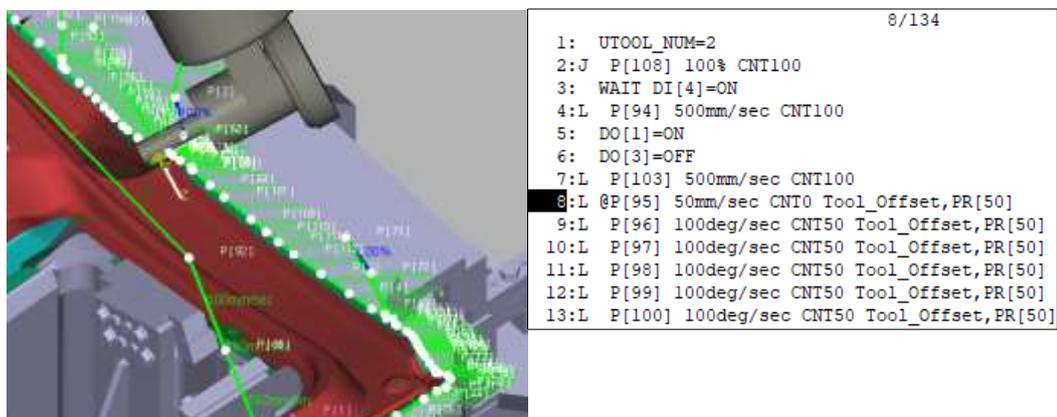


Figura 378. Robot C, espera a recibir la señal del robot B y aproximación a la pieza.



Figura 379. Robot C, cambio a la roldana grande

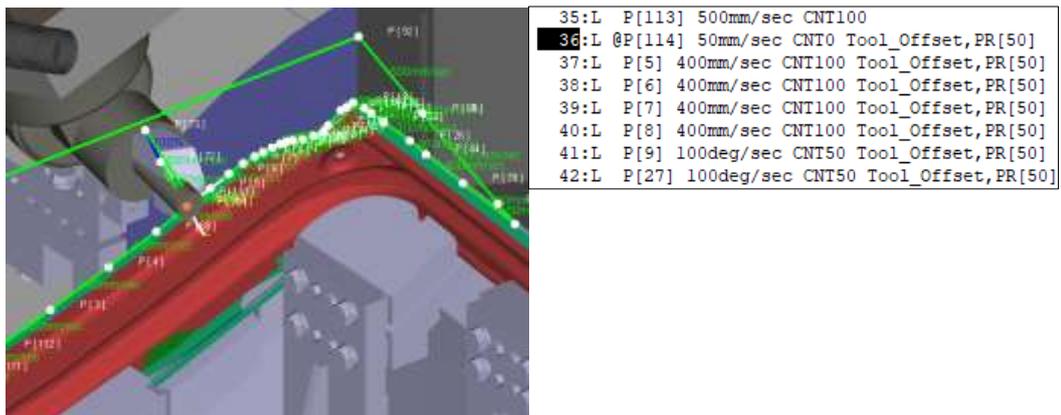


Figura 380. Robot C, cambio a la roldana pequeña

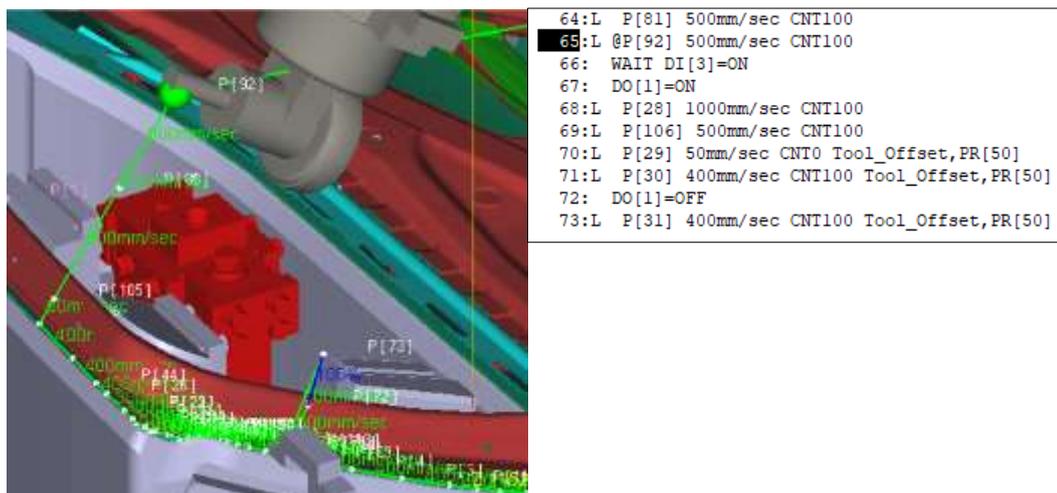


Figura 381. Robot C en espera de la señal del robot A y envío posterior de la señal al robot B

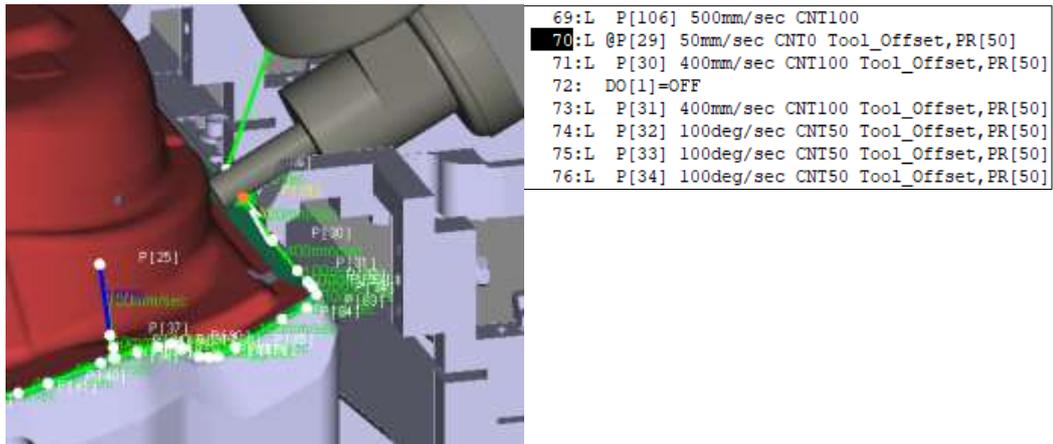


Figura 383. Robot C, cambio de roldana grande



Figura 382. Robot C aproximación a la zona inferior



Figura 384. Robot C, cambio a roldana pequeña

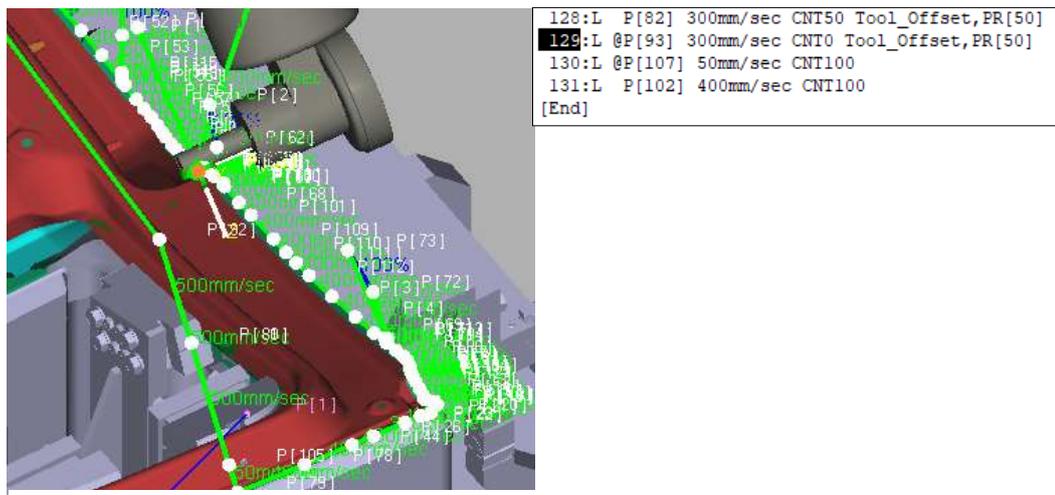


Figura 385. Robot C, finalización engrapado 90°

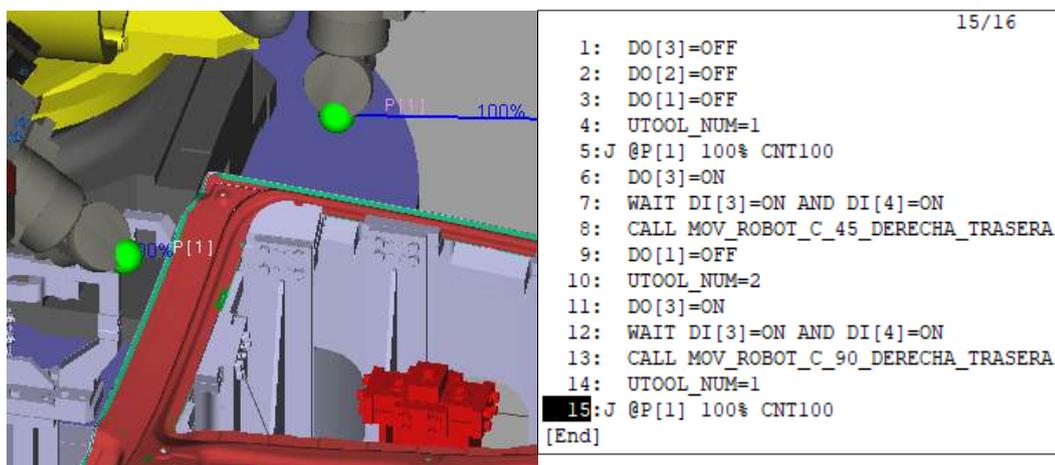


Figura 386. Robot C, vuelta a la zona inicial

6.5. Quinta pieza

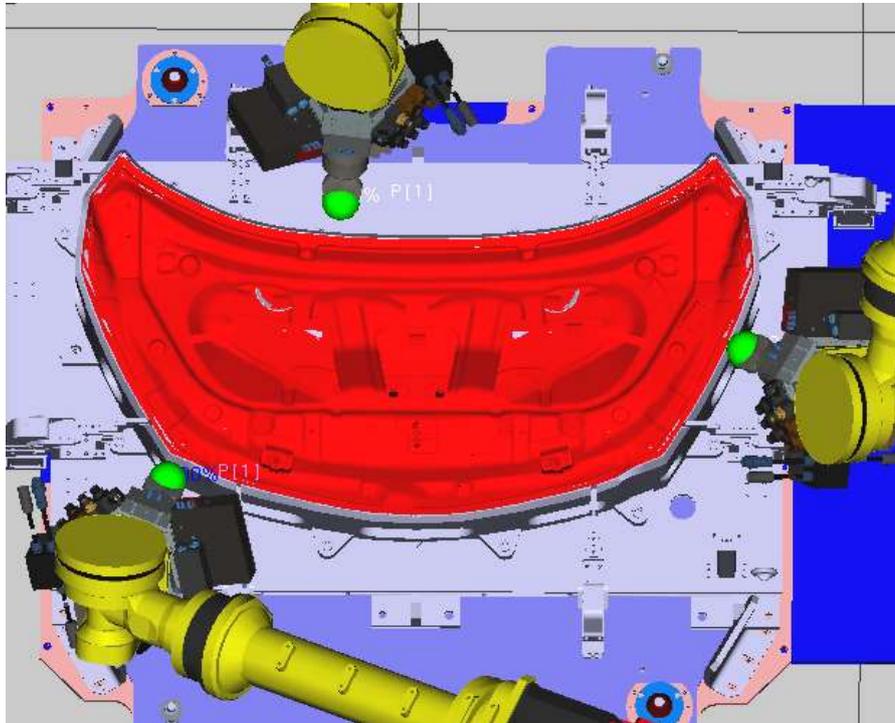


Figura 387. Pieza 4, robots en posiciones iniciales

6.5.1. Robot A

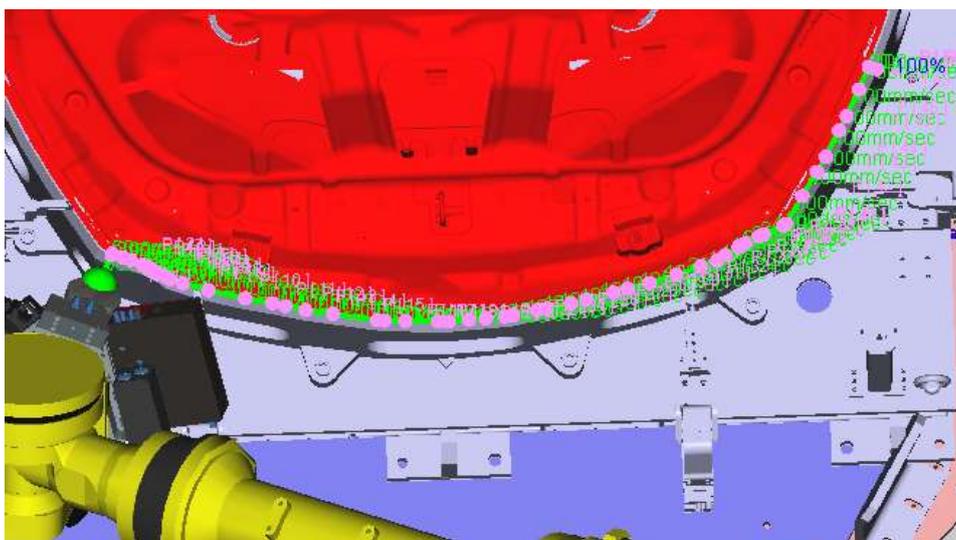


Figura 388. Robot A, engrapado 45°

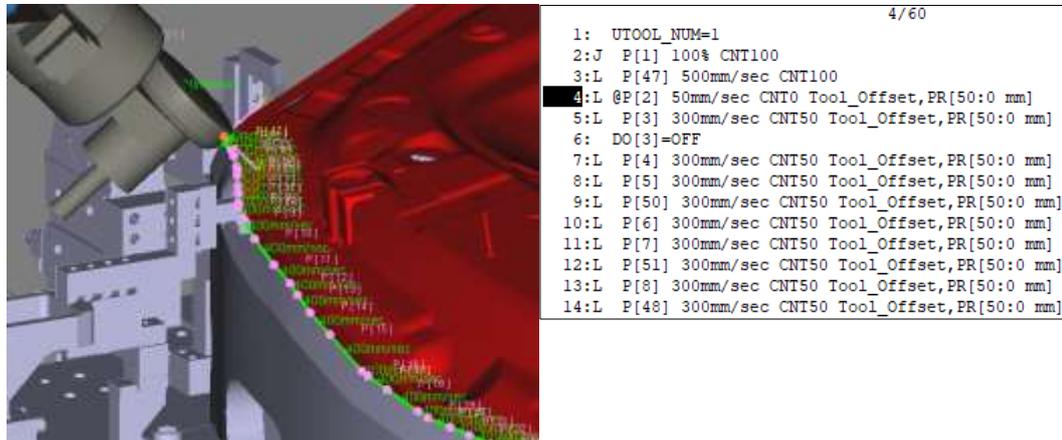


Figura 389. Robot A, aproximación a la pieza

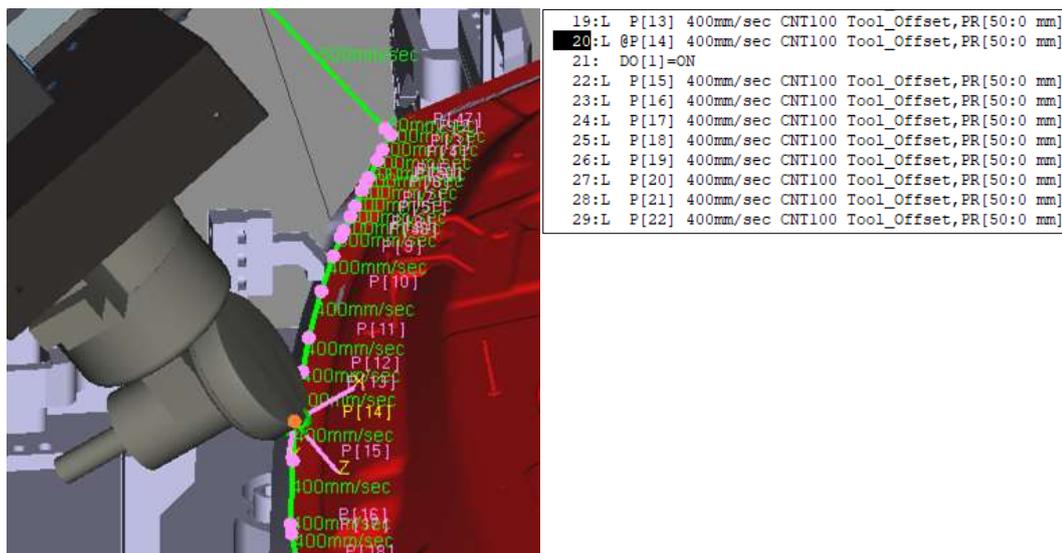


Figura 390. Robot A envía la señal de movimiento al robot C

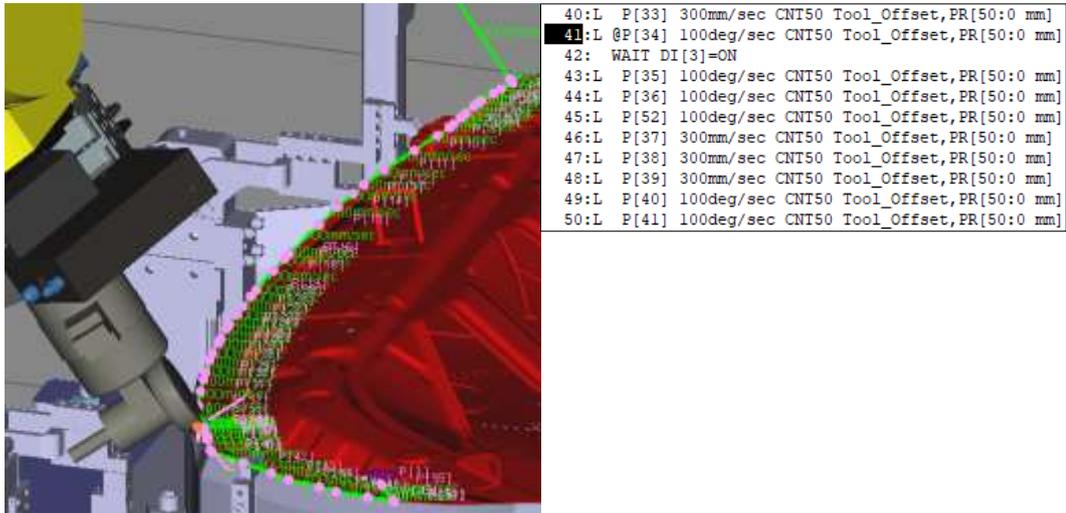


Figura 392. Robot A a la espera de señal de B



Figura 391. Robot A, finalización pasada a 45°

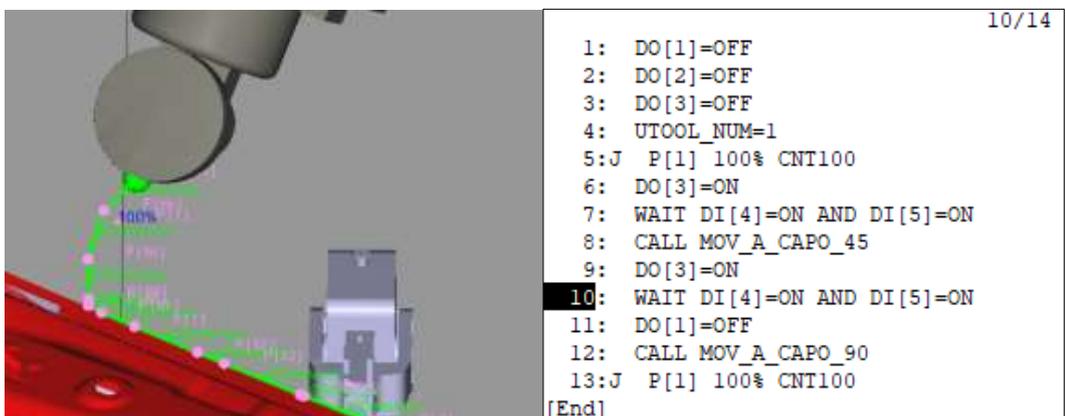


Figura 393. Robot A en espera a la finalización de los otros dos robots

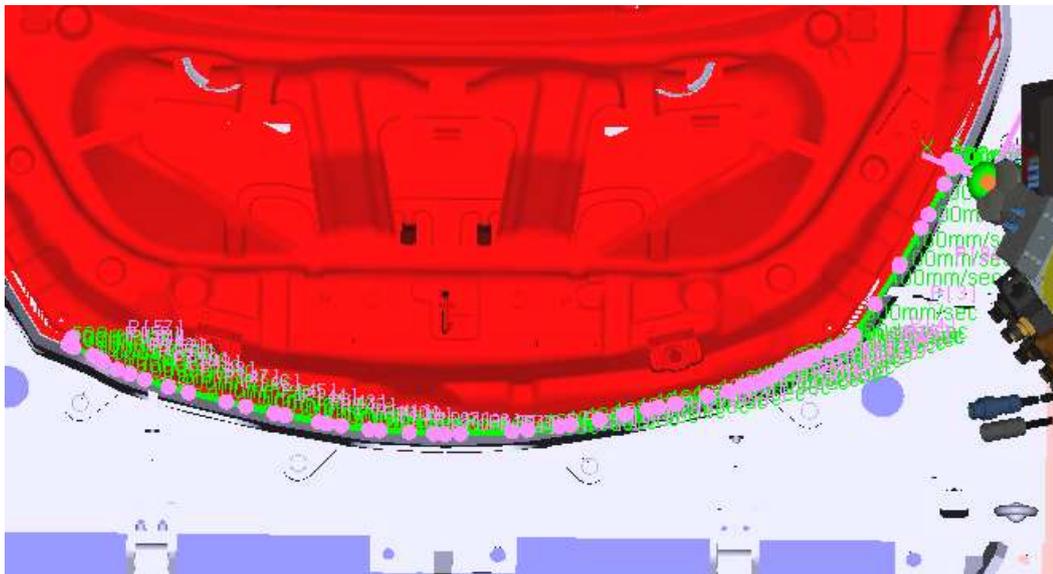


Figura 394. Robot A, engrapado 90°

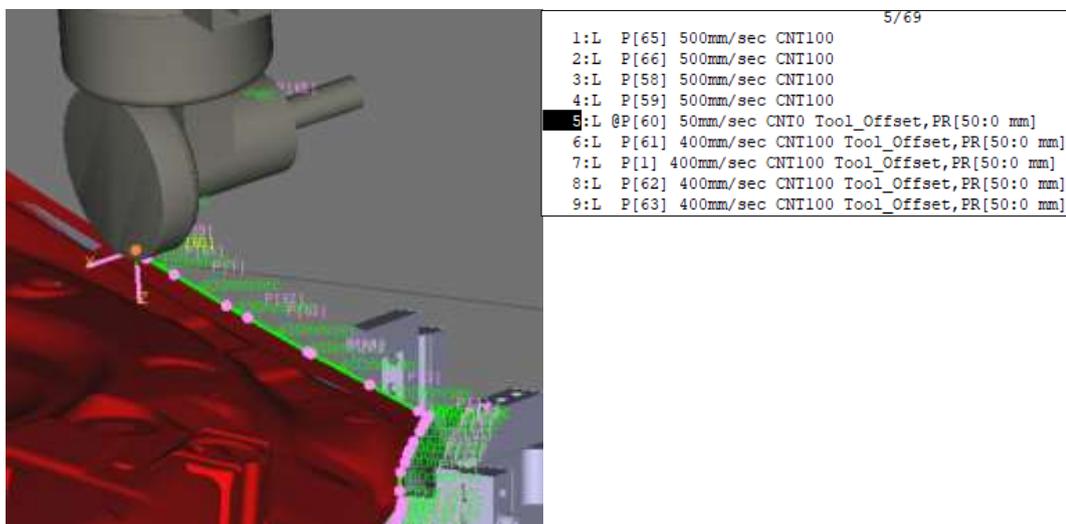


Figura 395. Robot A, aproximación a la pieza

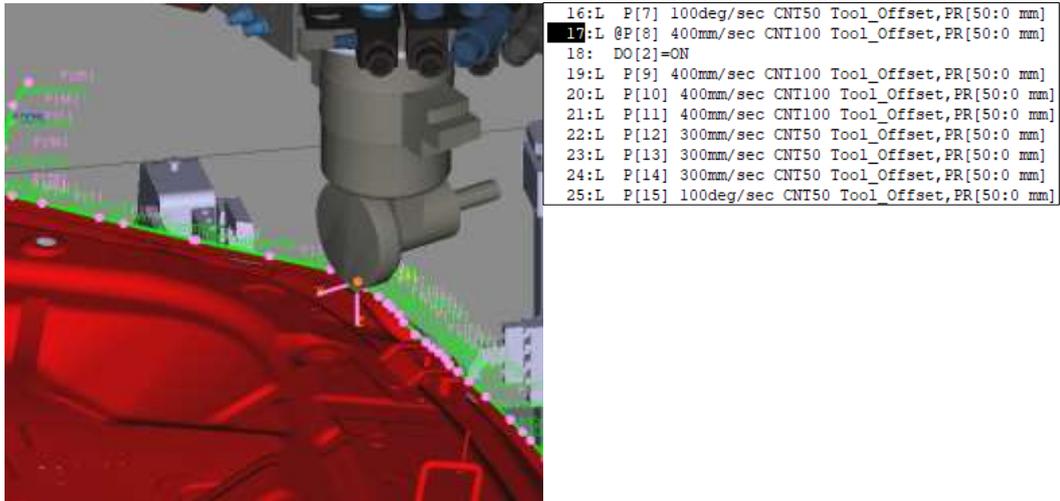


Figura 396. Robot A envía señal de movimiento al robot B

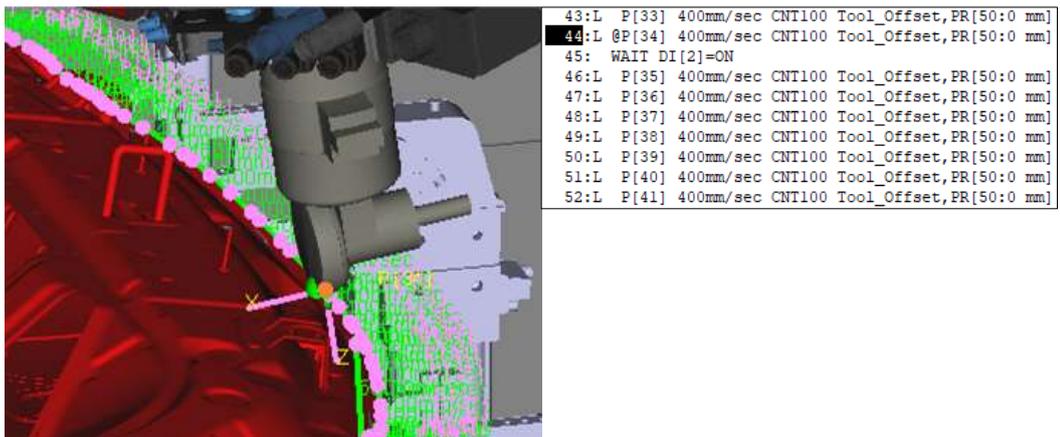


Figura 397. Robot A a la espera de la señal de C

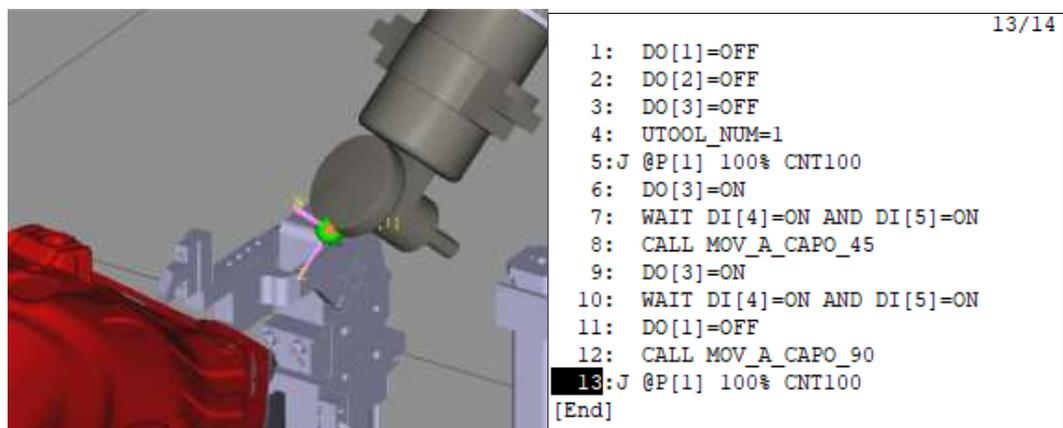


Figura 398. Robot A finalización pasada a 90°

6.5.2. Robot B

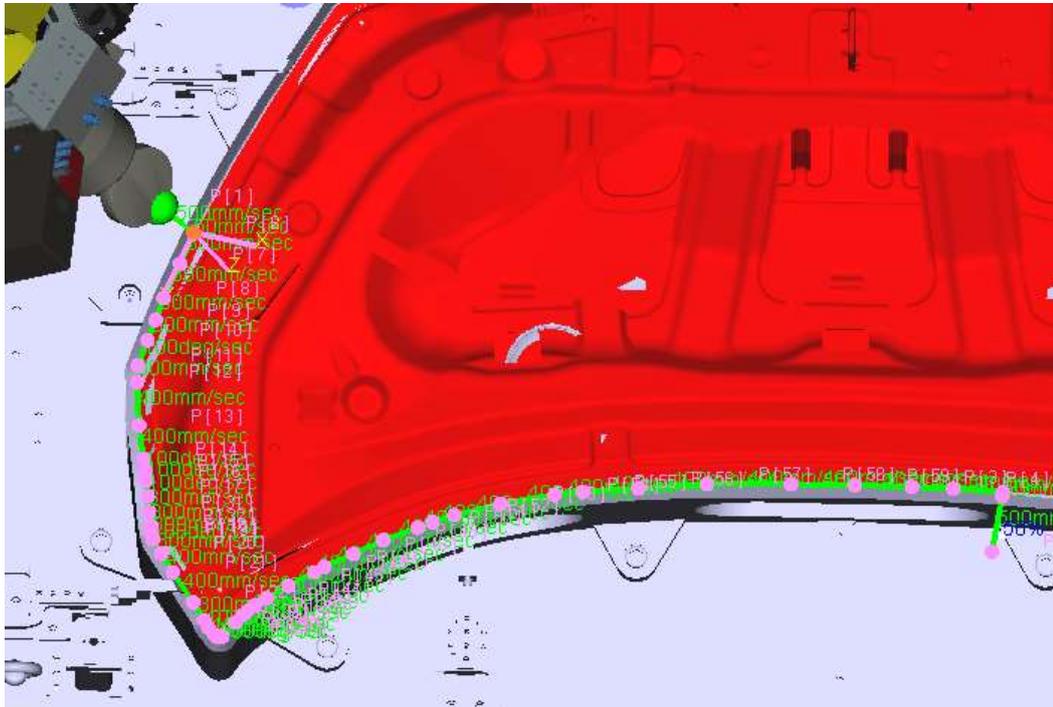


Figura 399. Robot B, engrapado a 45°

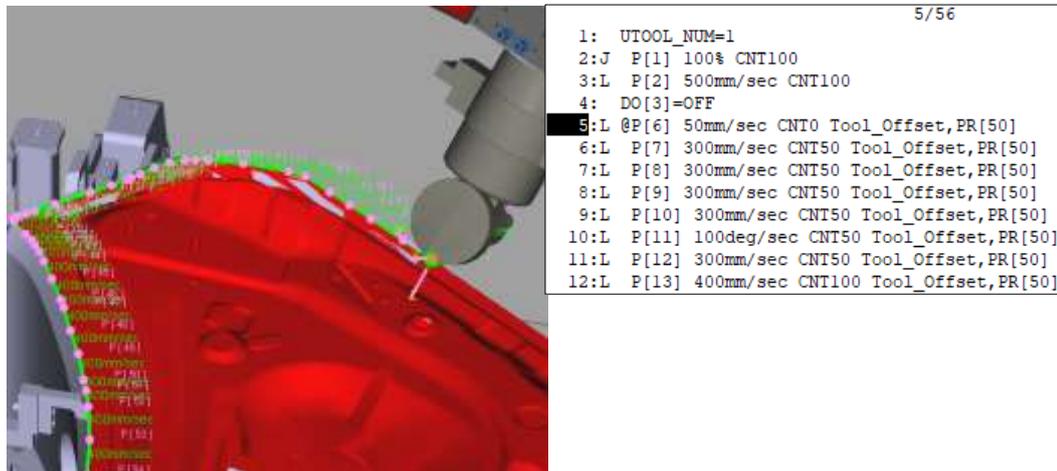


Figura 400. Robot B, aproximación a la pieza

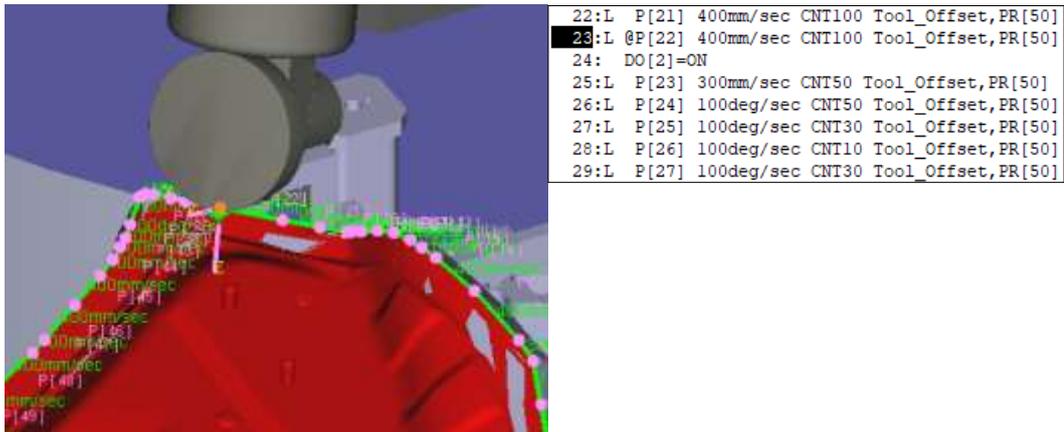


Figura 401. Robot B, envío de señal de movimiento al robot A

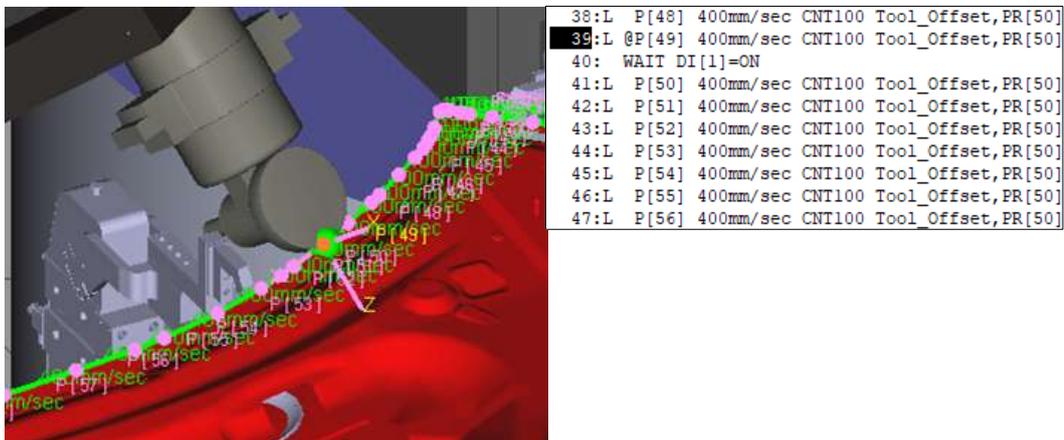


Figura 402. Robot B, en espera a la señal de C

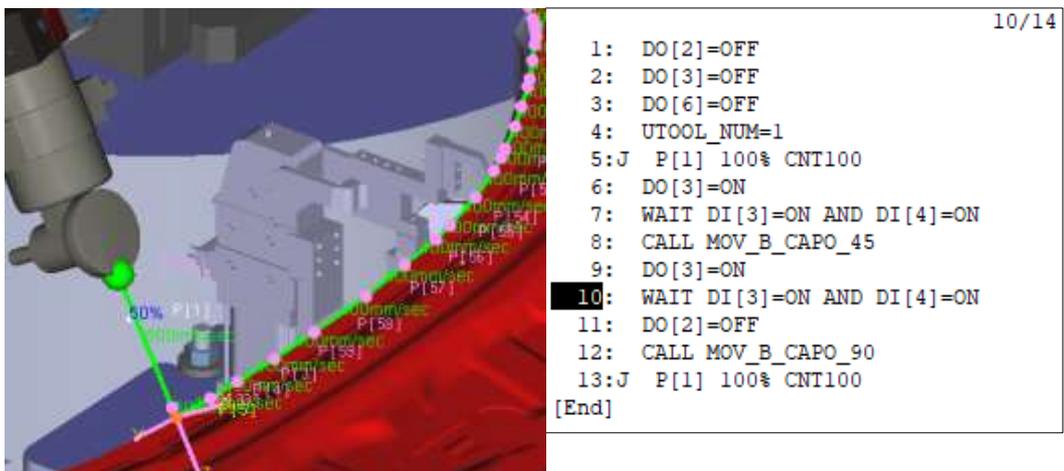


Figura 403. Robot B, finalización engrapado a 45°

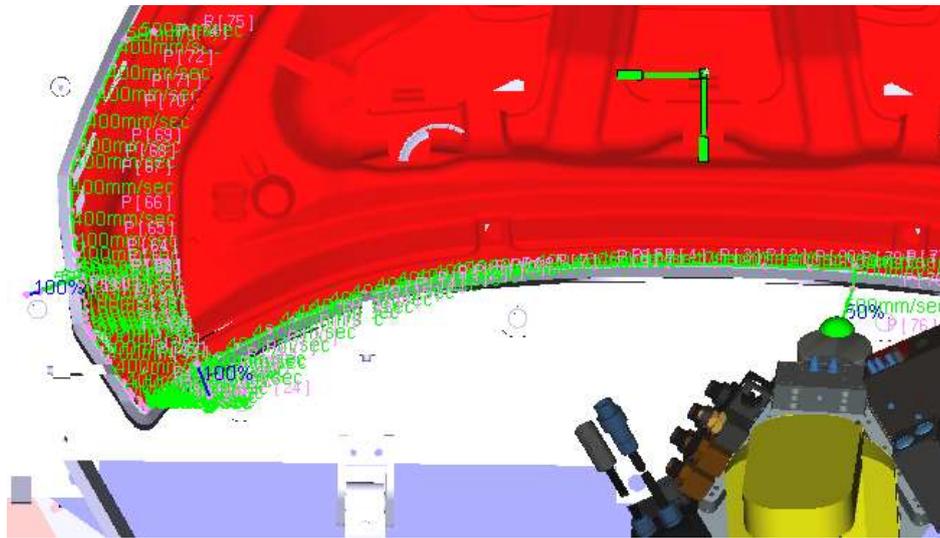


Figura 404. Robot B, engrapado a 90°

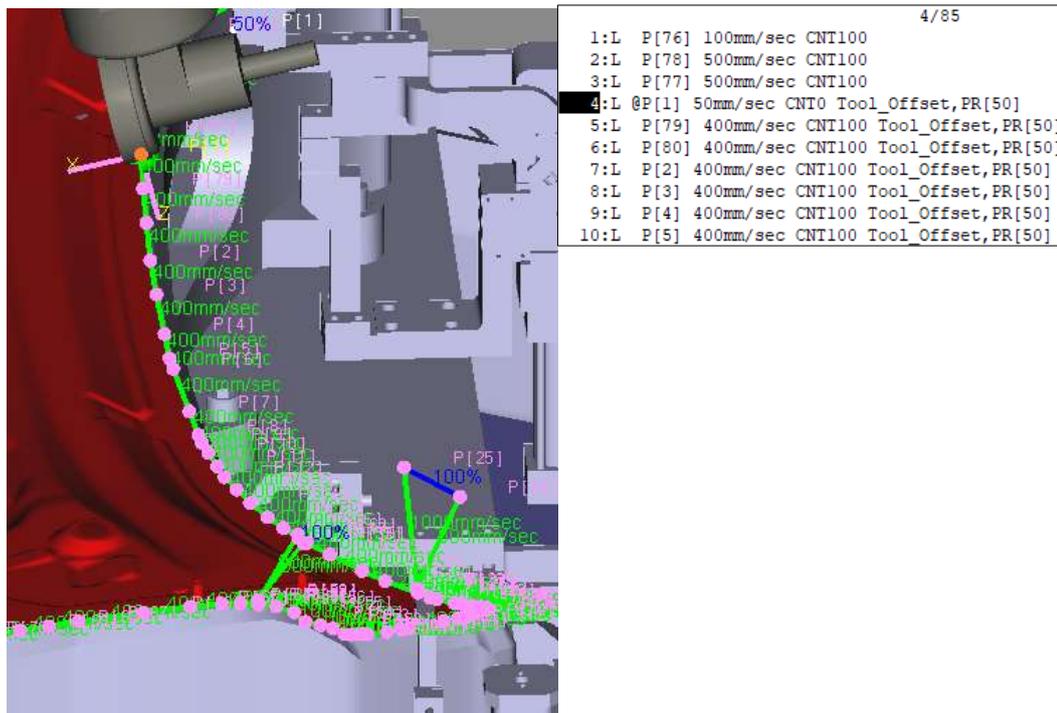
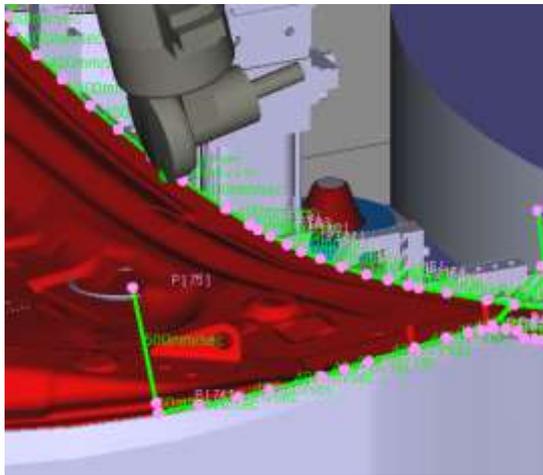
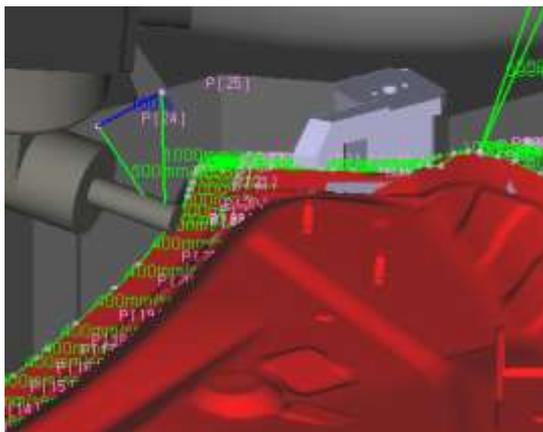


Figura 405. Robot B, aproximación a la pieza



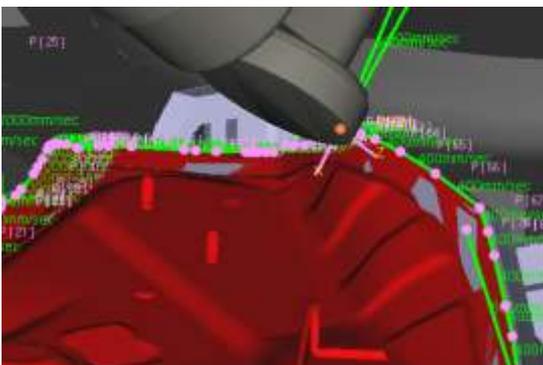
```
9:L P[4] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
10:L @P[5] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
11: WAIT DI[2]=ON  
12: DO[6]=ON  
13:L P[6] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
14:L P[7] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
15:L P[8] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
16:L P[9] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]
```

Figura 406. Robot B espera de la señal de A y envío de la señal de C



```
29:L P[22] 400mm/sec CNT0 Tool_Offset,PR[50]  
30:L P[23] 50mm/sec CNT100  
31:L P[24] 500mm/sec CNT100  
32: UTOOL_NUM=2  
33:J P[25] 100% CNT100  
34:L P[27] 1000mm/sec CNT100  
35:L @P[26] 50mm/sec CNT0 Tool_Offset,PR[50]  
36:L P[28] 300mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
37:L P[29] 300mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
38:L P[30] 300mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]
```

Figura 407. Robot B, cambio a la roldana pequeña



```
65:L P[57] 100mm/sec CNT0 Tool_Offset,PR[50]  
66:L P[58] 50mm/sec CNT100  
67:L P[59] 500mm/sec CNT100  
68: UTOOL_NUM=1  
69:J P[60] 100% CNT100  
70:L @P[62] 500mm/sec CNT100  
71:L P[61] 50mm/sec CNT0 Tool_Offset,PR[50]  
72:L P[63] 400mm/sec CNT150 Tool_Offset,PR[50]  
73:L P[64] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]  
74:L P[65] 400mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[50]
```

Figura 408. Robot B, cambio a la roldana grande

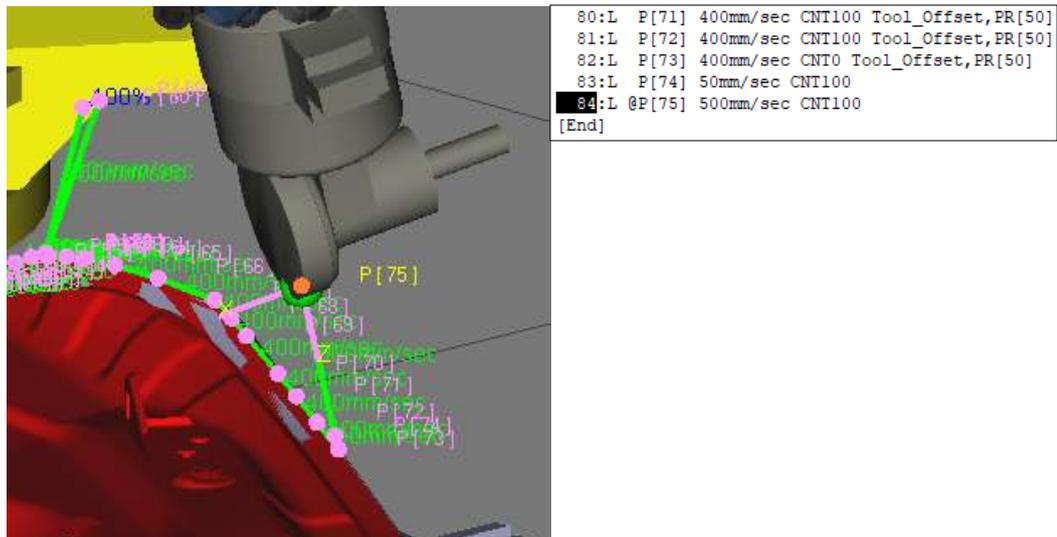


Figura 409. Robot B, cambio a la roldana grande

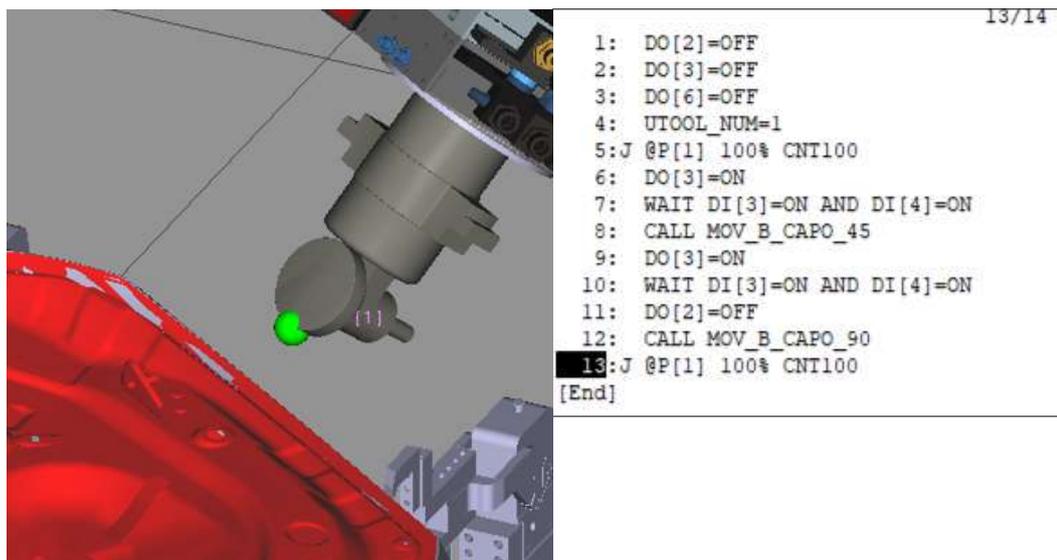


Figura 410. Robot B, finalización engrapado a 90°

6.5.3. Robot C

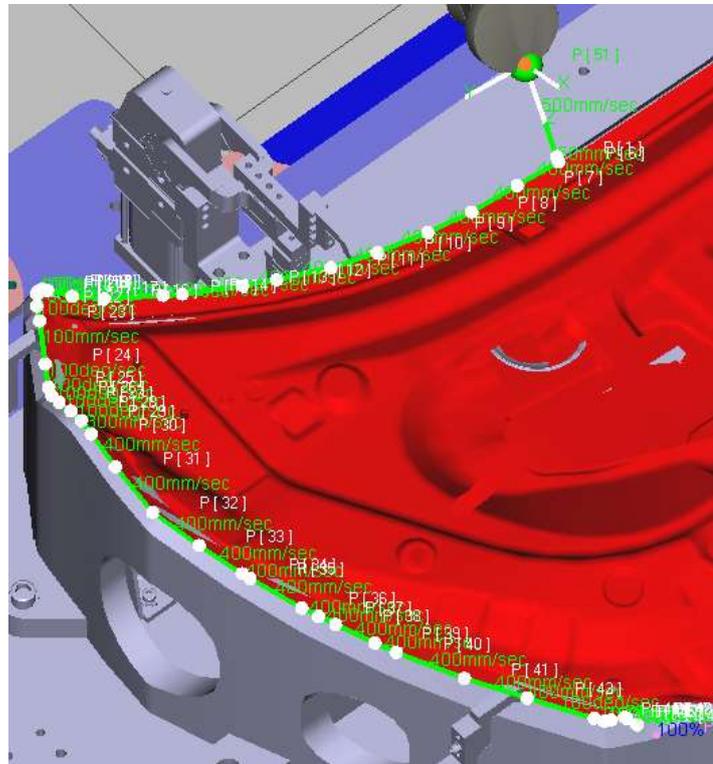


Figura 411. Robot C, engrapado a 45°

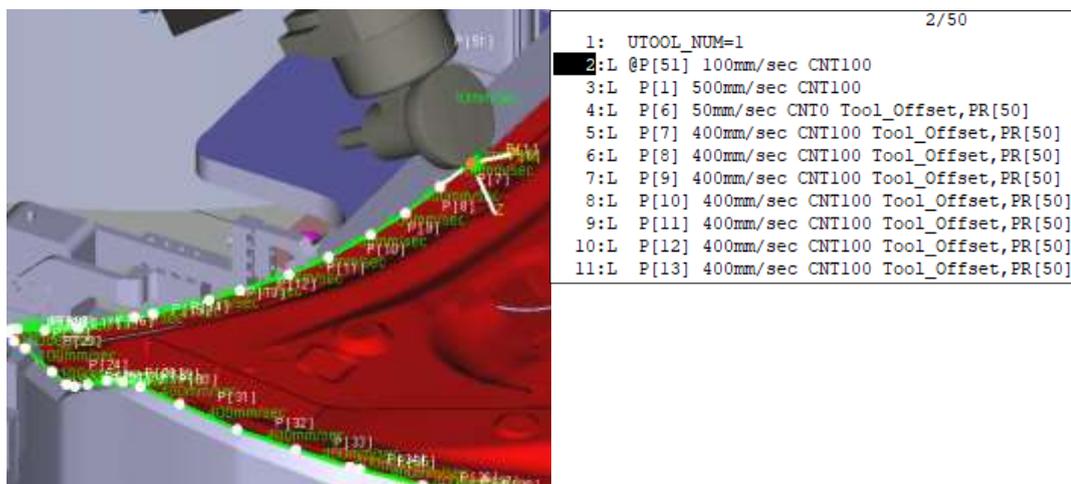


Figura 412. Robot C, aproximación a la pieza

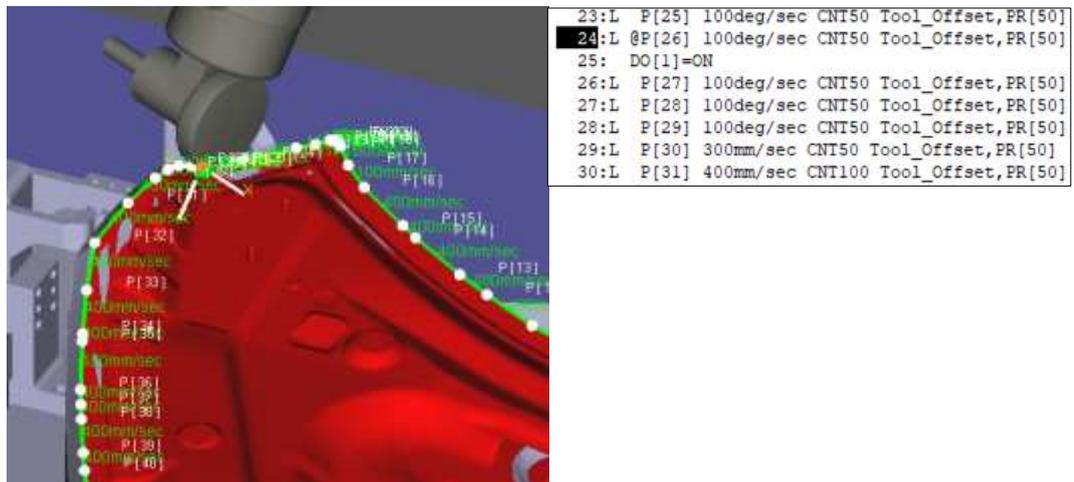


Figura 413. Robot C, envío de señal de movimiento al robot C

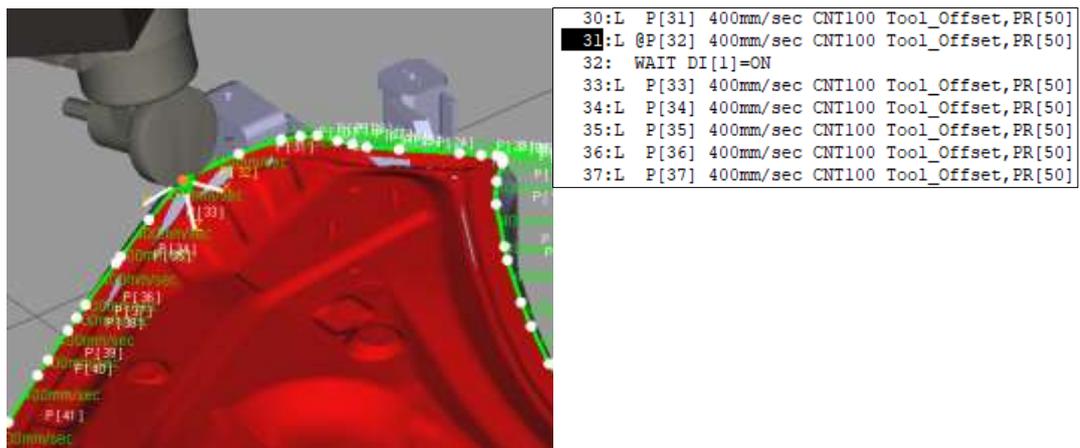


Figura 414. Robot C en espera hasta recibir la señal de movimiento del robot A

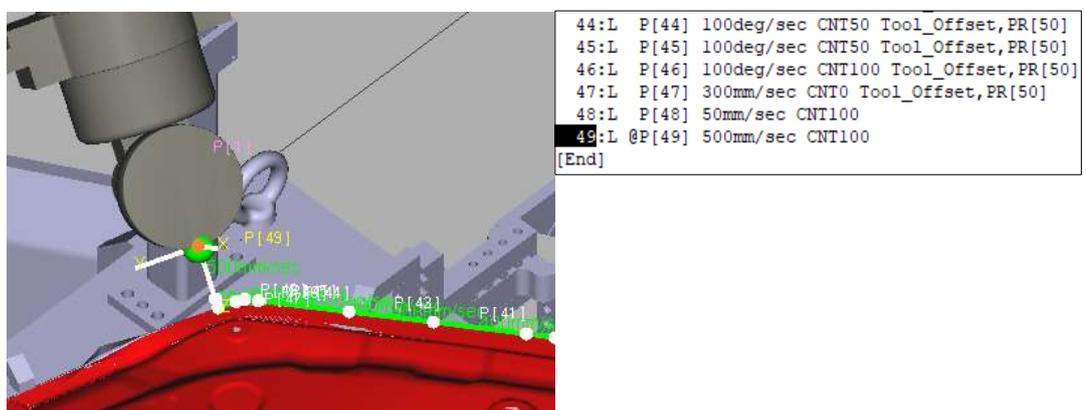


Figura 415. Robot C finalización engrapado a 90°

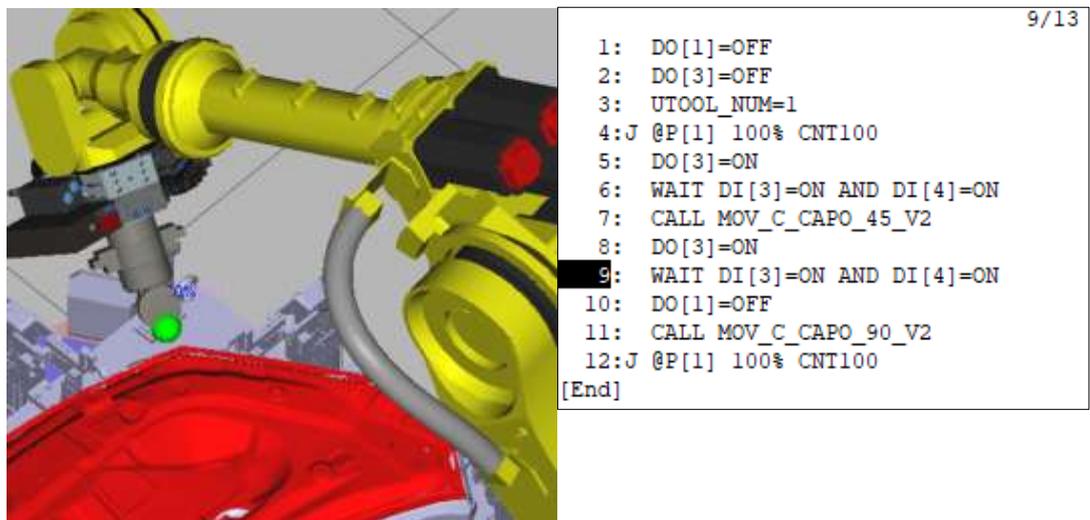


Figura 416. Robot C a la espera de la finalización de los otros robots

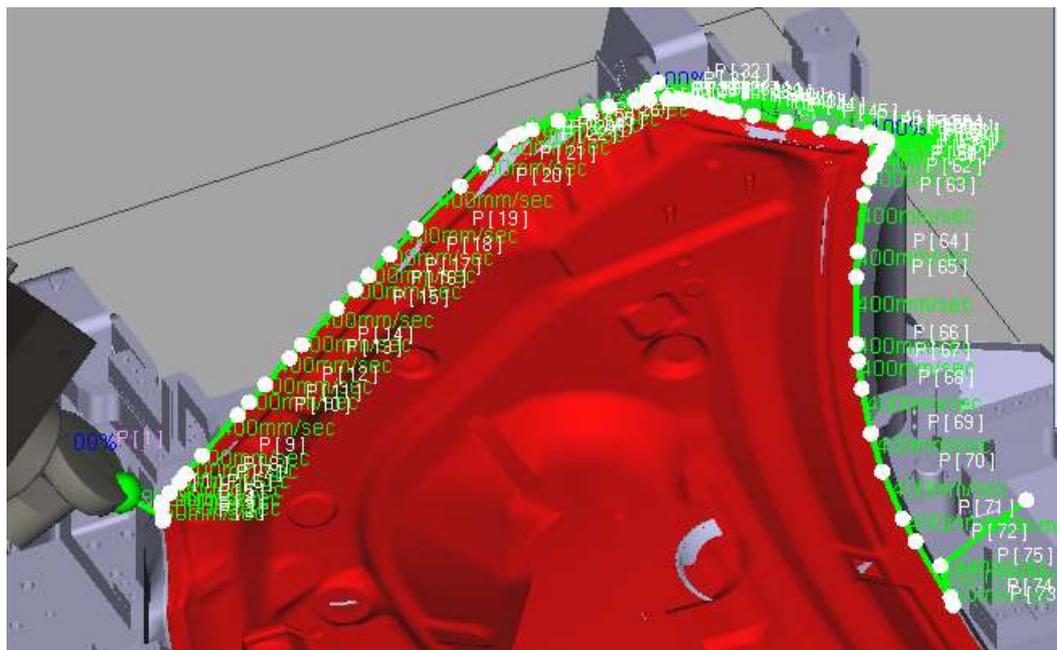


Figura 417. Robot C, engrapado a 90°

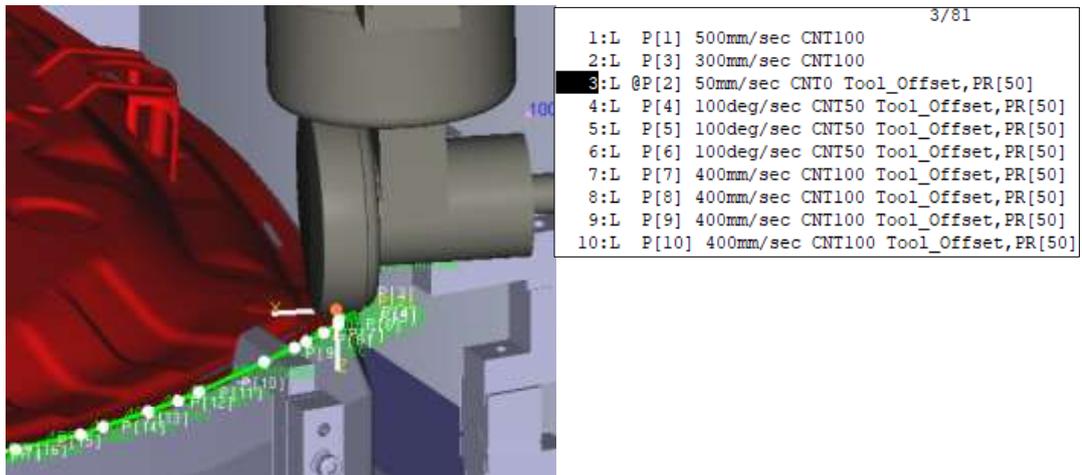


Figura 418. Robot C, aproximación a la pieza

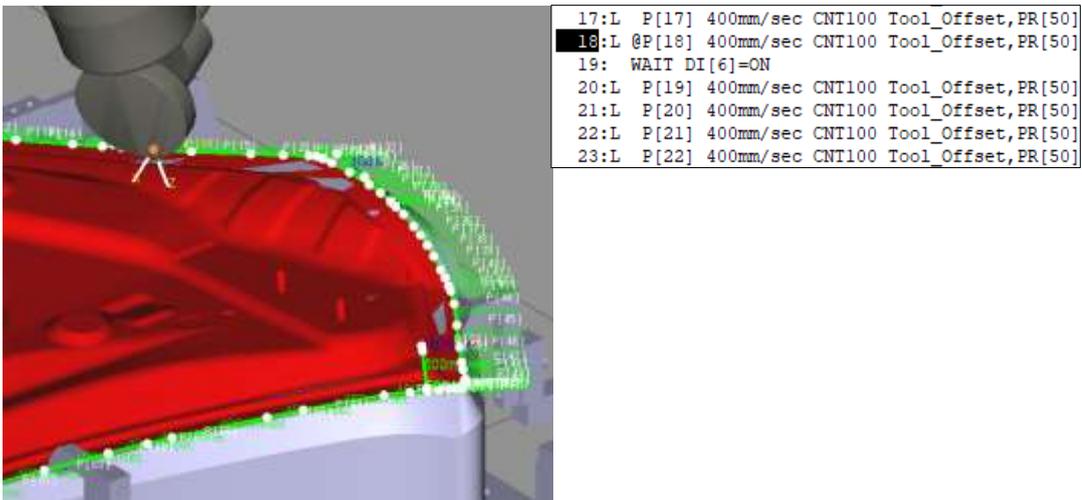


Figura 419. Robot C, a la espera de la señal de movimiento del robot C

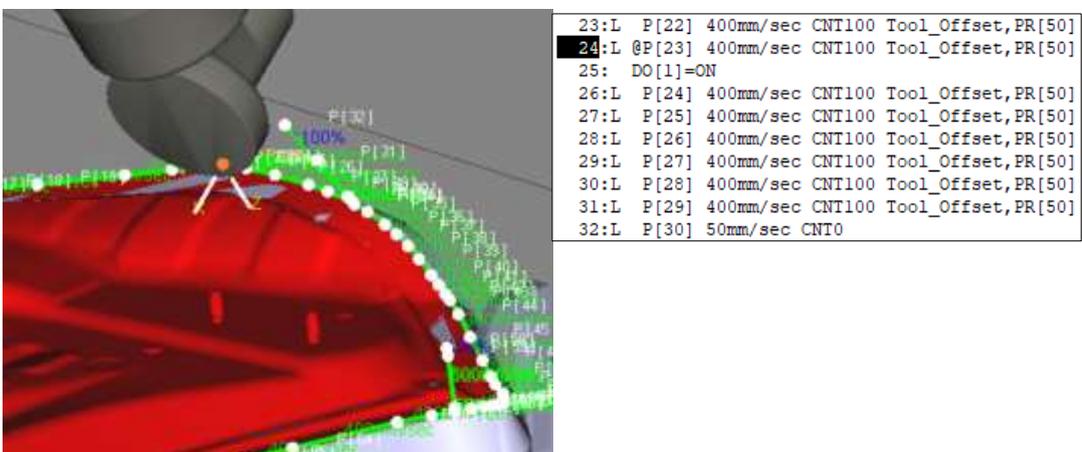


Figura 420. Robot C, envío de la señal de movimiento al robot A

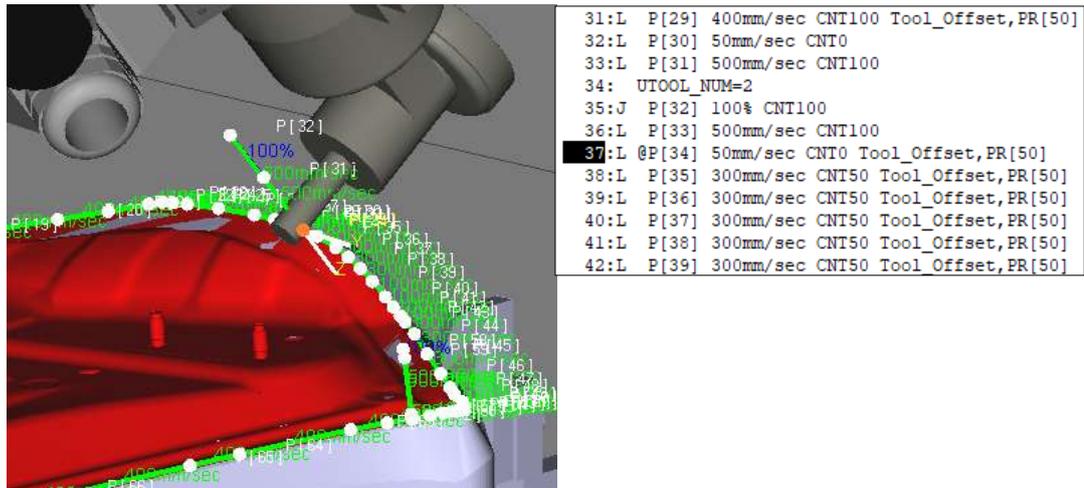


Figura 421. Robot C, cambio a la roldana pequeña

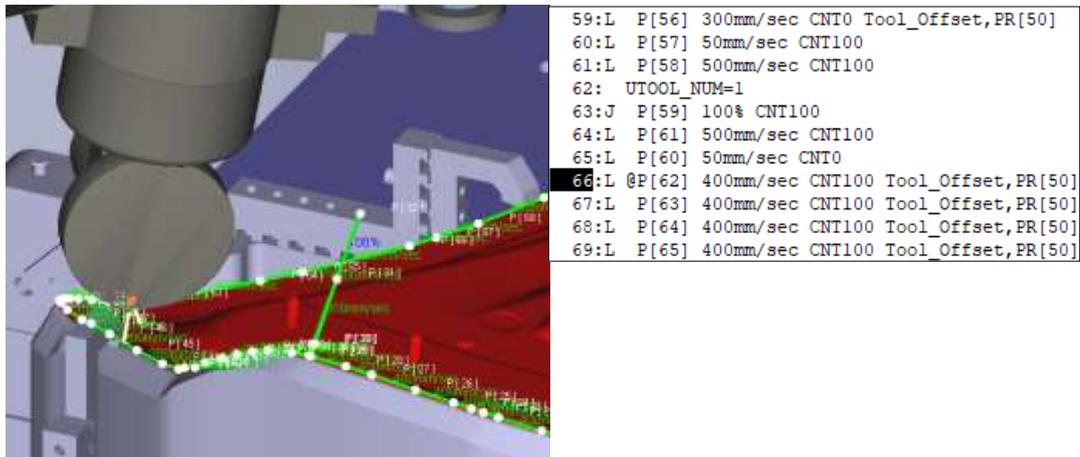


Figura 422. Robot C, cambio a la roldana grande

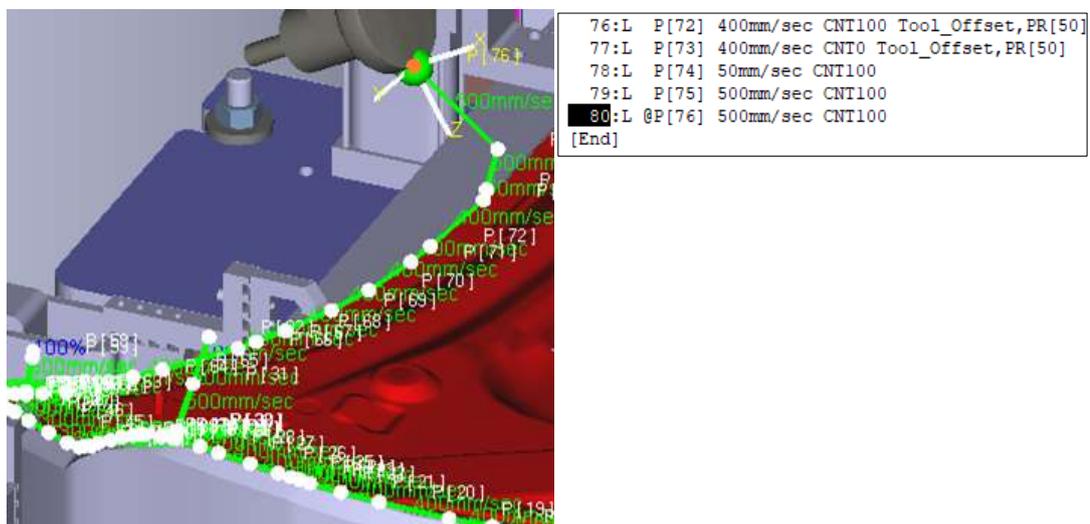


Figura 423. Robot C, finalización engrapado a 90°

6.6. Sexta pieza

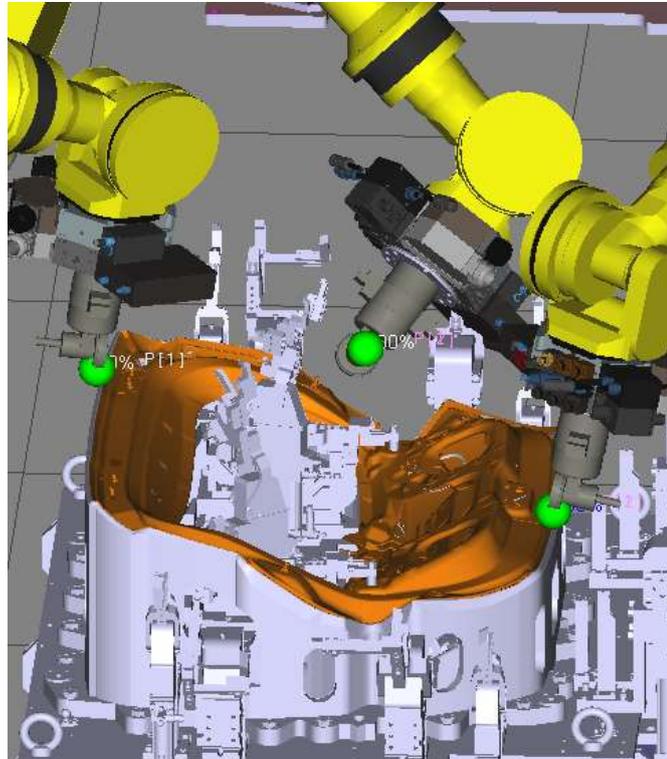


Figura 424. Pieza 6, robots en posiciones iniciales

6.6.1. Robot A

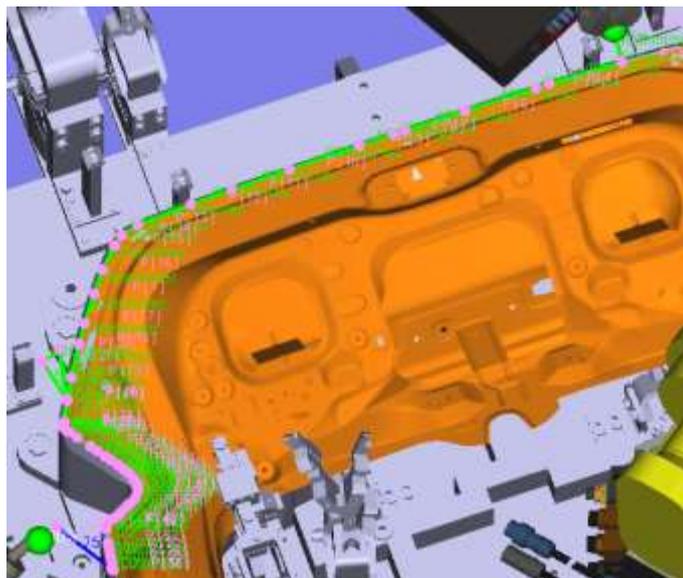


Figura 425. Robot A, engrapado 45°

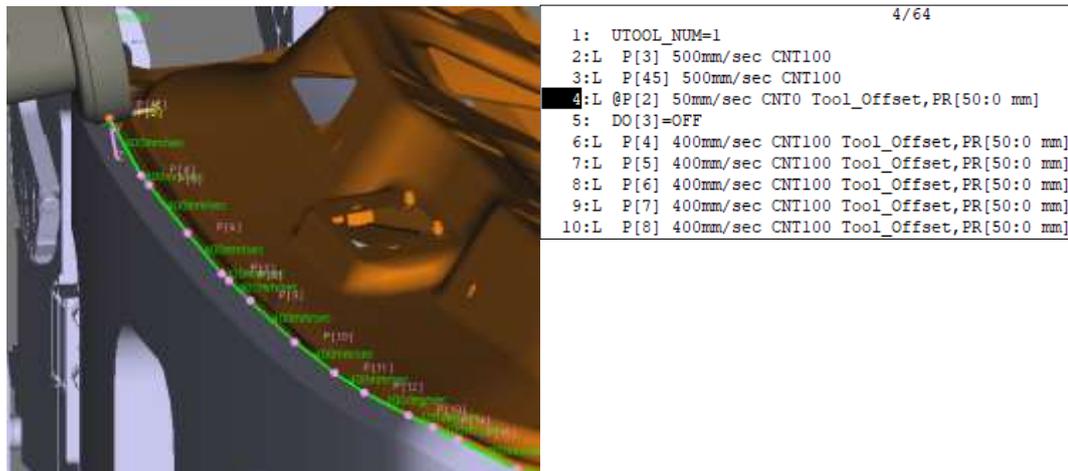


Figura 426. Robot A, aproximación a la pieza

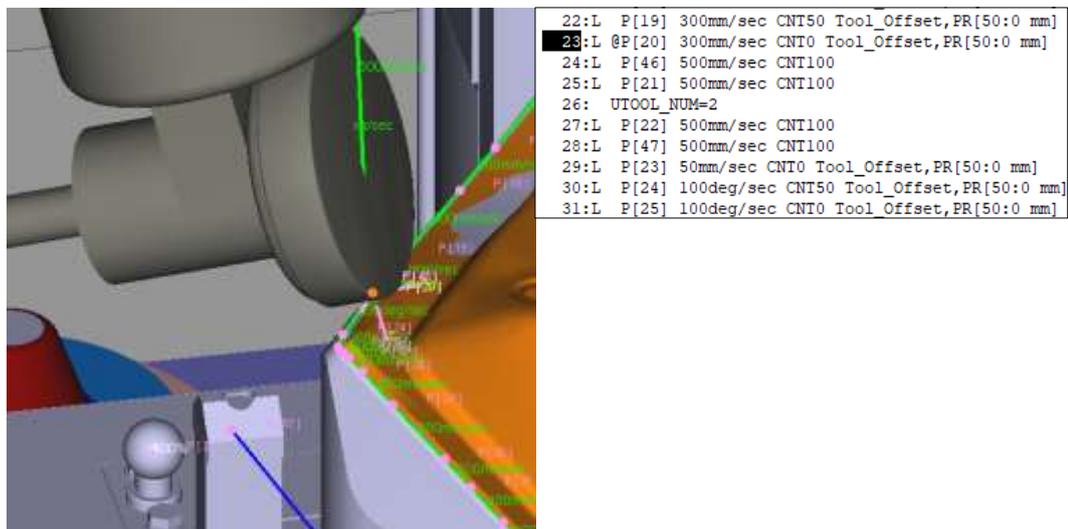


Figura 427. Robot A, cambio de roldana [1]

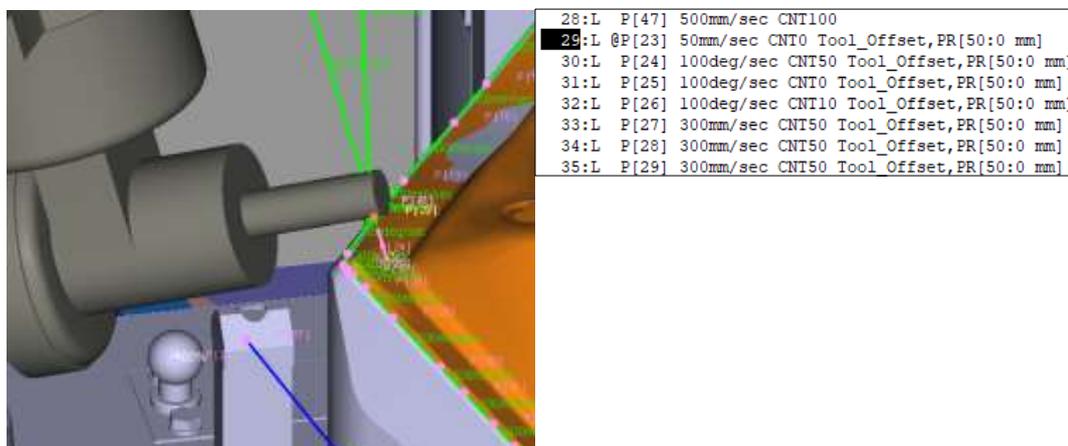


Figura 428. Robot A, cambio de roldana [2]

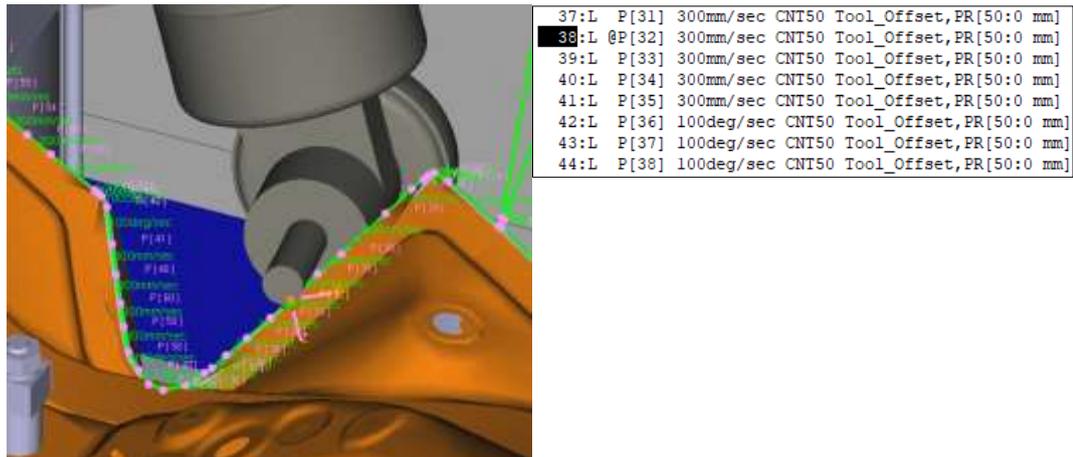


Figura 429. Robot A, pasada curva interior [1]

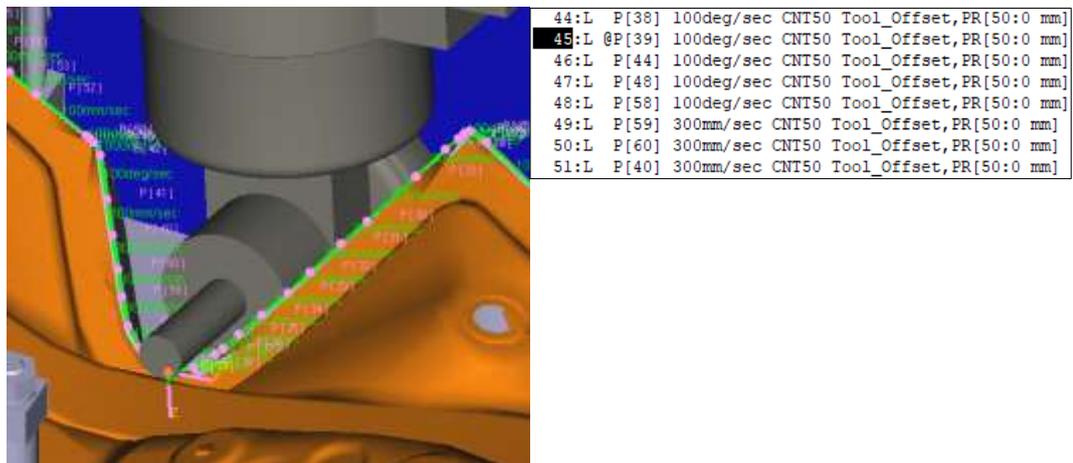


Figura 430. Robot A, pasada curva interior [2]

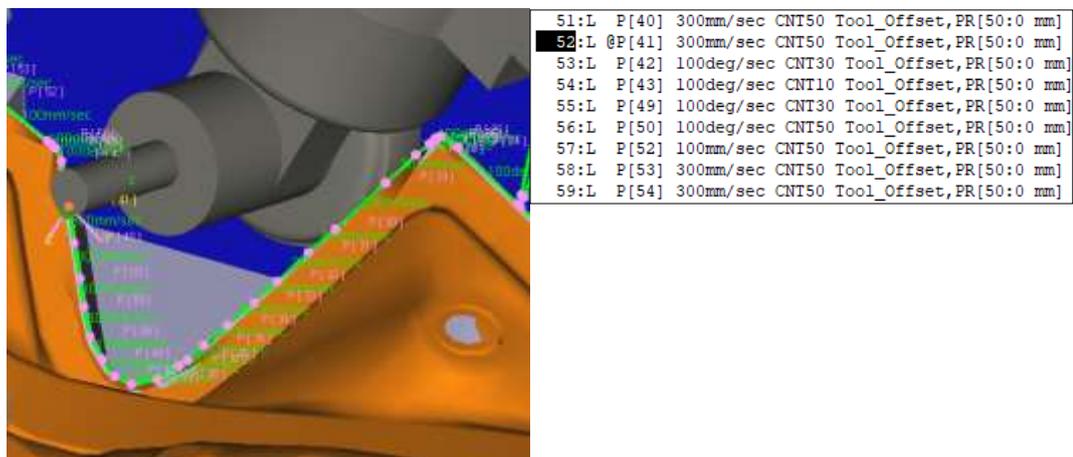


Figura 431. Robot A, pasada curva interior [3]

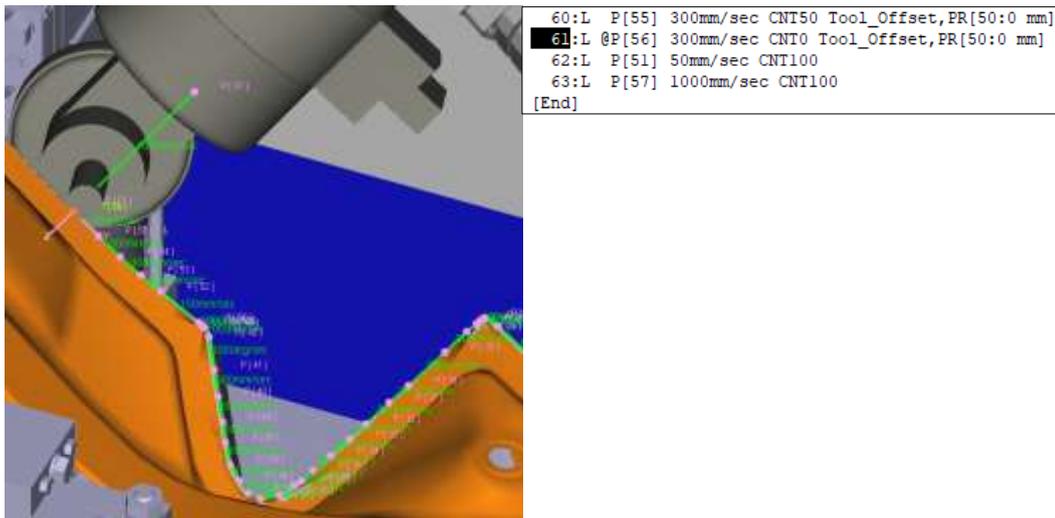


Figura 432. Robot A, finalización pasada a 45°

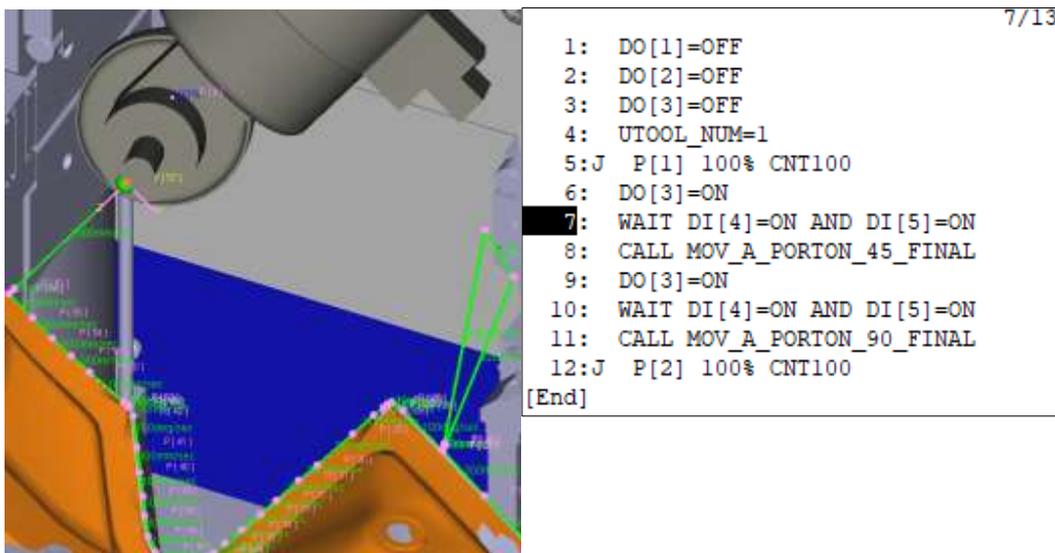


Figura 433. Robot A, en espera a la finalización de los otros dos

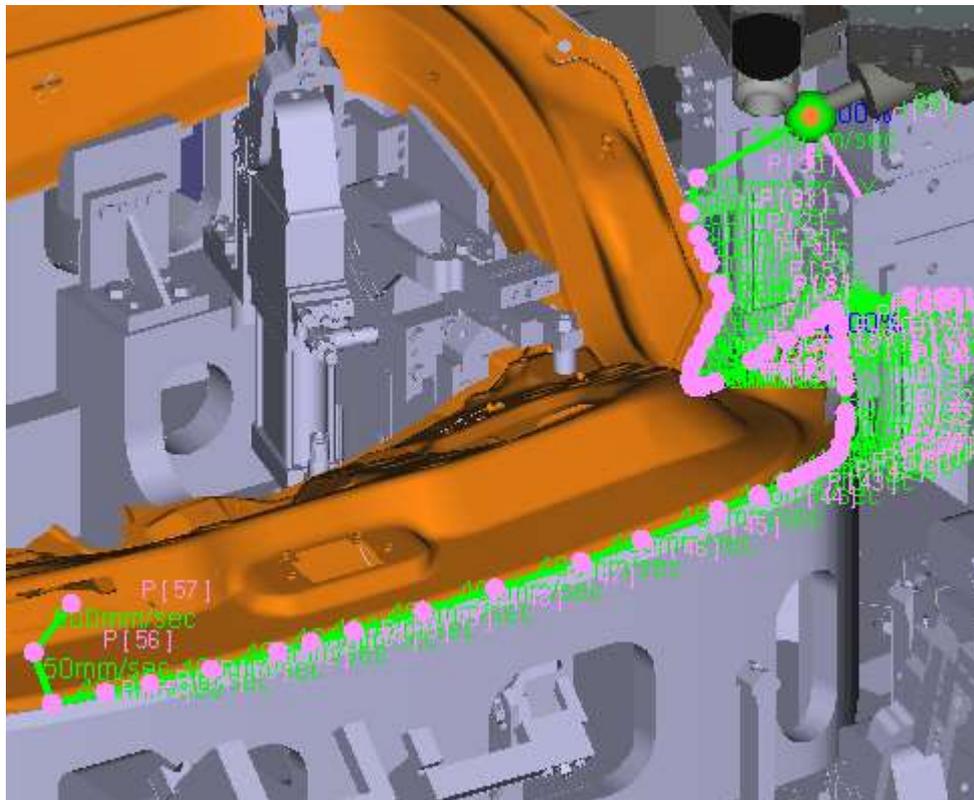


Figura 434. Robot A, engrapado a 90°

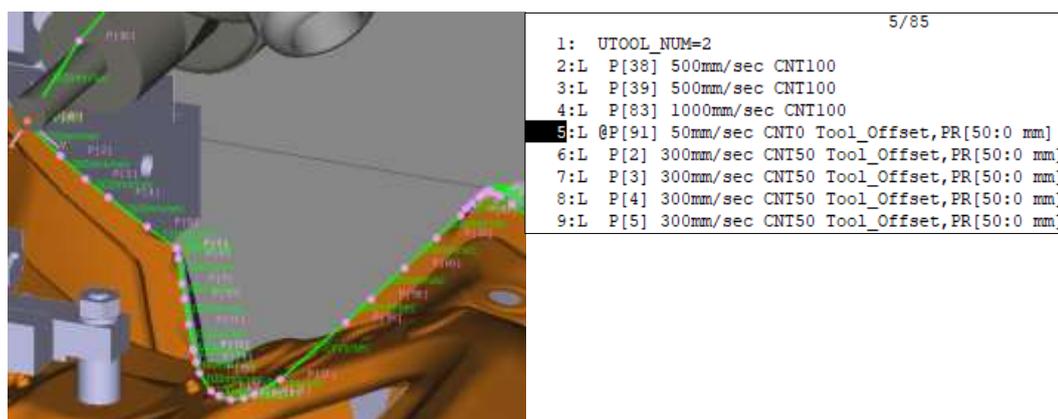


Figura 435. Robot A, aproximación a la pieza

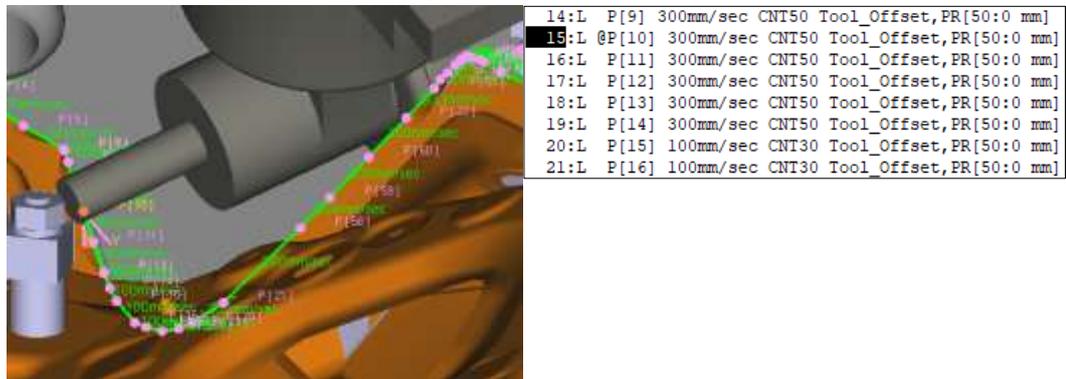


Figura 436. Robot A, pasada curva interior [1]

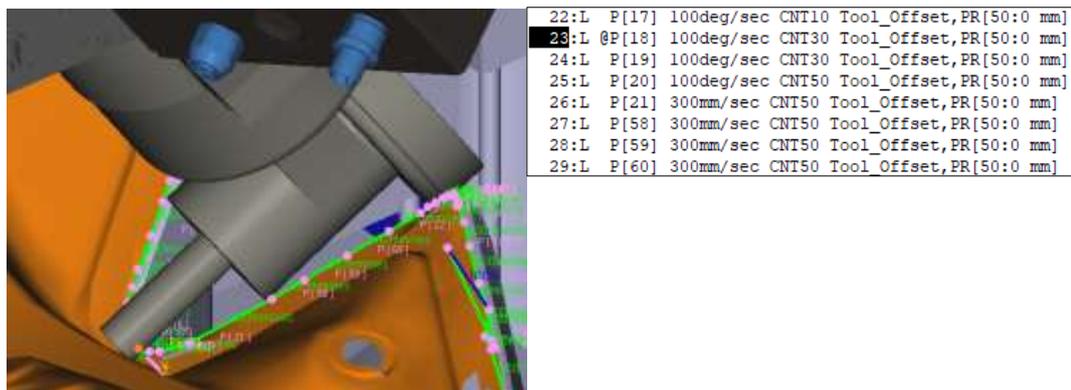


Figura 437. Robot A, pasada curva interior [2]

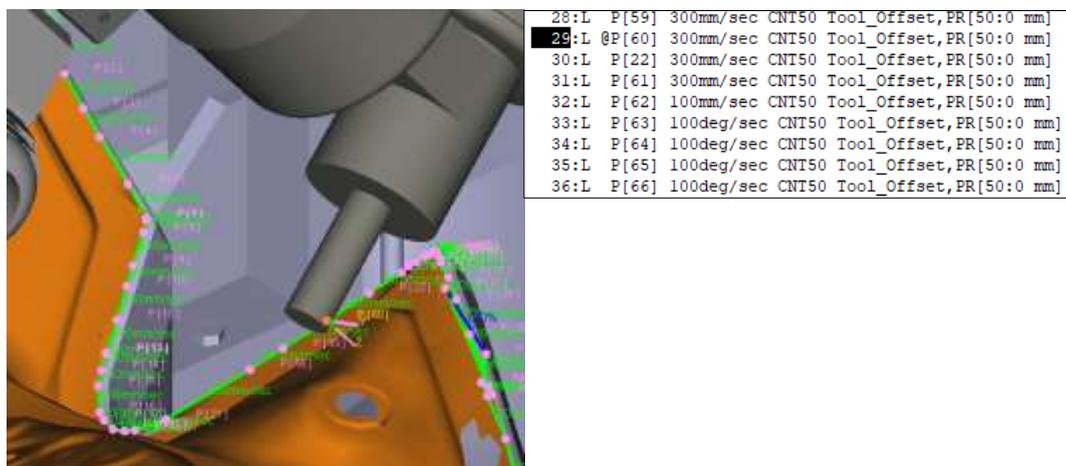


Figura 438. Robot A, pasada curva interior [3]

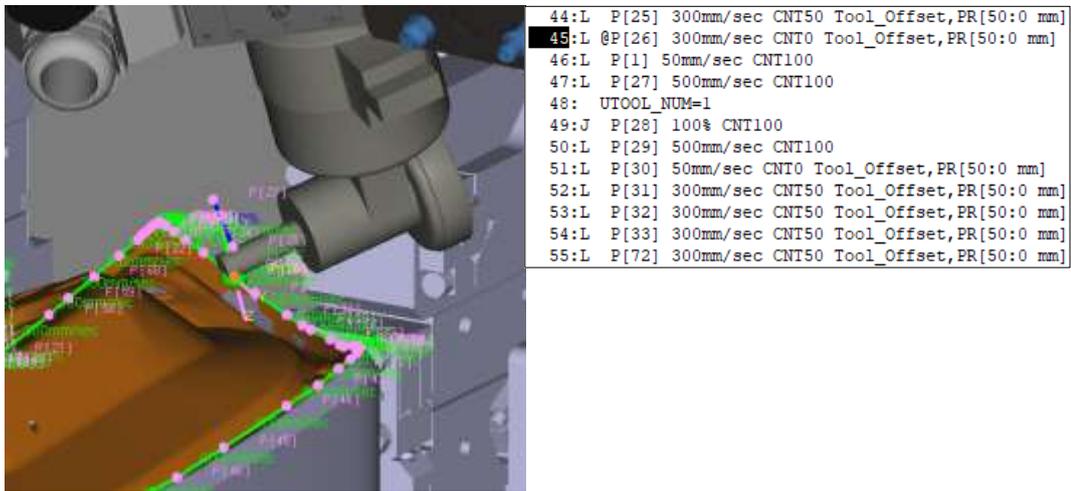


Figura 439. Robot A, cambio de roldana [1]

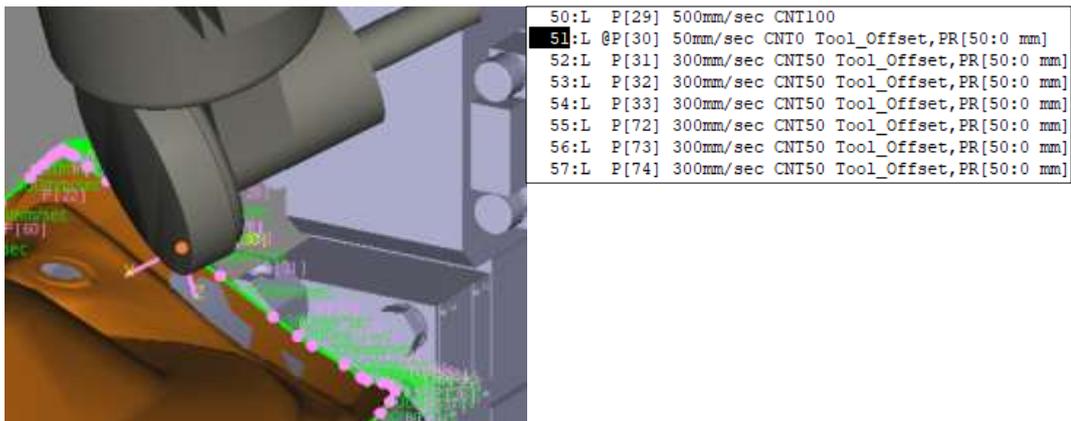


Figura 440. Robot A, cambio de roldana [2]

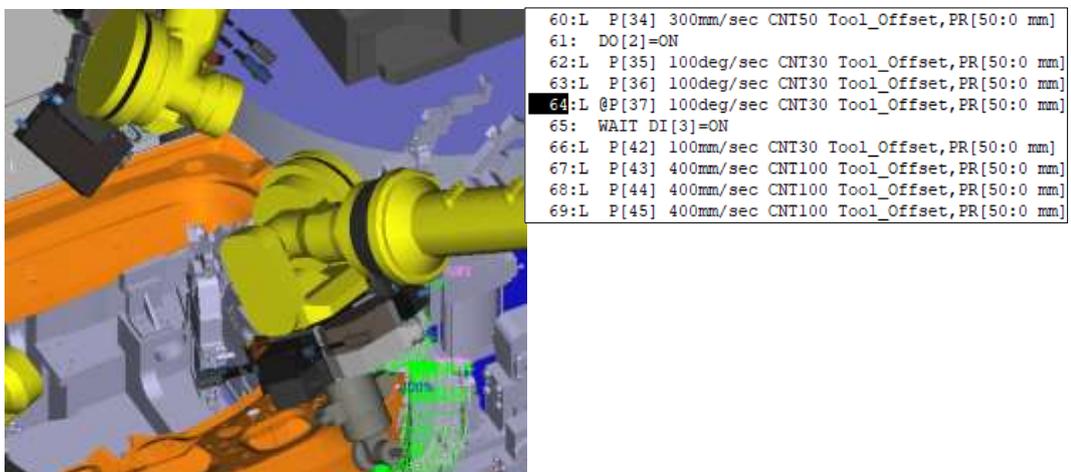


Figura 441. Robot A, a la espera del robot B

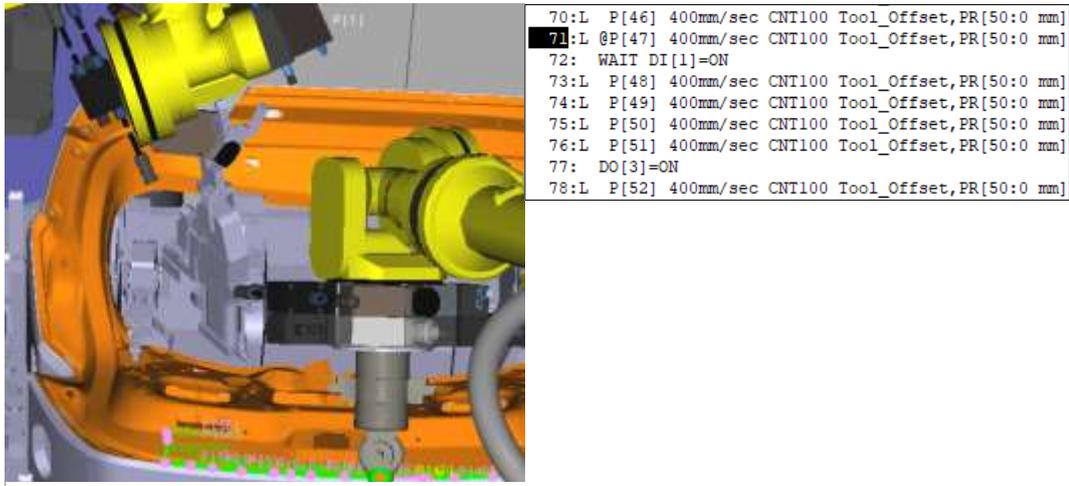


Figura 444. Robot A, a la espera del robot C

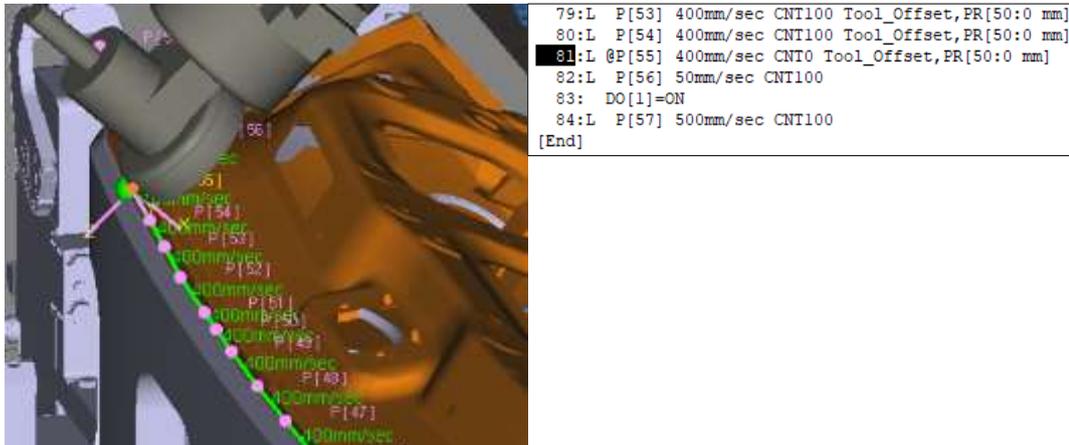


Figura 443. Robot A, finalización de la pasada a 90°

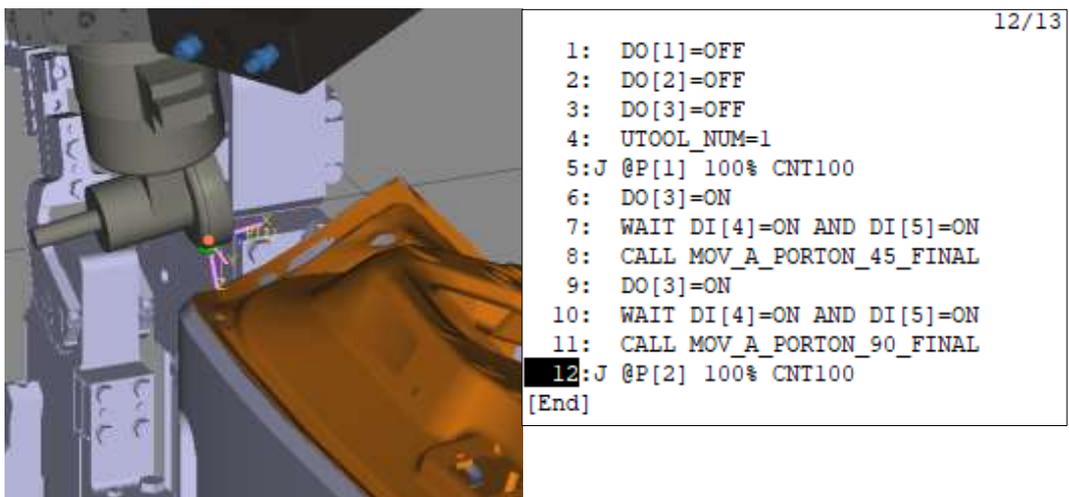


Figura 442. Robot A, vuelta a posición inicial

6.6.2. Robot B

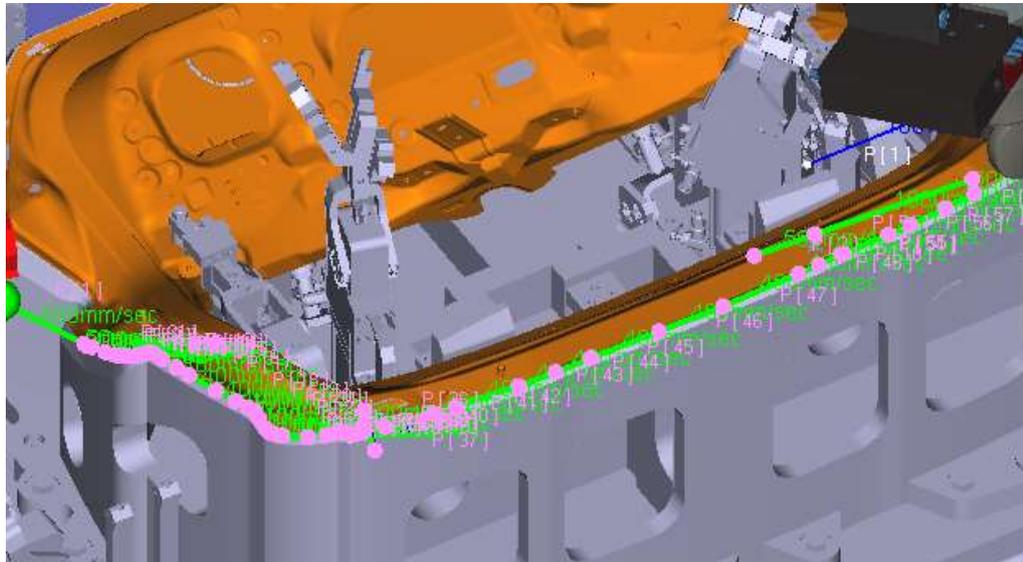


Figura 445. Robot B, engrapado a 45°

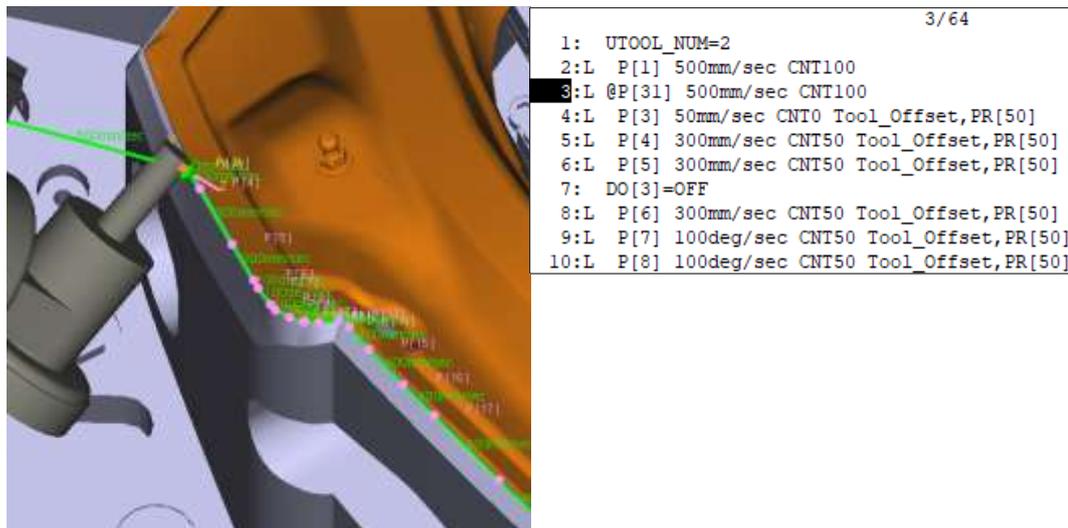


Figura 446. Robot B, aproximación a la pieza

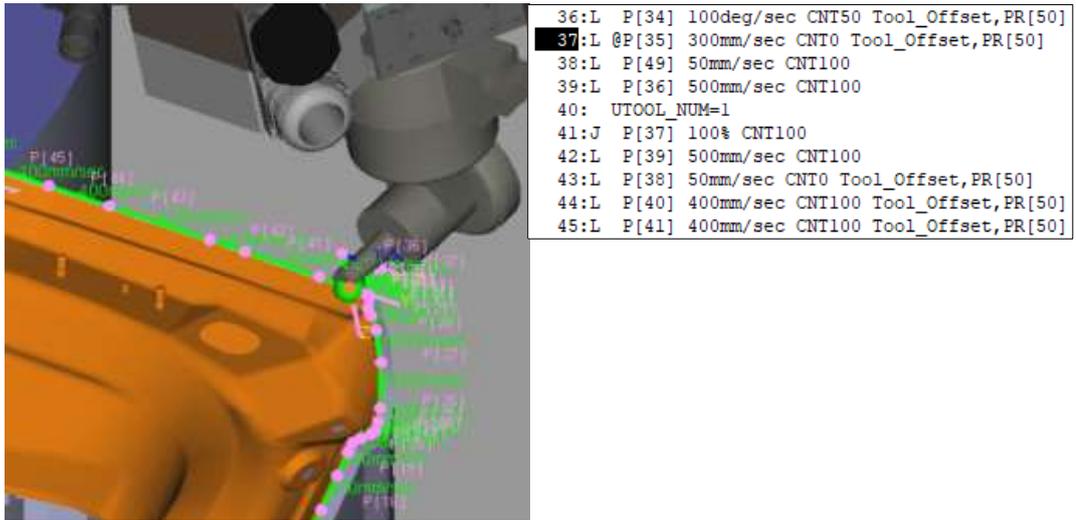


Figura 447. Robot B, cambio de roldana [1]

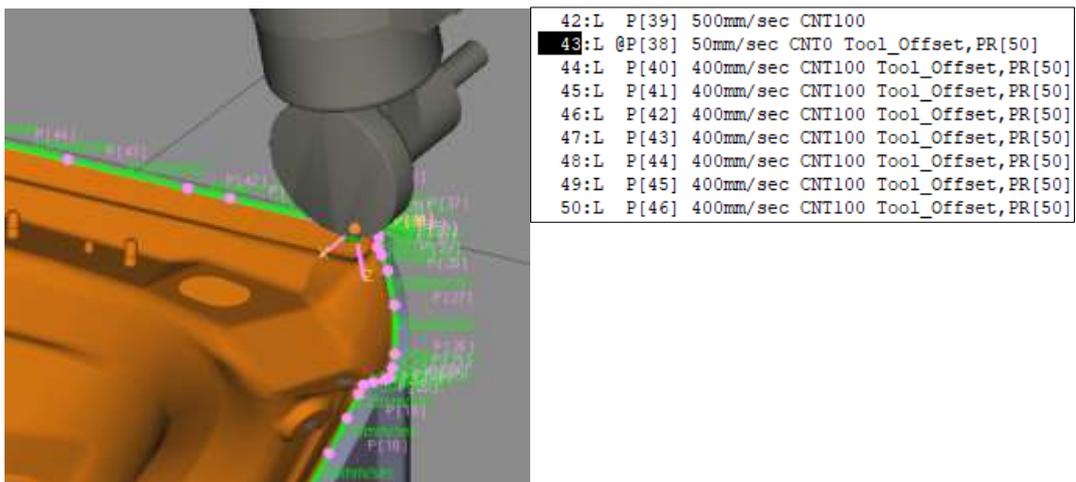


Figura 448. Robot B, cambio de roldana [2]

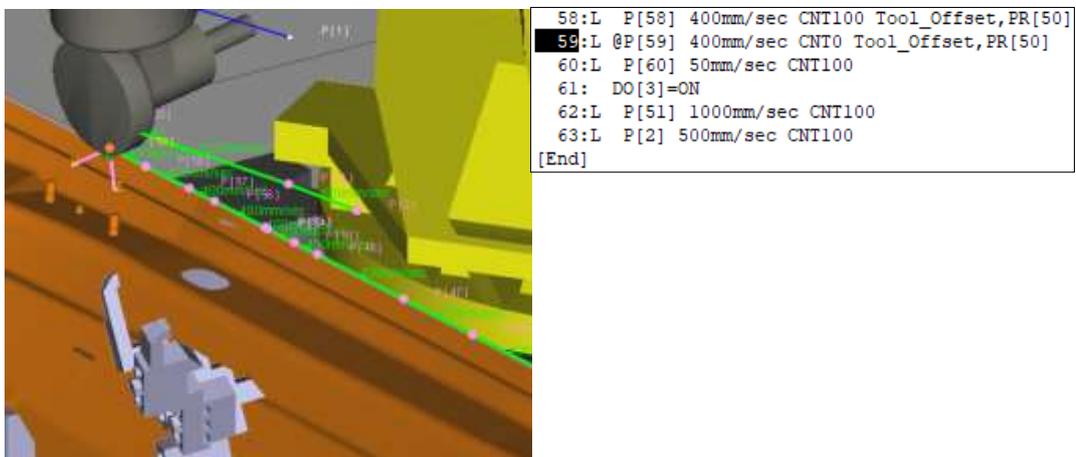


Figura 449. Robot B, finalización engrapado a 90°

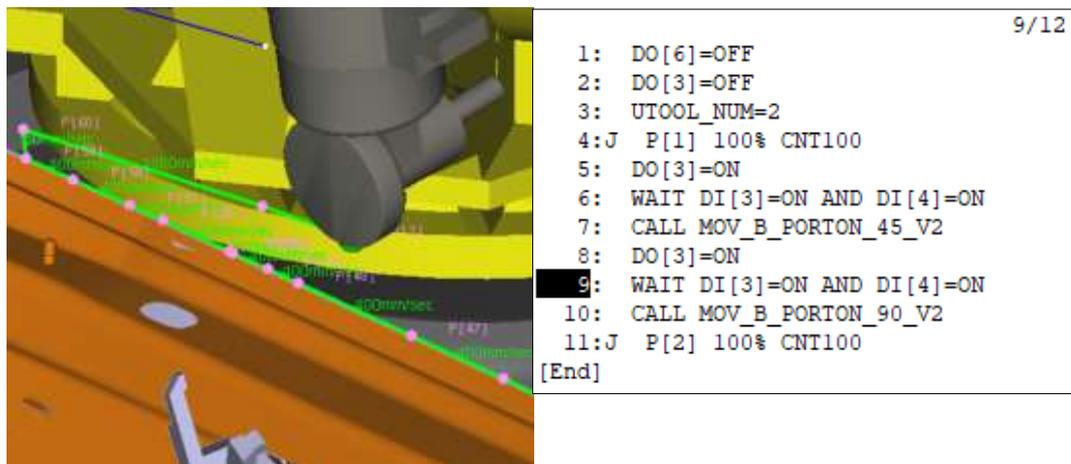


Figura 450. Robot B, a la espera de finalización de los otros robots

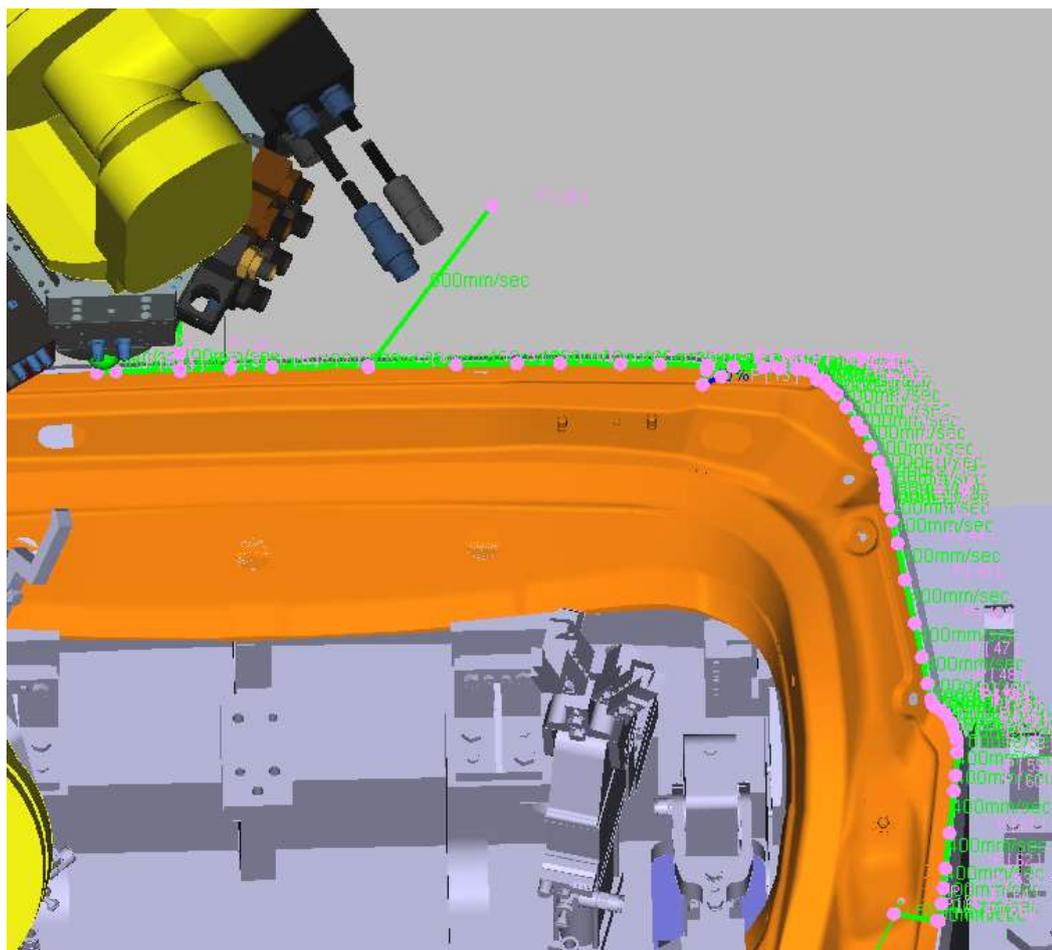


Figura 451. Robot B, engrapado a 90°

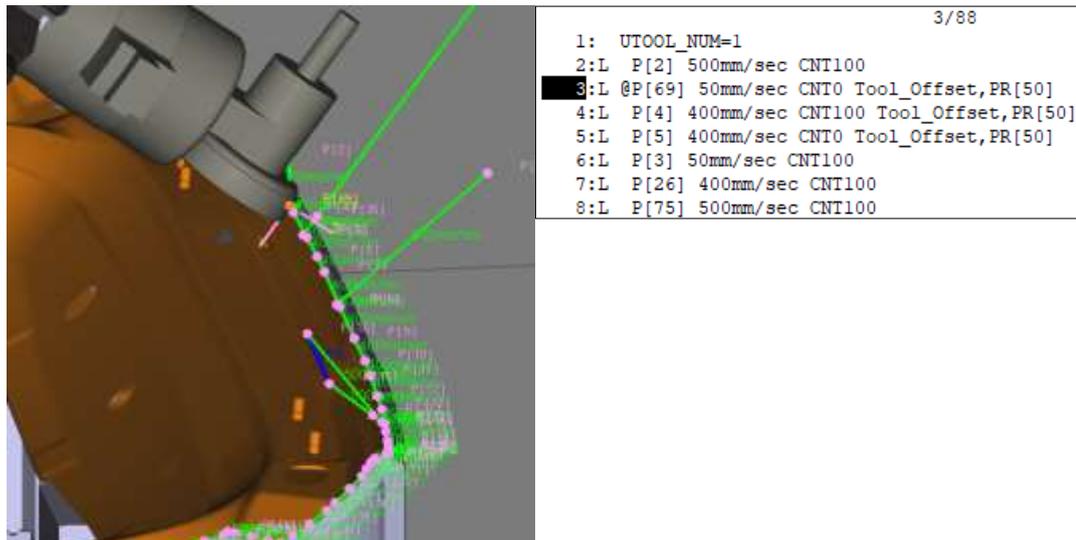


Figura 452. Robot B, aproximación a la pieza



Figura 453. Robot B, envío de señal de movimiento al robot C y espera de la señal de movimiento de C



Figura 454. Robot B, envío de señal de movimiento al robot A y espera a señal de movimiento de A

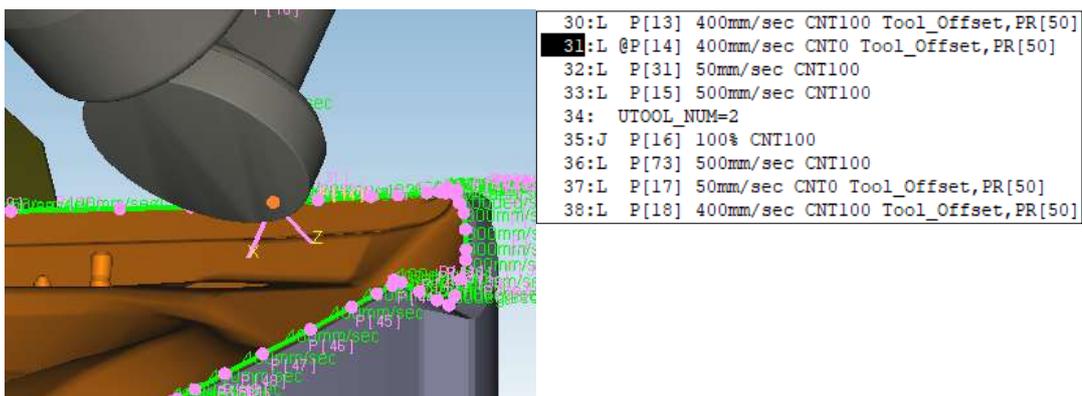


Figura 456. Robot B, cambio de roldana [1]

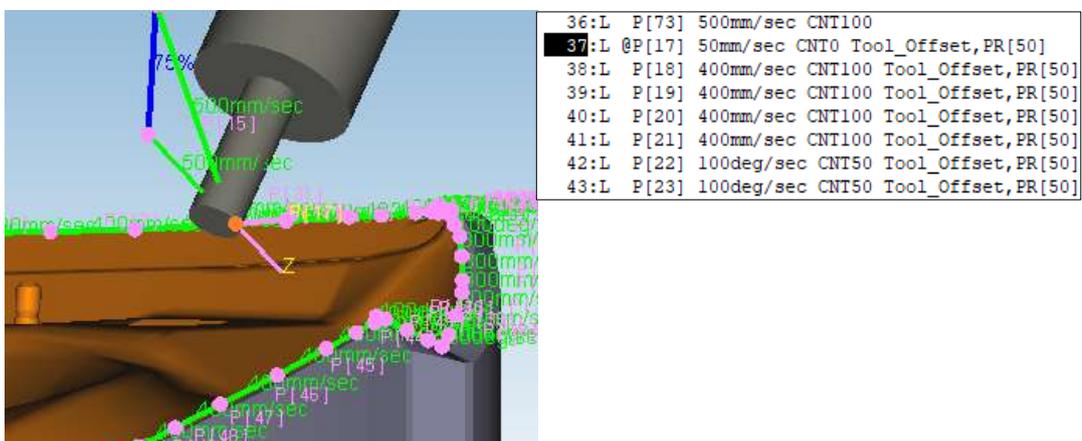


Figura 455. Robot B, cambio de roldana [2]

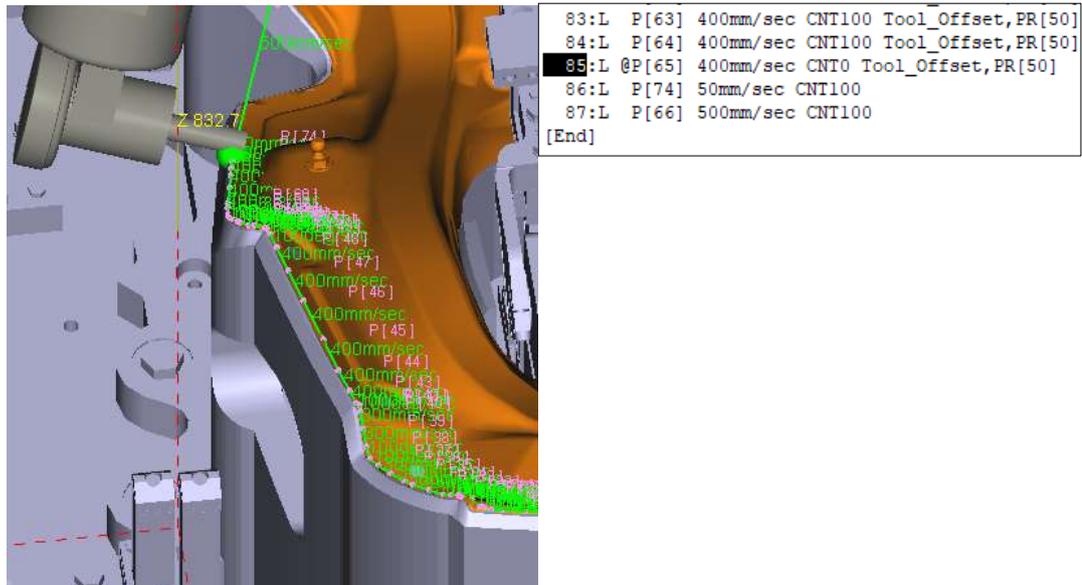


Figura 457. Robot B, finalización engrapado a 90°

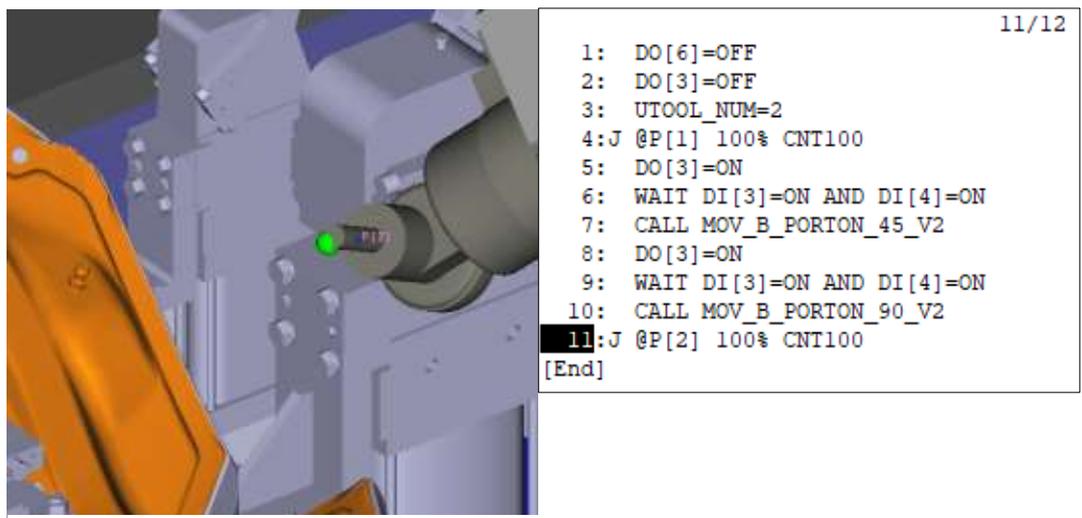


Figura 458. Robot B en posición inicial

6.6.3. Robot C

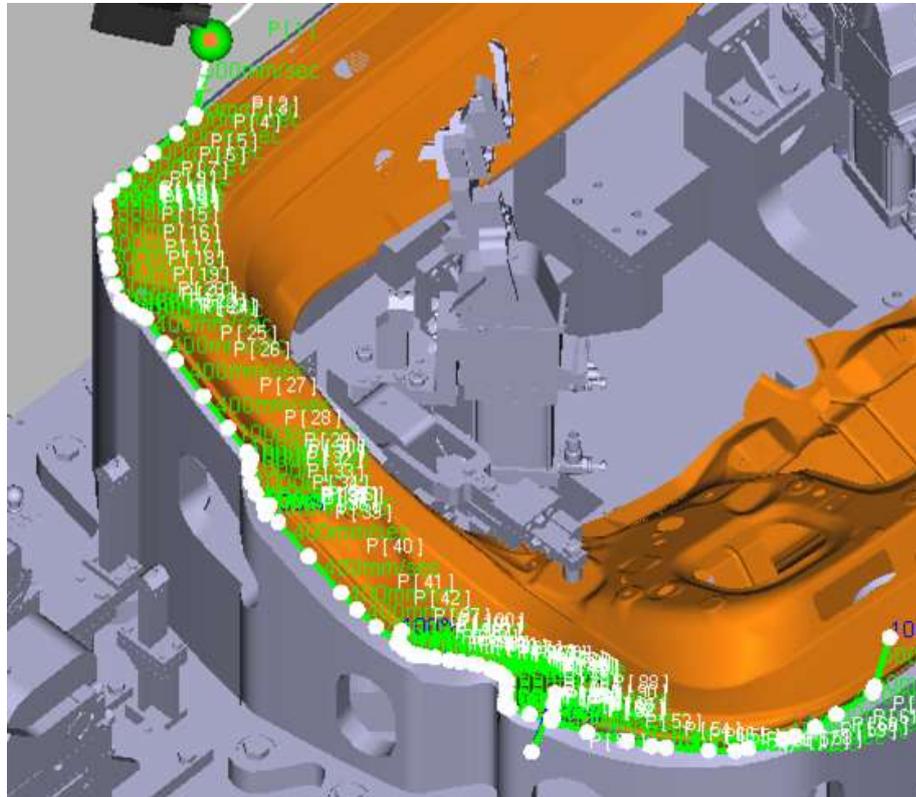


Figura 459. Robot C engrapado a 45°



Figura 460. Robot C, aproximación a la pieza

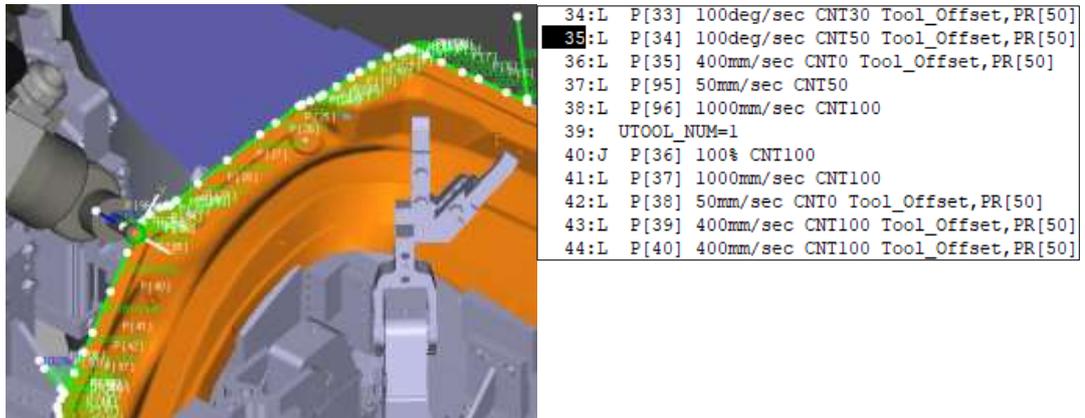


Figura 461. Robot C, cambio de roldana [1]

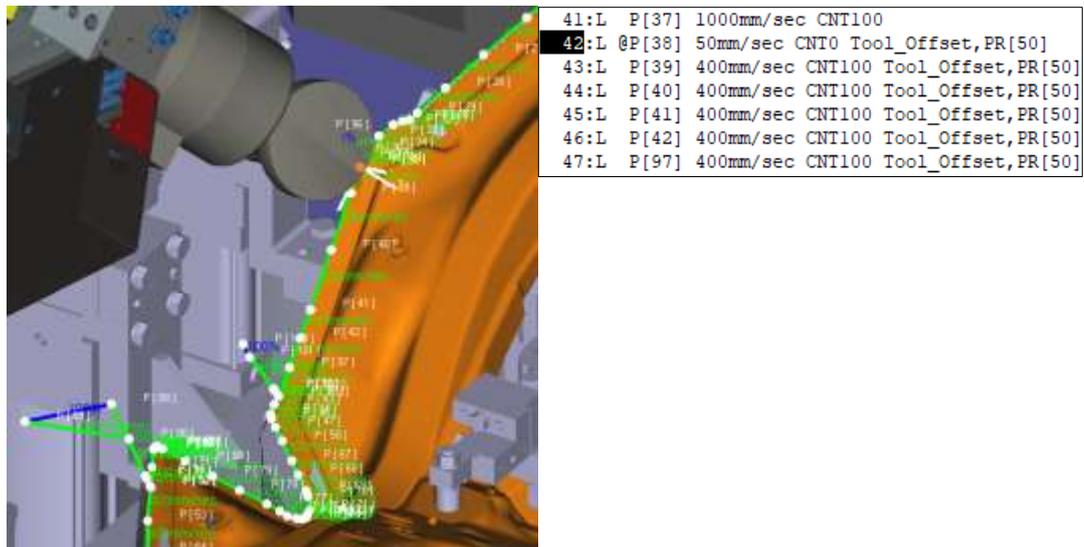


Figura 462. Robot C, cambio de roldana [2]

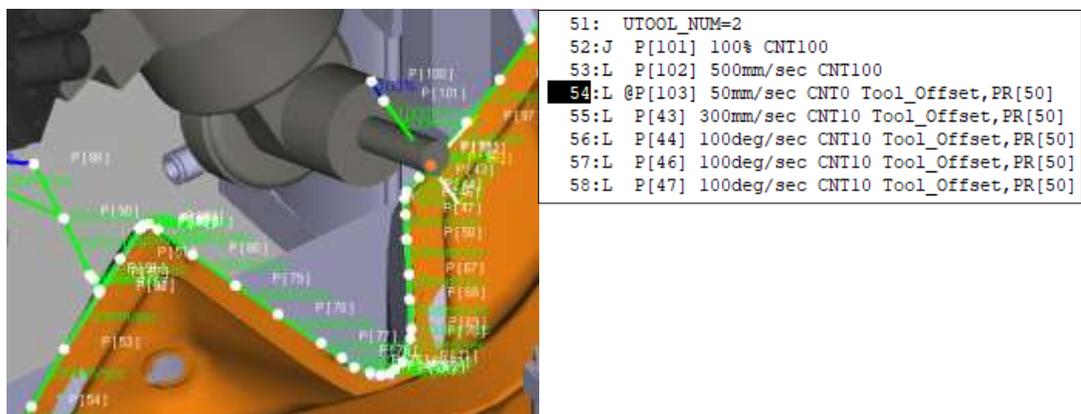


Figura 463. Robot C, roldana pequeña para el engrapado de la curva interior



Figura 464. Robot C, pasada curva interior [1]

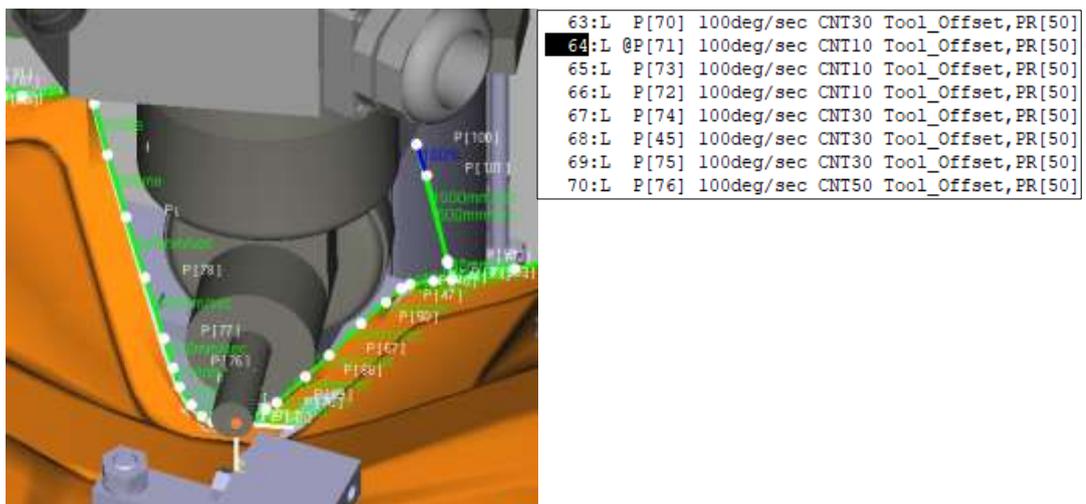


Figura 465. Robot C, pasada curva interior [2]

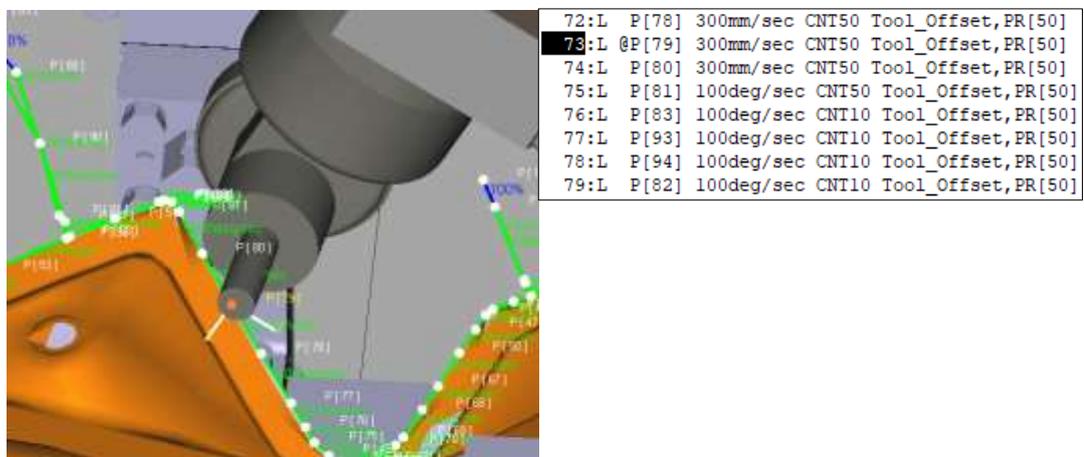


Figura 466. Robot C, pasada curva interior [3]

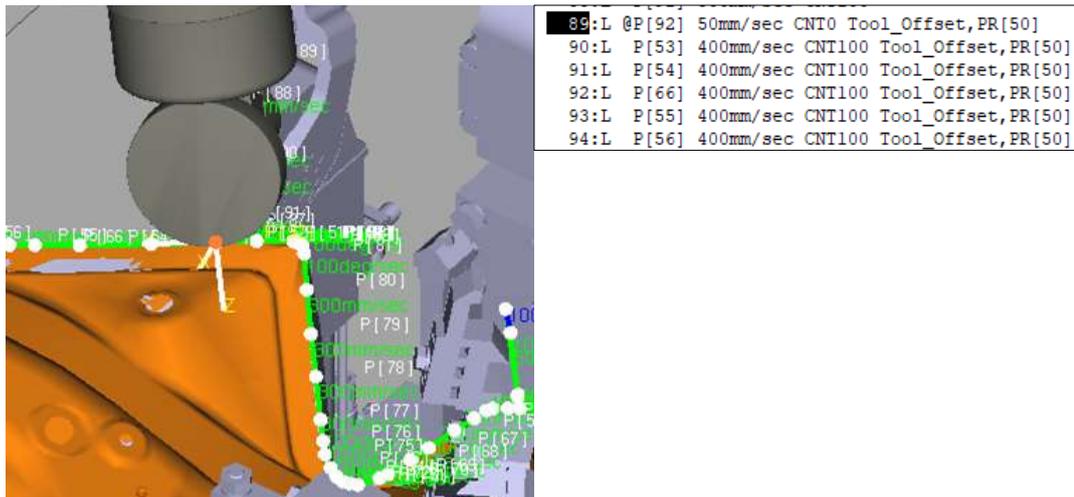


Figura 467. Robot C, roldana grande para terminar la finalización

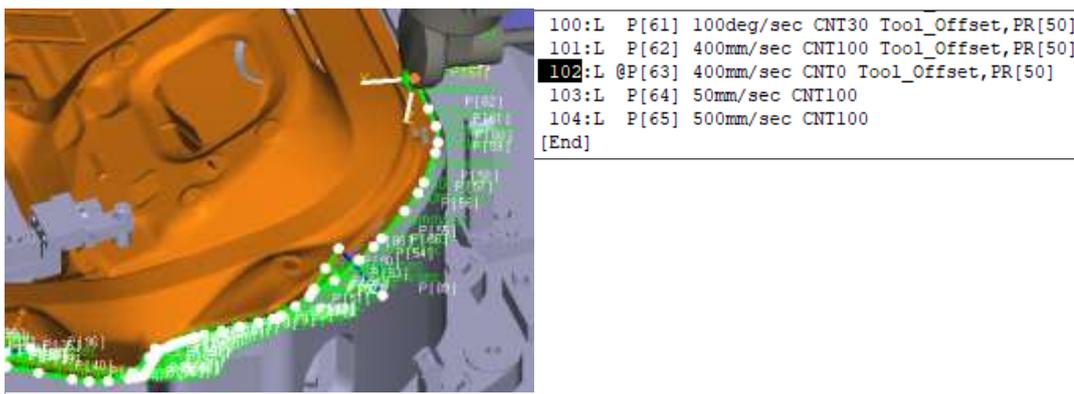


Figura 468. Robot C, finalización pasada 45°

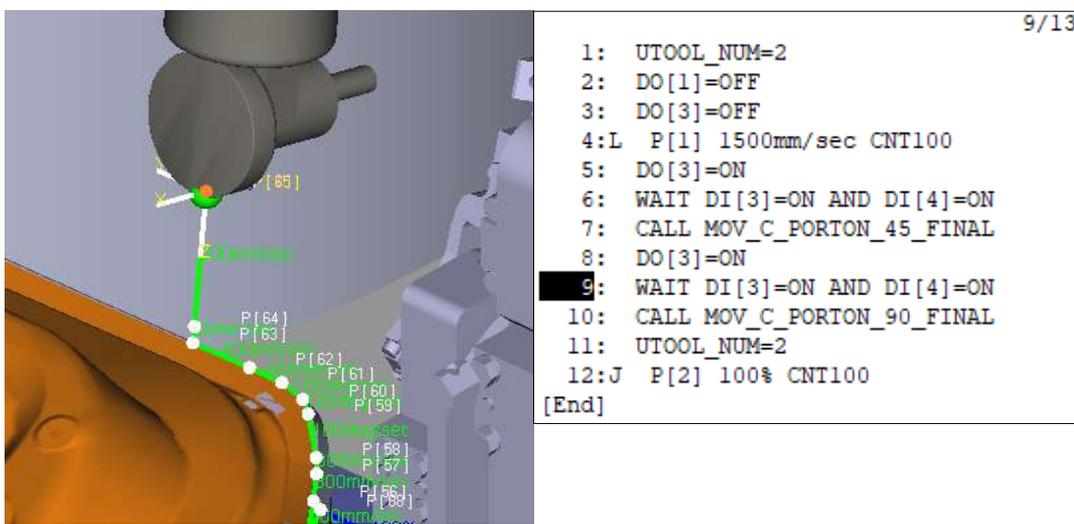


Figura 469. Robot C, espera a la finalización de los otros robots

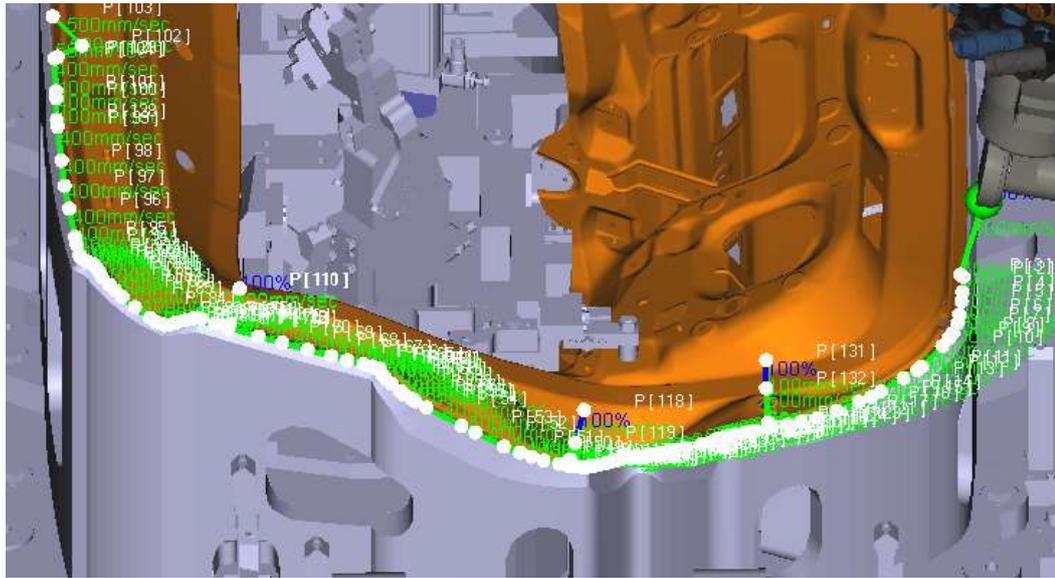


Figura 470. Robot C, engrapado a 90°

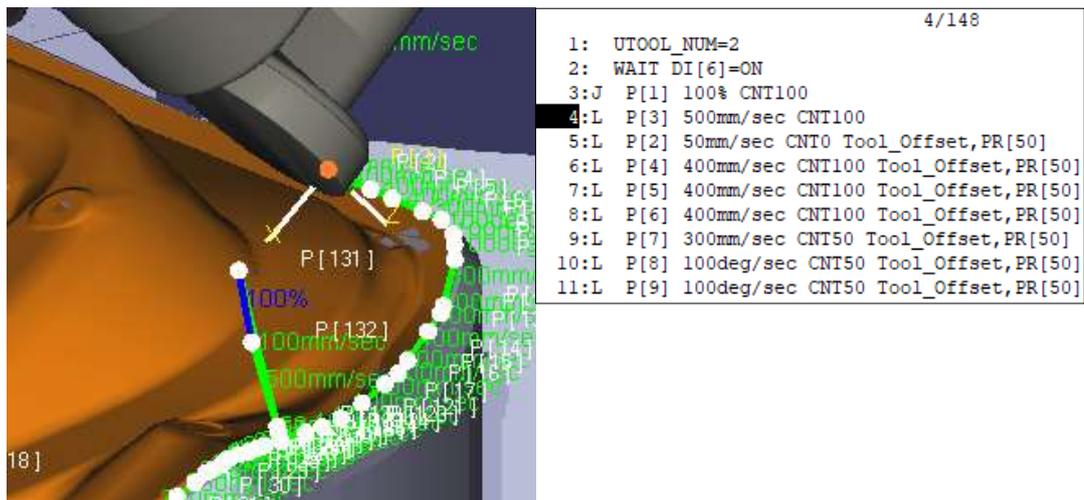


Figura 471. Robot C, aproximación a la pieza

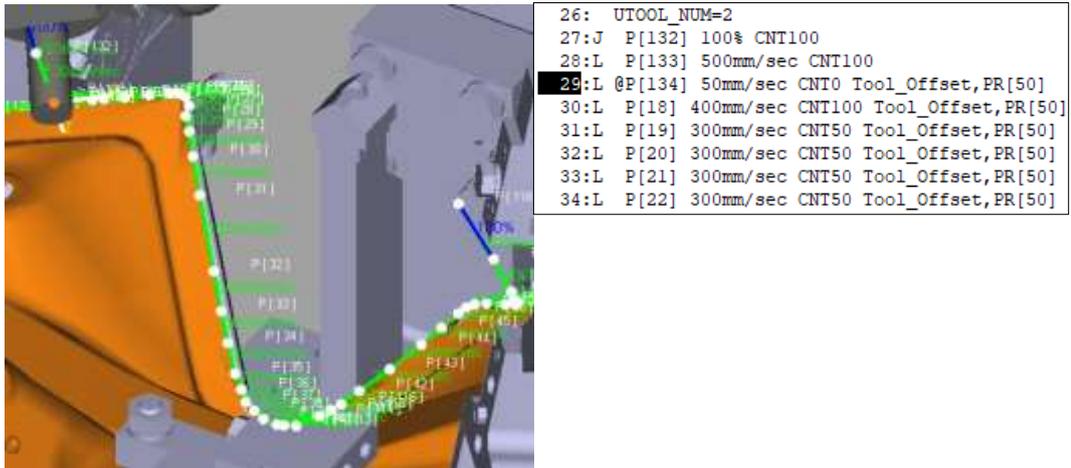


Figura 472. Robot C, uso de la roldana pequeña para engrapado de la curva interior

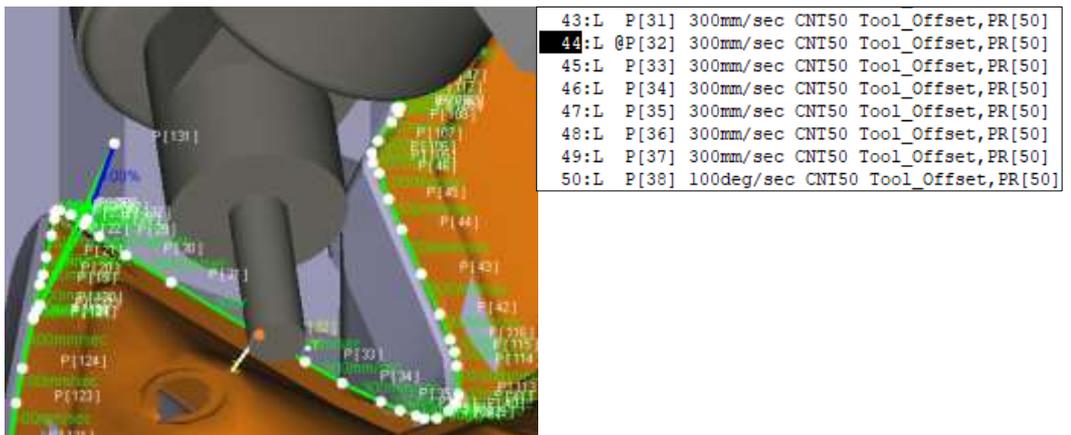


Figura 473. Robot C, curva interior [1]

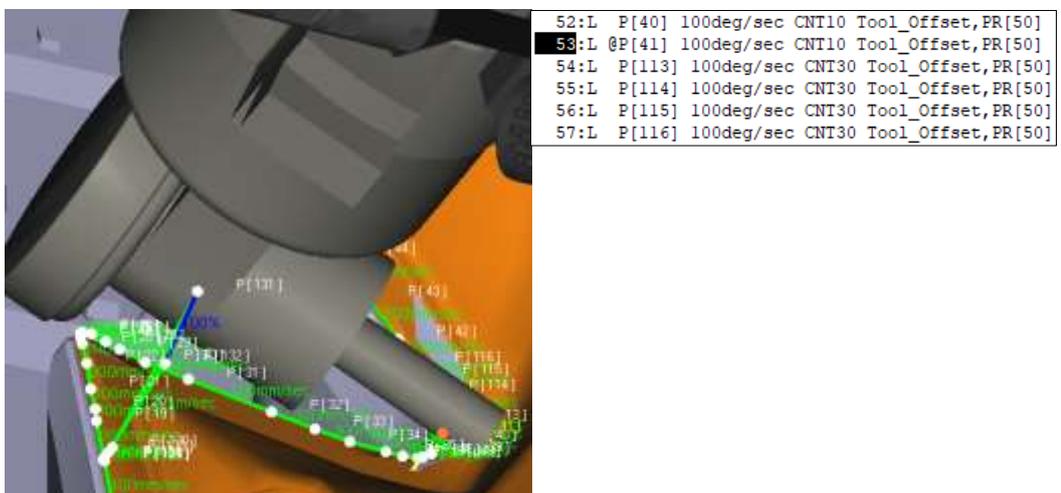


Figura 474. Robot C, curva interior [1]

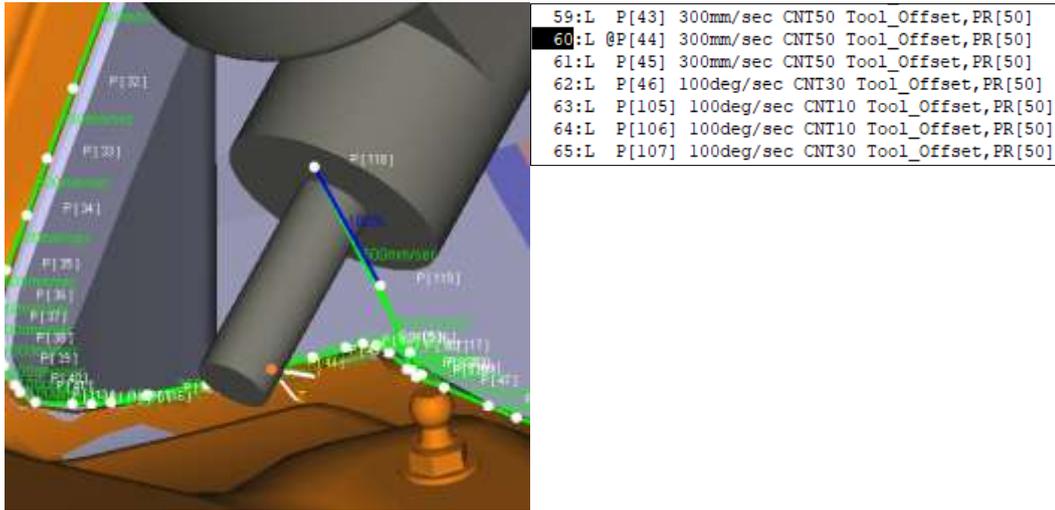


Figura 475. Robot C, pasada curva interior [3]

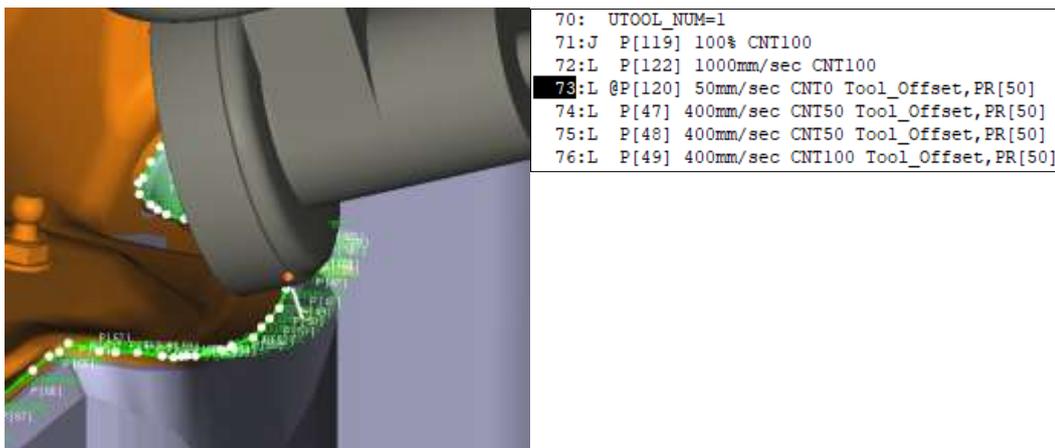


Figura 476. Robot C, cambio de roldana tras la curva interior

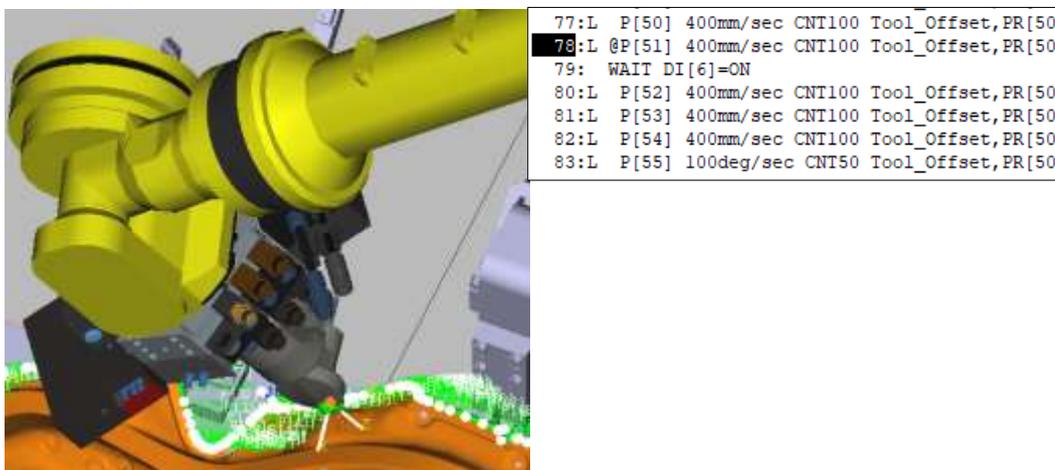


Figura 477. Robot C en espera a la señal del robot B

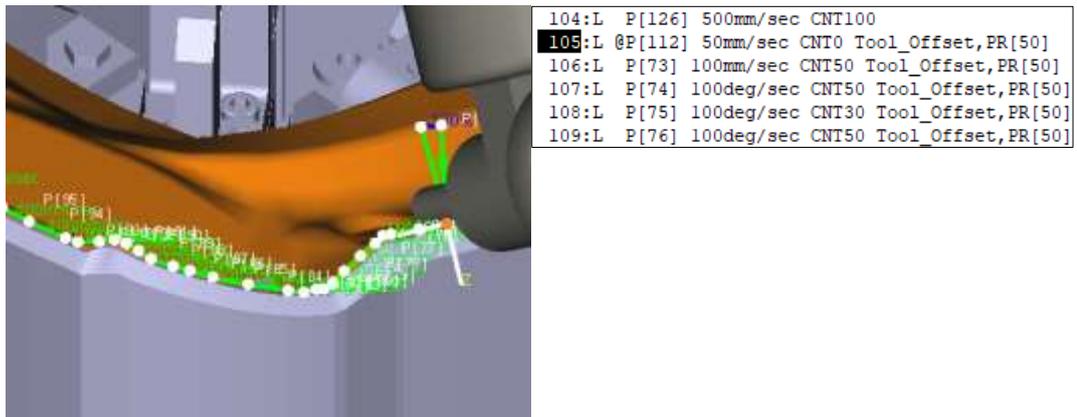


Figura 478. Robot C cambio de roldana para mecanizar el cambio de concavidad y la esquina



Figura 479. Robot C envía señal de movimiento al robot B y permanece en espera a la señal del robot A

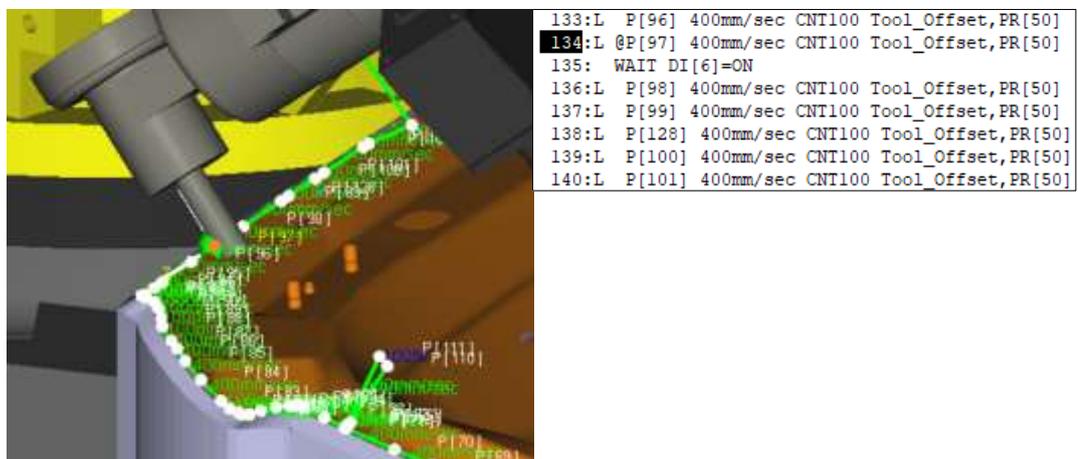


Figura 480. Robot C, en espera de la señal de movimiento del robot B

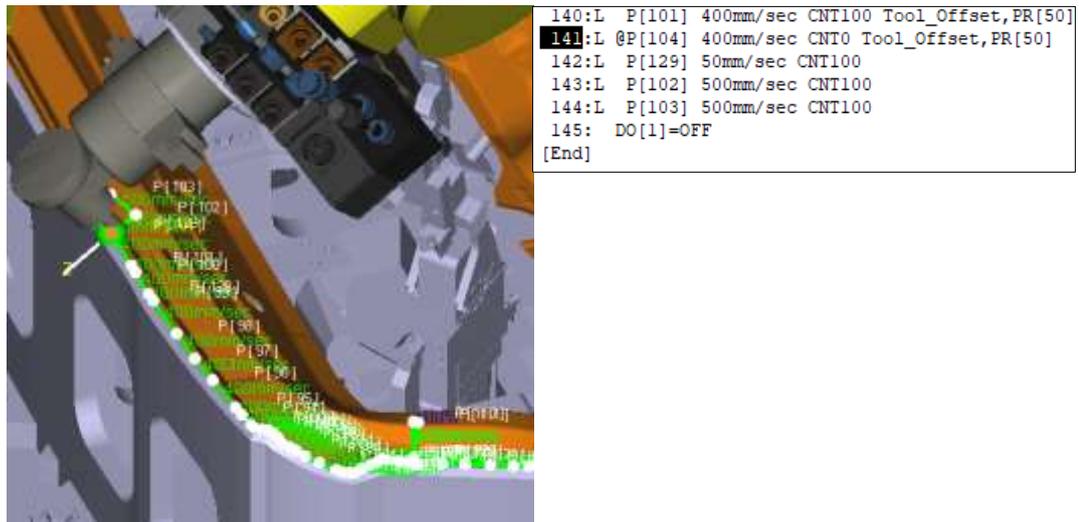


Figura 481. Robot C, finalización del engrapado a 90°

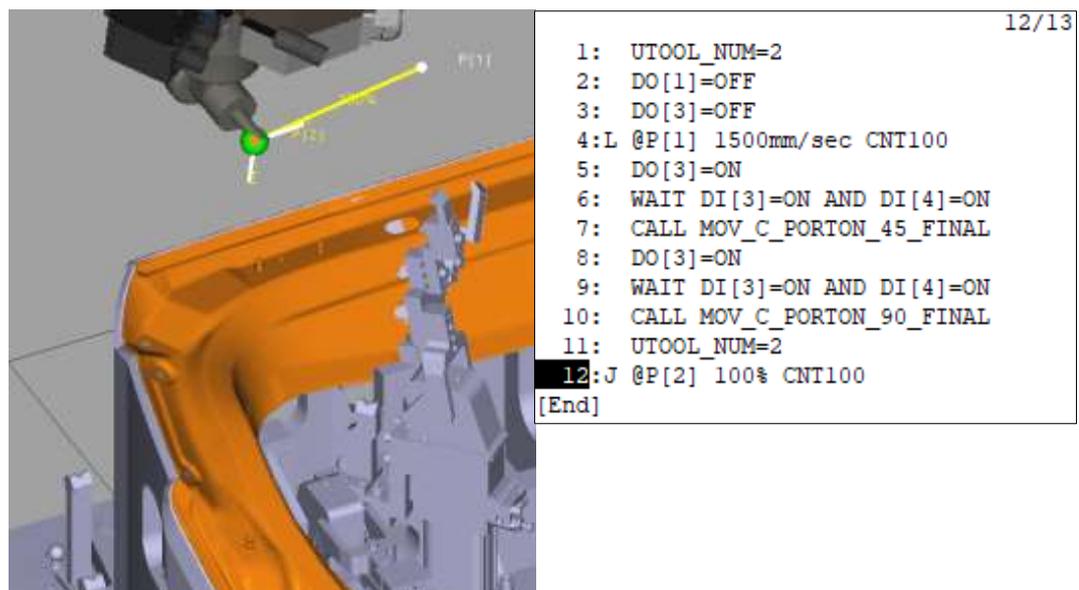


Figura 482. Robot C, vuelta a la posición inicial

7. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

7.1. Conclusiones

Se consigue realizar una estación en la que los robots se comunican entre ellos para poder trabajar de forma simultánea evitando colisiones de forma automática y, en caso de fallo en uno de los sensores, la estación no continuará con su programa a la espera de que el sensor vuelva a funcionar.

Cabe también señalar que durante la realización de mis prácticas de empresa y este proyecto he aprendido a utilizar HandlingPro lo que me ha permitido poder programar los robots y realizar sus simulaciones. Para este aprendizaje me han sido muy útiles los conocimientos adquiridos durante la carrera con robots ABB.

La realización de esta estación me ha permitido también conocer ciertas pautas seguidas en la industria ya que al ser este un caso real con aplicación en el proceso de fabricación del automóvil, se han tenido que seguir unas pautas dictadas por el fabricante. Por este motivo, se ha debido tener en cuenta la documentación aportada por el fabricante, ya que cada pieza presenta unas directrices de calidad que se deben cumplir. A pesar de todo, esta simulación no es capaz de determinar si los estándares de calidad se cumplen. Esto además no implica que toda la programación sea “correcta o incorrecta”. Al recibir los informes de calidad de la fábrica se indica qué partes de la pieza están correctamente engrapadas y cuáles presentan fallos debido a un exceso/falta de presión de la herramienta, pudiendo de esta manera modificar las zonas con defectos reutilizando todo el código ya creado.

7.2. Futuras líneas de trabajo

En el proyecto no se han tenido en cuenta los costes debido a la actual presencia de los robots junto al material necesario en la fábrica, siendo el único coste relevante el tiempo dedicado a la programación de estos. Sin embargo, en las tres posibles líneas de trabajo sí supondrían un coste económico.

Pese a tratarse de un sistema real, se proponen varios cambios o mejoras que podrían mejorar la eficiencia de la estación:

- 1) Añadir un cuarto robot.** Con un cuarto robot situado en la esquina inferior izquierda se reducirían las cargas de trabajo para los robots A y C, disminuyendo el tiempo de ciclo del proceso y haciendo más ligero el código de los robots.
- 2) Utilización de unas roldanas cuyo eje central sea más largo.** Uno de los principales problemas presentes durante el proceso de programación es la colisión entre la parte superior de la herramienta y el molde de la pieza. Esto sería especialmente útil a la hora de engrapar el interior de las ventanas de las piezas uno a la cuatro o de las curvas de la pieza sexta.
- 3) Implementación en la misma estación de los robots encargados de colocar y extraer las piezas.** Ya que esta estación solo se encarga del mecanizado y no de posicionar las piezas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Historia de la robótica (último acceso: 15 mayo 2023)
<https://www.hisour.com/es/history-of-robots-42814/>
- [2] Juan Carlos Fraile. Introducción a la robótica (septiembre 2022). Uva Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
- [3] Wikipedia, historia de los robots (último acceso: 15 de mayo 2023)
https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_los_robots
- [4] Creadores de máquinas y mecanismos (último acceso: 15 de mayo 2023)
<https://sites.google.com/site/creadoresdemaquinasymecanismos/home>
- [5] Las 5 generaciones de la robótica (último acceso: 16 de mayo 2023)
<https://www.hipernexo.com/robotica/generaciones-robotica/>
- [6] Euroinnova. Clasificación de los robots (último acceso: 17 de mayo 2023)
<https://www.euroinnova.edu.es/blog/clasificacion-de-los-robots#clasificacioacuten-cronoloacutegica>
- [7] Estructura de un robot industrial (último acceso: 17 de mayo 2023)
http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cvr_0204/cvr_01/robotica/sistema/morfologia.htm#:~:text=Cil%C3%ADndrica%20%2D%20El%20robot%20tiene%20un,presenta%20tres%20grados%20de%20libertad.
- [8] Fanuc. Serie de robots R-2000 (último acceso: 19 de junio 2023)
<https://www.fanuc.eu/at/en/robots/robot-filter-page/r-2000-series#:~:text=The%20R%2D2000%20series%20is,multiple%20applications%20involving%20high%20payload.>
- [9] Fanuc. Roboguide (último acceso: 19 de junio 2023)
<https://www.fanuc.eu/es/es/robots/accesorios/roboguide#:~:text=FANUC%20ROBOGUIDE%20es%20un%20simulador,crear%20nuevas%20configuraciones%20de%20movimiento.>
- [10] Diego Anerillas Aljama (2011). Utilización de herramientas de simulación en la robótica industrial. (último acceso: 19 de junio 2023)
<https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/39078ed5-c060-4c99-82f9-9661966e5452/content>

[11] AutoForm Hemming (último acceso: 7 de junio 2023)

<https://www.autoform.com/en/glossary/hemming/>

[12] Safesite (31 de marzo 2022). Guía de seguridad sobre los riesgos de la robótica industrial. (último acceso: 5 de junio 2023)

<https://safesitehq.com/es/industrial-robotica/>

[13] Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición). (último acceso: 19 de junio de 2023)

<https://boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2006-81063>

[14] Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. (ISO 10218-1:2011). (último acceso: 19 de junio de 2023)

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0049289>

[15] Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. (ISO 10218-2:2011). (último acceso: 19 de junio de 2023)

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048668>