

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



***PROYECTO FIN DE CARRERA***

**Ingeniería Técnica Industrial:**  
**Electrónica Industrial**

**DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA  
CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA (I)**

**AUTOR:** José Álvarez Paramio

**TUTOR:** Santiago Martínez de la Casa Díaz

**JULIO 2009**



## **AGRADECIMIENTOS:**

En primer lugar, quiero agradecer especialmente a mi familia, mis padres Pedro Álvarez y Esther Paramio y mi hermano Pedro Álvarez, el haberme animado a emprender este largo camino que concluye con el presente Proyecto Fin de Carrera. Sin su apoyo y motivación incondicional, nunca hubiera sido posible llegar hasta aquí.

A mi novia Vanesa Rodríguez, que sin duda, es la persona que más ha sufrido conmigo los baches surgidos durante este camino y que me ha ayudado, animado y aconsejado, gracias por ser mi amiga y confidente.

A todas las personas con las que he trabajado durante más de un año para realizar este Proyecto: mi tutor Santiago Martínez quien me dio la posibilidad de realizarlo y con quien tanto he aprendido, mi compañero de proyecto Daniel Del Olmo quien ha estado siempre dispuesto a ayudarme y a los compañeros del departamento, Juan, Raúl, Guille, Jose y Ángela por compartir conmigo su experiencia profesional, haciendo este trabajo más fácil y sobre todo por hacerlo de manera desinteresada.

Por último, a mis amigos de siempre quienes me han animado a llegar hasta aquí, en especial, a Daniel Bruschetta por su tiempo, colaboración y conocimientos para la edición del video que resume todo el trabajo realizado en este Proyecto.

Gracias a todos:

José Álvarez Paramio

**ÍNDICE DE CONTENIDOS:**

<b>AGRADECIMIENTOS:</b> .....	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS:</b> .....	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS:</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS:</b> .....	<b>XIV</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Descripción del proyecto.....	2
1.2 Marco del proyecto. Industrialización de la construcción. ....	3
1.2.1 Ideas generales. ....	3
1.2.2 Proyecto Manubuild. ....	9
1.2.2.1 Resumen del proyecto.....	10
1.2.2.2 Mobile Factory.....	12
1.2.2.3 Sistema Service Core. ....	19
1.2 Objetivos. ....	26
1.3 Alcance del proyecto.....	27
<b>II. ESTADO DEL ARTE EN PROCESOS ROBOTIZADOS DE MECANIZADO Y ENSAMBLADO</b> .....	<b>29</b>
2.1 Robótica y automatización.....	30
2.1.1 Ideas Generales. ....	30
2.1.2 Tipos de automatización industrial. ....	31
2.1.3 Concepto de célula de fabricación flexible.....	31
2.1.4 Necesidad de un sistema robotizado. ....	32
2.2 Robot industrial. ....	35
2.2.1 Definición de robot industrial. ....	35
2.2.2 Historia y evolución de los robots industriales. ....	37
2.2.3 Clasificación del los robots industriales. ....	39
2.2.4 Características generales y justificación del uso de un robot industrial. ....	42
2.2.5 Oferta y elección del robot industrial. ....	47
2.2.6 Procesos robotizados. ....	53
2.2.6.1 Manipulación y procesado de elementos. ....	54
2.2.6.2 Paletización.....	55
2.2.6.3 Operaciones industriales de mecanización.....	56
2.2.6.4 Trabajos en fundición.....	59
2.2.6.5 Montaje y ensamblado. ....	59



DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

2.2.6.6 Inspecciones en lugares inaccesibles y manipulación de residuos tóxicos-peligrosos.....	61
2.2.6.7 Control de calidad y otros campos.....	62
2.2.7 Conclusiones actividad robótica mundial y proyección de futuro.....	64
2.4 Procesos robotizados de ensamblaje.....	67
2.4.1 Concepto.....	67
2.4.2 Aplicaciones.....	69
2.5 Procesos robotizados de mecanizado.....	72
2.5.1 Concepto.....	72
2.5.2 Aplicaciones.....	75
<b>III. DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA ROBOTIZADA .....</b>	<b>83</b>
3.1 Descripción general de la célula de fabricación flexible robotizada. ....	84
3.2 Descripción de las áreas de la célula. ....	86
3.2.1 Área del sistema robótico. ....	87
3.2.2 Área de almacén de material.....	88
3.2.3 Área de trabajo. ....	89
<b>IV. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS PRINCIPALES DE LA CÉLULA ROBOTIZADA .....</b>	<b>90</b>
4.1 Robot IRB2400-16 de ABB. ....	91
4.1.1 Introducción. ....	91
4.1.2 Instalación.....	94
4.1.3 Diagrama de carga.....	95
4.1.4 Montaje de equipos. ....	96
4.1.5 Movimientos y alcance del robot.....	98
4.1.6 Mantenimiento. ....	99
4.1.7 Controlador IRC5.....	100
4.1.8 Robotstudio.....	105
4.2 Herramientas. ....	109
4.2.1 Pinza mecánica.....	109
4.2.2 Garra neumática. ....	112
4.2.3 Herramienta de mecanizado. ....	115
4.3 Sistema de cambio automático de herramienta. ....	136
4.3.1 Introducción. ....	136



5.2.2.3 Creación de puntos y trayectorias. ....	228
5.2.2.4 Creación de programas RAPID. ....	255
5.2.2.5 Simulación. ....	255
<b>VI. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA.....</b>	<b>261</b>
6.1 Puesta en marcha hardware. ....	262
6.1.1 Puesta en marcha del área del sistema robótico. ....	262
6.1.1.1 Integración de la garra neumática. ....	262
6.1.1.2 Integración del cambio de herramienta. ....	264
6.1.1.3 Integración del sistema de almacenaje de herramientas. ....	265
6.1.1.4 Integración del circuito neumático completo. ....	265
6.1.2 Puesta en marcha del área de almacén. ....	268
6.1.2.1 Integración del sistema de almacenaje de los elementos del bastidor. ....	268
6.1.2.2 Integración de sistemas para el subensamblaje de elementos del bastidor. ....	269
6.1.2.3 Integración del circuito neumático del almacén. ....	270
6.1.3 Puesta en marcha del área de trabajo. ....	271
6.1.3.1 Integración del sistema para el ensamblaje del bastidor. ....	271
6.1.3.2 Integración del circuito neumático del área de trabajo. ....	271
6.2 Puesta en marcha software. ....	273
6.2.1 Cambio de señales virtuales a reales en los programas. ....	273
6.2.2 Rutinas de control de los sistemas reales. ....	275
6.2.3 Ajuste de objetivos del programa a la célula robotizada real. ....	276
6.3 Demostración del funcionamiento de la célula robotizada real. ....	277
<b>VII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>283</b>
7.1 Conclusiones. ....	284
7.2 Trabajos futuros. ....	286
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....</b>	<b>288</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>290</b>
9.1 Planos. ....	291
9.2 Programas rapid para el robot real. ....	299
9.2.1 Cambio herramienta. ....	299
9.2.2 Ensamblado del bastidor del módulo de aguas. ....	306
9.2.3 Mecanizado de piezas grandes. ....	327
9.3 Hojas de características. ....	342

## ÍNDICE DE FIGURAS:

### Capítulo I:

Figura I.1: Comparación cronológica entre nº de viviendas terminadas y su valor .....	4
Figura I.2: Seguimiento cronológico del paro entre distintos sectores .....	5
Figura I.3: Concepto de prefabricación en la construcción.....	6
Figura I.4: Factoría robotizada .....	7
Figura I.5: Comparación entre inversión en investigación robótica y productividad humana .....	8
Figura I.6: Grado de automatización en procesos industriales para diferentes sistemas ..	9
Figura I.7: Enfoque del proyecto ManuBuild.....	10
Figura I.8: Transformación del modelo de la construcción .....	12
Figura I.9: Fabricación en factorías y transporte .....	13
Figura I.10: Factoría móvil.....	14
Figura I.11: Dimensiones del contenedor del camión .....	16
Figura I.12: Aproximación de una posible célula de la factoría móvil real .....	18
Figura I.13: Vista general de un Service Core completo .....	20
Figura I.14: SeriviceCore 3D y posible modelo real .....	22
Figura I.15: Canalización de aguas sanitarias .....	23
Figura I.16: Esquema de un sistema de distribución de aguas sanitarias.....	23
Figura I.17: Fijación rápida .....	24

### Capítulo II:

Figura II.1: Diferentes tipos de robots articulados .....	36
Figura II.2: Robot industrial tipo PUMA y Famulus.....	38
Figura II.3: Clasificación de robots industriales por su estructura mecánica.....	40
Figura II.4: Delimitaciones del área de trabajo de un robot.....	42
Figura II.5: Comportamiento de un robot respecto a la frecuencia .....	44
Figura II.6: Robot genérico articulado de 6 GDL.....	45
Figura II.7: Robot IRB-2400 y controlador IRC5 de la marca ABB.....	52
Figura II.8: Máquina de torneado con carga por robot.....	54
Figura II.9: Uso de robot en la integración de microchips.....	55
Figura II.10: Uso de robot en labores de paletización .....	55
Figura II.11: Diferentes procesos de soldadura mediante robots .....	56

Figura II.12: Robots pintando la carrocería de un automóvil.....	57
Figura II.13: Robot puliendo (izquierda). Robot desbarbando piezas (derecha) .....	58
Figura II.14: Robots trabajando en el colado de moldes.....	59
Figura II.15: Robots trabajando en el colado de moldes.....	60
Figura II.16: Inspección de los tubos del generador de vapor en un reactor nuclear .....	61
Figura II.17: Robots en España por actividad .....	63
Figura II.18: Robots en España por sector .....	63
Figura II.19: Previsión de la demanda de robots industriales en sectores no automóvil 65	
Figura II.20: Previsión de la demanda de robots industriales .....	66
Figura II.21: Robot en tareas de anclaje.....	69
Figura II.22: Robot ensamblando piezas.....	70
Figura II.23: Robot SCARA fijando componentes en placas electrónicas .....	71
Figura II.24: Máquina de control numérico .....	74
Figura II.25: Coste de mecanizado en función de las piezas a mecanizar por lote .....	74
Figura II.26: Fresado para la obtención de un molde .....	76
Figura II.27: Ejemplo de funcionamiento de fresado mediante robot .....	77
Figura II.28: Desbarbado de una llanta para automóvil (izquierda) y desbarbado de cremalleras de aluminio y alojamiento para piñones (derecha) .....	78
Figura II.29: Taladrado de un molde de neumáticos .....	80
Figura II.30: Lijado del guardabarros de una moto .....	81
Figura II.31: Pulido de un alerón para automóvil.....	82
Figura II.32: Lijado de la parte trasera del chasis de un coche .....	82

### **Capítulo III:**

Figura III.1: Layout de la célula .....	86
---	----

### **Capítulo IV:**

Figura IV.1: Robot IRB2400-16 y su controlador IRC5.....	91
Figura IV.2: Dimensiones del robot.....	93
Figura IV.3: Elementos de fijación del robot. ....	94
Figura IV.4: Diagrama de carga del robot.....	95
Figura IV.5: Montaje de equipos adicionales en el robot. ....	96
Figura IV.6: Sistema de fijación de la muñeca del robot. ....	97
Figura IV.7: Ejes del robot.....	98

Figura IV.8: Rango de trabajo del robot. ....	98
Figura IV.9: Panel de control del IRC5. ....	101
Figura IV.10: FlexPendant. ....	103
Figura IV.11: Robotstudio 5.11.....	105
Figura IV.12: VirtualRobot Technology.....	107
Figura IV.13: Pinza MHQG-40D .....	109
Figura IV.14: Mecanismo MHQG-40D.....	111
Figura IV.15: Garra VGS3010 .....	112
Figura IV.16: Bomba de succión efecto Venturi.....	113
Figura IV.17: Medidas de la garra VGS3010.....	114
Figura IV.18: Herramienta de mecanizado .....	115
Figura IV.19: Características SM3002.....	116
Figura IV.20 Control trapezoidal.....	117
Figura IV.21: Cálculo del vector de corrientes del estator.....	118
Figura IV.22: ST3002: Dimensiones del montaje .....	118
Figura IV.23: Configuración perpendicular, de ejes cruzados y de ejes paralelos. ....	119
Figura IV.24: Conectores SM3002.....	120
Figura IV.25: Boquilla del SM3002 .....	120
Figura IV.26: Cambio de boquilla. ....	121
Figura IV.27: Conexiones externas del SM3002.....	122
Figura IV.28: Gráfica termistor .....	123
Figura IV.29: Diferentes configuraciones del AFD70.....	125
Figura IV.30: Características AFD. ....	127
Figura IV.31: Diseño de la montura del Sensor AFD70.....	128
Figura IV.32: Diseño de la brida estándar del sensor. ....	128
Figura IV.33: Carga rodamientos ADF70.....	129
Figura IV.34: Conexión de la señal lineal del potenciómetro.....	130
Figura IV.35: Ángulo para el control de fuerza.....	132
Figura IV.36: Configuración neumática. ....	133
Figura IV.37: Conexiones de aire del sensor.....	134
Figura IV.38: Sistema de cambio de herramienta SWS-071.....	136
Figura IV.39: Ejemplo de montaje. ....	137
Figura IV.40: Secuencia de acople (Paso1).....	138
Figura IV.41: Secuencia de acople (Paso2).....	138

Figura IV.42: Sistema de seguridad.....	139
Figura IV.43: Cuerpo SWS-071 .....	140
Figura IV.44: Offset.....	141
Figura IV.45: Conector eléctrico R19.....	142
Figura IV.46: Conector hidráulico FG2.....	143
Figura IV.47: Requisito de diseño para brida robot.....	144
Figura IV.48: Control mecanismo de cambio .....	145
Figura IV.49: Diferentes tipos de perfil de la marca Nikai.....	149
Figura IV.50: Nikai empleado.....	149
Figura IV.51: Interruptor automático.....	150
Figura IV.52: Relé .....	151
Figura IV.53: Datos técnicos del DAC de Krenel.....	153
Figura IV.54: Controlador B30A40AC.....	154
Figura IV.55: Válvulas neumáticas.....	155
Figura IV.56: Ventosas.....	156
Figura IV.57: Bomba de vacío.....	157
Figura IV.58: Interruptor de presión.....	158
Figura IV.59: Regulador de presión.....	159
Figura IV.60: CoolMate 3 .....	160
Figura IV.61: Ejemplo de sistema de saneamiento.....	162
Figura IV.62: Racores bastidor.....	163
Figura IV.63: Sección barras bastidor.....	163
Figura IV.64: Medidas bastidor.....	164
Figura IV.65: Tuberías.....	165
Figura IV.66: Racores saneamiento.....	166
Figura IV.67: Sistema ix-Press.....	167
Figura IV.68: Elementos de fijación.....	168
Figura IV.69: Ejemplos sistema de saneamiento.....	170
Figura IV.70: Mecanizado de piezas grandes.....	171
Figura IV.71: Mecanizado de piezas pequeñas.....	172

**Capítulo V:**

Figura V.1: Componentes garra neumática.....	175
Figura V.2: Factor de seguridad .....	176

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

Figura V.3: Gráfica bomba de vacío.....	177
Figura V.4: Circuito neumático de la garra.....	178
Figura V.5: Especificaciones de la muñeca del robot.....	181
Figura V.6: Especificaciones 1 del plato maestro.....	182
Figura V.7: Especificaciones 2 del plato maestro.....	182
Figura V.8: Brida robot.....	183
Figura V.9: Ensamblaje brida robot.....	184
Figura V.10: Especificaciones plato de herramienta.....	185
Figura V.11: Especificaciones pinza.....	185
Figura V.12: Brida pinza.....	186
Figura V.13: Ensamblaje brida pinza.....	187
Figura V.14: Especificaciones garra.....	188
Figura V.15: Brida garra.....	189
Figura V.16: Ensamblaje brida garra.....	190
Figura V.17: Especificaciones herramienta de mecanizado.....	191
Figura V.18: Brida herramienta de mecanizado.....	192
Figura V.19: Ensamblaje brida herramienta de mecanizado.....	193
Figura V.20: Sistema de almacenaje.....	194
Figura V.21: Posicionamiento de las bridas en el almacén.....	195
Figura V.22: Colocación Sistema de almacenaje de herramientas.....	196
Figura V.23: Circuito de control del cambio de herramienta.....	197
Figura V.24: Circuito de identificación de herramienta.....	198
Figura V.25: Identificación de herramienta.....	199
Figura V.26: Sistema de almacenaje de barras del bastidor.....	203
Figura V.27: sistema de almacenaje de racores del bastidor.....	203
Figura V.28: Posiciones de los racores en su almacén.....	204
Figura V.29: Colocación de los almacenes del bastidor.....	204
Figura V.30: Posición almacén auxiliar.....	205
Figura V.31: Posición almacén baldosas.....	206
Figura V.32: Área de subensamblajes.....	208
Figura V.33: Elementos del sistema para el subensamblaje del bastidor.....	208
Figura V.34: Circuito neumático del área almacén.....	209
Figura V.35: Sistema de guiado y sujeción para el ensamblado del bastidor.....	212
Figura V.36: Circuito neumático del área de trabajo.....	213



Figura V.37: Modelo CAD de la estación.....	218
Figura V.38: Modelos CAD de las herramientas.....	218
Figura V.39: Modelos CAD del material empleado en los procesos.....	219
Figura V.40: Colocación de la estación en Robotstudio. ....	221
Figura V.41: Colocación del robot en Robotstudio. ....	221
Figura V.42: Colocación del plato maestro en Robotstudio. ....	222
Figura V.43: Colocación de las herramientas en Robotstudio. ....	222
Figura V.44: Colocación del material en Robotstudio.....	223
Figura V.45: Datos de herramienta.....	226
Figura V.46: Objetos de trabajo.....	227
Figura V.47: Proceso cambio herramienta. ....	229
Figura V.48: Trayectorias del cambio de herramienta.....	230
Figura V.49: Diagrama de flujo ensamblaje bastidor. ....	231
Figura V.50: Tapa bastidor.....	232
Figura V.51: Base bastidor.....	232
Figura V.52: Bastidor completo. ....	232
Figura V.53: Subensamblaje esquinera.....	233
Figura V.54: Subensamblaje "T". ....	233
Figura V.55: Etapa1 .....	234
Figura V.56: Función HL1. ....	235
Figura V.57: Función HM12. ....	236
Figura V.58: Función HL2. ....	237
Figura V.59: Función Tapa_off. ....	238
Figura V.60: Etapa2.....	239
Figura V.61: Función HL3. ....	240
Figura V.62: Función HC12. ....	241
Figura V.63: Función HL4. ....	242
Figura V.64: Función HC34.....	243
Figura V.65: Función HL5. ....	244
Figura V.66: Función HC56.....	245
Figura V.67: Función HL6. ....	246
Figura V.68: Etapa3.....	247
Figura V.69: Función V1, V2, V3 y V4.....	248
Figura V.70: Función Tapa_On.....	249

Figura V.71: Ensamblaje del bastidor completo.....	250
Figura V.72: Mecanizado de piezas grandes. ....	251
Figura V.73: Diagrama de flujo del mecanizado de piezas grandes.....	251
Figura V.74: Función cojo y dejo baldosa. ....	253
Figura V.75: Funciones Corto pieza. ....	254
Figura V.76: Simulación cambio pinza.....	256
Figura V.77: Simulación cambio garra. ....	256
Figura V.78: Simulación cambio herramienta mecanizado. ....	257
Figura V.79: Simulación ensamblado bastidor Etapa1.....	257
Figura V.80: Simulación ensamblado bastidor Etapa2.....	258
Figura V.81: Simulación ensamblado bastidor Etapa3.....	259
Figura V.82: Simulación mecanizado baldosa Etapa1.....	259
Figura V.83: Simulación mecanizado baldosa Etapa2.....	260

#### **Capítulo VI:**

Figura VI.1: Cable garra neumática.....	263
Figura VI.2: Puesta en marcha de la garra neumática.....	263
Figura VI.3: Puesta en marcha de bridas y sus ensamblajes. ....	264
Figura VI.4: Puesta en marcha del sistema de almacenaje de herramientas. ....	265
Figura VI.5: Puesta en marcha del circuito neumático. ....	266
Figura VI.6: Puesta en marcha del circuito neumático (bis).....	267
Figura VI.7: Puesta en marcha de sistemas de almacenaje de elementos del bastidor. ....	268
Figura VI.8: Puesta en marcha del almacén auxiliar. ....	269
Figura VI.9: Puesta en marcha del sistema de subensamblajes para el bastidor. ....	269
Figura VI.10: Puesta en marcha del circuito del almacén.....	270
Figura VI.11: Puesta en marcha del sistema de ensamblaje para el bastidor. ....	271
Figura VI.12: Puesta en marcha de circuito neumático del área de trabajo. ....	272
Figura VI.13: Proceso cambio pinza.....	277
Figura VI.14: Proceso cambio garra. ....	278
Figura VI.15: Proceso cambio herramienta mecanizado. ....	278
Figura VI.16: Etapa1 del proceso de ensamblado del bastidor. ....	279
Figura VI.17: Etapa2 del proceso de ensamblado del bastidor. ....	280
Figura VI.18: Etapa3 del proceso de ensamblado del bastidor. ....	281
Figura VI.19: Etapa1 proceso de mecanizado.....	281

Figura VI.20: Etapa2 proceso de mecanizado..... 282  
Figura VI.21: Resto de piezas fabricadas..... 282

## ÍNDICE DE TABLAS:

### Capítulo II:

Tabla II.1: Clasificación de robots según la AFRI .....	41
Tabla II.2: Clasificación de robots por generaciones.....	41
Tabla II.3: Comparación entre robot industrial y una máquina control numérico .....	46
Tabla II.4: Características deseables de un robot según su aplicación .....	49
Tabla II.5: Lista de posibles robots industriales articulados .....	50
Tabla II.6: Lista de controladores para los posibles robots industriales articulados .....	51
Tabla II.7: Ventajas y desventajas del robot IRB-2400 de ABB.....	52

### Capítulo IV:

Tabla IV.1: Movimientos del robot. ....	98
Tabla IV.2: Panel de control del IRC5.....	101
Tabla IV.3: FlexPendant. ....	103
Tabla IV.4: Características de la pinza MHQG-40D.....	110
Tabla IV.5: Mecanismo MHQG-40D .....	111
Tabla IV.6: Características garra VGS3010.....	114
Tabla IV.7: Características sistema cambio herramienta. ....	141
Tabla IV.8: Mantenimiento preventivo del sistema de cambio de herramienta. ....	148
Tabla IV.9: Rango de funcionamiento del controlador analógico.....	154
Tabla IV.10: Características Controlador analógico.....	154
Tabla IV.11: Características válvulas. ....	155
Tabla IV.12: Características ventosas.....	156
Tabla IV.13: Características bombas de vacío. ....	157
Tabla IV.14: Características interruptor de presión.....	158
Tabla IV.15: Características regulador de presión.....	159
Tabla IV.16: Características sistema refrigerador. ....	160
Tabla IV.17: Sección barras bastidor.....	163
Tabla IV.18: Elementos del bastidor del módulo de aguas.....	164
Tabla IV.19: Elementos del sistema de saneamiento del módulo de aguas.....	169

**Capítulo V:**

Tabla V.1: Funciones de la garra neumática. ....	179
Tabla V.2: Código de identificación de herramienta. ....	200
Tabla V.3: Almacenes de elementos del bastidor.....	202
Tabla V.4: Funciones del circuito neumático del área de trabajo.....	214
Tabla V.5: Posiciones de las herramientas.....	223
Tabla V.6: Posiciones del material. ....	224
Tabla V.7: Datos de herramienta. ....	225
Tabla V.8: Objetos de trabajo.....	226
Tabla V.9: Tabla de eventos. ....	228

**Capítulo VI:**

Tabla VI.1: Conexiones del cable de la garra.....	263
Tabla VI.2: Correspondencia entre señales virtuales y reales. ....	274
Tabla VI.3: Ajuste de objetos de trabajo a la célula real. ....	276



# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Descripción del proyecto.

Este Proyecto Fin de Carrera se basa en el diseño y puesta en marcha de una célula de fabricación flexible robotizada, que realice distintos procesos de ensamblaje y mecanizado del sector de la construcción.

Dicha célula, es una reproducción de una factoría móvil llamada Mobile Factory, incluida dentro de uno de los proyectos de colaboración europeos del Sexto Programa Marco de la Comisión Europea (6FP) llamado **ManuBuild**, el cual se explica detalladamente más adelante. La idea principal y objetivo del proyecto ManuBuild consiste en realizar el salto del proceso constructivo tradicional (construcción en la obra, agentes del proceso mal integrados y coordinados, etc.) a un proceso que aproveche las ventajas de la industrialización, tomando ejemplos de lo que ocurre en otros campos, como el automovilístico o el aeronáutico.

La célula, basa su funcionamiento en un brazo robótico comercial **IRB2400-16** de la marca ABB. Por tanto, los diseños realizados, tanto hardware como software, serán los necesarios para que el robot pueda realizar los procesos deseados. El diseño hardware consiste en los diseños electrónicos y mecánicos necesarios para la implementación de los sistemas físicos de los que está compuesta la célula. Por otro lado, el diseño software consiste en el diseño de los procesos de mecanizado y ensamblado a realizar y en el diseño de una célula robotizada virtual que permita la simulación de los mismos y la transferencia de programas robóticos del ordenador al robot.

Además del diseño de la célula, se ha llevado a cabo su puesta en marcha en el laboratorio del departamento de Sistemas y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid, verificando el correcto funcionamiento de los distintos sistemas y realizando los procesos y demostraciones convenientes.

## **1.2 Marco del proyecto. Industrialización de la construcción.**

### **1.2.1 Ideas generales.**

Durante los últimos siglos el método de construcción se ha mantenido casi constante, habiendo evolucionado únicamente mediante las mejoras tecnológicas en las herramientas utilizadas, pero nunca se ha tratado de realizar un cambio de mentalidad en la consecución del proceso general de la construcción.

Este método, el tradicional, es actualmente el más extendido habiéndose probado y contrastado su eficacia, se basa en el transporte de los materiales al lugar de construcción, en el que se llevarán a cabo las diferentes labores, las cuales resultan muy difíciles de coordinar dada la total diversidad de características y necesidades de cada proceso. Esto suele conllevar ineficacias tales como esperas innecesarias en procesos dependientes de los recursos generados por otro proceso, en la dependencia de varios procesos de los mismos recursos o en la incapacidad de realizar varios procesos simultáneamente.

Se puede incluso catalogar de un proceso altamente artesanal y habitualmente destructivo, en el sentido de que para pequeños trabajos se pueden generar grandes cantidades de escombros, deteriorando innecesariamente el medio local produciendo mayor contaminación ambiental. Igualmente se hace complicado el mantenimiento o la posible reparación debido a la dificultad de registro, inspección y accesibilidad de la instalación, resultado de esta forma muy incómodo efectuar posibles cambios de distribución.

El sector presenta, como hemos observado, una serie de ineficiencias. Industrializar la totalidad del proceso mejoraría considerablemente la situación actual, pero a pesar de todo se ha visto profundamente obstaculizada por la visión tradicional y conservadora del sector, además de por una rentabilidad contrastada durante décadas y que hacía más complicado la renovación y reestructuración del sector.



Debido a que la construcción de viviendas se incrementó mucho de unos años a esta parte, ha gozado de un gran volumen de trabajo, ha resultado igualmente eficiente y rentable su construcción según el método tradicional, quedándose por detrás de las demás en cuanto a desarrollo tecnológico e integración.

Puede que a nivel español, tras la crisis que atraviesa el sector debido a una drástica reducción en el volumen de ventas de edificios, y por consiguiente de los ingresos, se tomen nuevas medidas en este sentido, que proporcionen un sistema más sostenible y rentable a la par que eficiente. A continuación se explica brevemente la situación ocurrida mediante un estudio realizado [1].

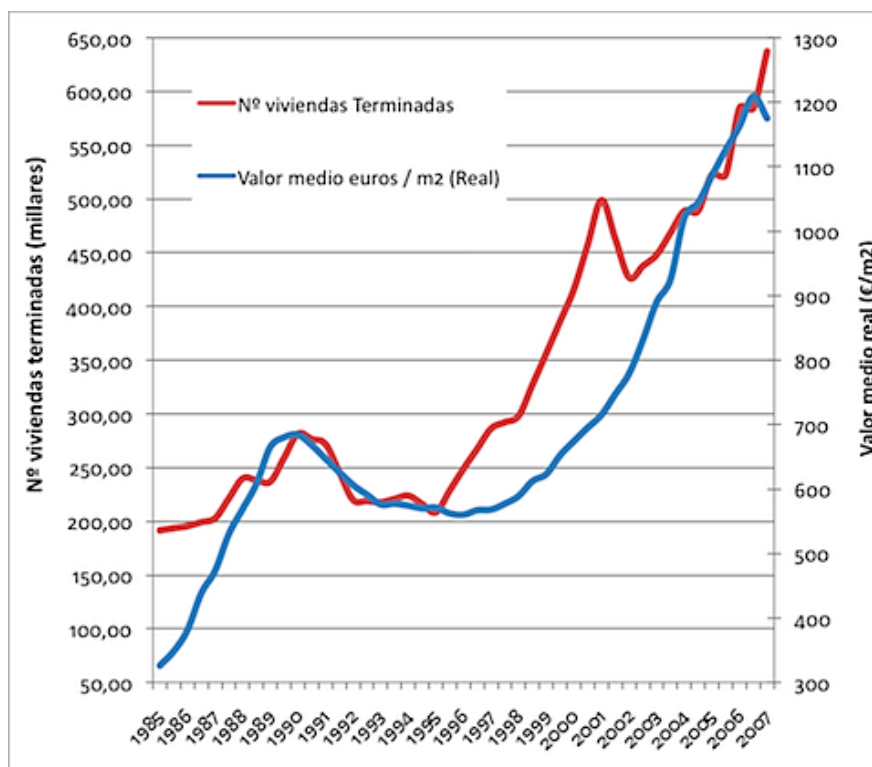


Figura I.1: Comparación cronológica entre nº de viviendas terminadas y su valor

La anterior figura muestra la progresión entre el nº de viviendas terminadas y el valor medio de tales viviendas. Se puede observar que aunque los valores de tasación ya están cayendo, la oferta de pisos no deja de aumentar y alcanza un nuevo máximo en el último semestre del año. Que la oferta aumente cuando la demanda se ha reducido y los precios están cayendo no parece un augurio de otra cosa que no sea mayores descensos.

En la siguiente imagen se puede observar como el sector de la construcción demandaba una mano de obra muy artesanal, poco cualificada, debido a que los procesos desarrollados para la construcción de viviendas seguían una mentalidad muy tradicional. De esta forma cuando llegan épocas de caídas en las ventas, y por tanto, en la producción, se destruye mucho más empleo que en el resto de sectores. Comparando el sector de la construcción directamente con el de la industria se puede observar como la variación del paro es mucho en la construcción.



Figura I.2: Seguimiento cronológico del paro entre distintos sectores

Con estos datos, se ve claramente como el sector de la construcción precisa de cambios que produzcan mucha mayor estabilidad y por añadidura una mayor calidad tanto de producto como de oferta para los consumidores.

Otras industrias han adoptado estrategias organizativas y energéticas que les han llevado a conseguir reducir los costes de producción y mejorar la productividad tanto a nivel de rapidez y volumen como de calidad de los productos finales (por ejemplo, la implementación de sistemas CIM, sistemas de fabricación integrada por ordenador, y sistemas de fabricación flexibles). La industria de la vivienda necesita un cambio en el sistema de fabricación a fin de lograr beneficios similares de tal forma que los usuarios se vean también beneficiados.

Algunas de las técnicas y estrategias más utilizadas adaptadas favorablemente en otras industrias, especialmente en la aeronáutica, naval, automoción, química o farmacéutica, son:

- ERP: Sistemas de planificación de recursos
- Sistemas de diseño CAD (asistidos por computador) orientados a objetos.
- JIT: “Just in time” o producción en el mismo tiempo.
- DFMA: Diseño para la fabricación y el ensamblado.
- Diseño de prototipos y análisis de herramientas.
- Coordinación, inteligencia en campo. Optimización centralizada.
- Modelos de integración, PERA, SP95.
- Descripción utilizando XML
- IAM-CMM: Control Maintenance & Management

Para conseguir unos beneficios similares a las industrias mencionadas, el sector de la construcción está actualmente estudiando y desarrollando aplicaciones relacionadas con éstos y otros conceptos y técnicas. El concepto de **prefabricación** está muy presente en estos desarrollos. Al querer mantener los beneficios que han tenido hasta ahora, y haber bajado la demanda y por consiguiente los ingresos, se deben reducir los costes, tanto fijos como variables.

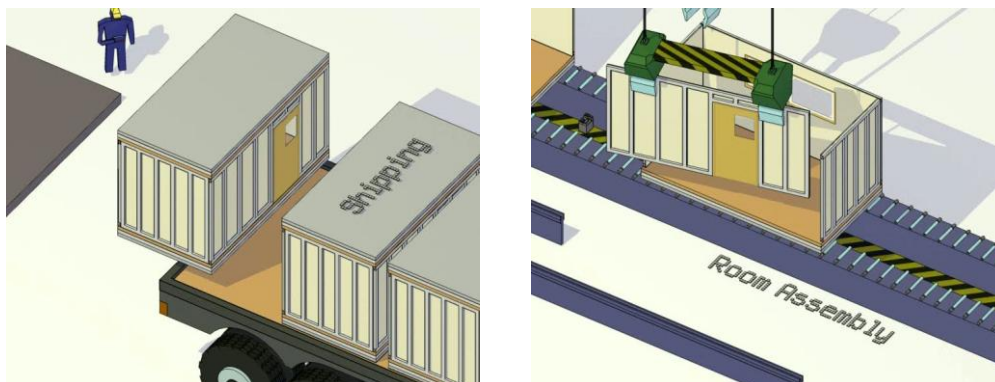


Figura I.3: Concepto de prefabricación en la construcción

Como ya se explicará con mayor detalle, dentro del concepto de prefabricación en la construcción existen dos alternativas: la producción a pie de obra y la producción en fábricas. Dependiendo del proceso puede resultar más rentable una u otra. La principal

diferencia radica en los costes de transporte, implementación, carga y descarga que pueden resultar decisivos.

Uno de los principales enfoques dentro de los intentos de industrialización, basado en la prefabricación, es la **automatización y robotización** de los procesos constructivos. Automatizar y robotizar los diferentes procesos, en el sector de la construcción, llevaría consigo una serie de ventajas:

- Menor dependencia de mano de obra directa. Más calidad, evitar repetitividad a los operarios, cualificación de mano de obra.
- Incremento de productividad. Aumento de velocidad de producción
- Mejora de la seguridad. Sistemas más seguros para el hombre.
- Incremento de la calidad. Reducción de la variabilidad.
- Ventajas competitivas. Reducción de costes de producción
- Mejor control del proceso. Mejor gestión de problemas.
- Mayor control del resultado final.
- Mejora de la flexibilidad. Sistemas multitarea.
- Evitar labores tediosas.
- Reducir daños al medio ambiente o a los equipos.
- Precios, productos y costos de producción son conocidos por todos los participantes, se reduce la especulación.
- Los consumidores seleccionan el mejor producto al mejor precio.
- Respuesta rápida a los requerimientos del mercado.

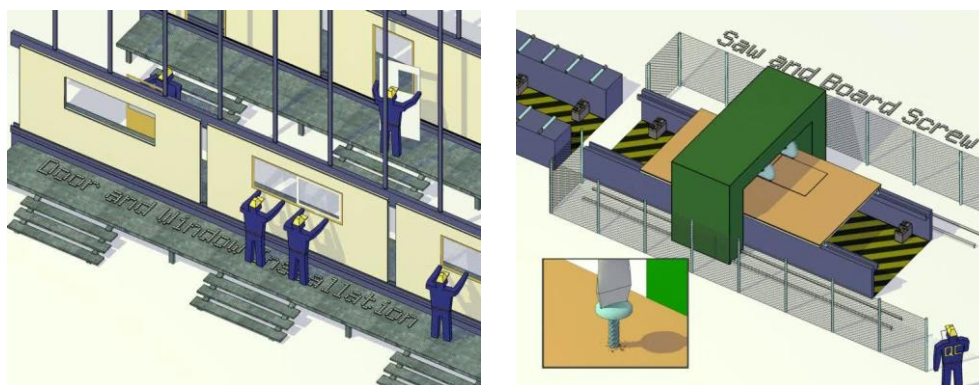


Figura I.4: Factoría robotizada

Por tanto el desarrollo de factorías robotizadas ayuda a mejorar el proceso global en línea con las características comentadas, y son completamente compatibles con el desarrollo de conceptos de prefabricación de los elementos constructivos.

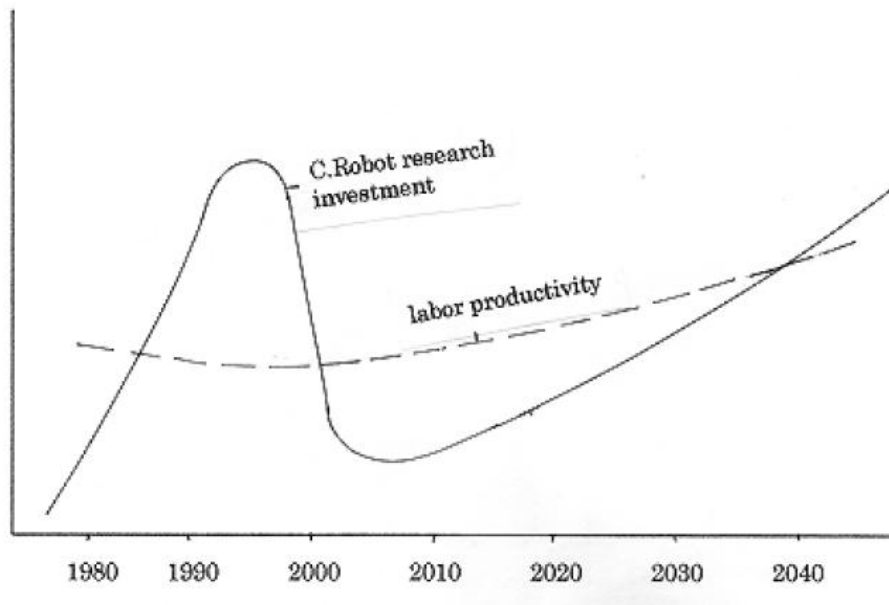


Figura I.5: Comparación entre inversión en investigación robótica y productividad humana

Como se puede observar en la figura anterior, en la productividad de la mano de obra no ha tenido lugar una variación muy alta desde hace ya varias décadas, ni tampoco se espera que aumente demasiado. Mientras que la inversión en investigación para la construcción robotizada tuvo un gran auge en los años 90 cayendo drásticamente el año 2000. A día de hoy debido a las limitaciones anteriormente expuestas del sistema tradicional y a las nuevas mejoras tecnológicas la inversión en robótica para el sector está aumentando considerablemente.

### 1.2.2 Proyecto Manubuild.

ManuBuild es la visión de un futuro donde los clientes podrán comprar edificios de alta calidad, fabricados y diseñados con un alto grado de flexibilidad y de bajo costo en comparación con los de hoy en día [2]. Por primera vez, el diseño de los edificios podrá ser de concepción variable, mientras que se enfoca la producción de forma industrializada, siendo esto último mucho más eficiente.

El presente Proyecto Fin de Carrera se encuentra enmarcado dentro del proyecto de colaboración de investigación europeo MabuBuid, adscrito al sexto Programa Marco de la Comisión Europea, que tiene una duración de cuatro años (2005-2009). El proyecto describe un cambio en la filosofía y en la forma de concebir el proceso de la construcción. Este cambio, como ya hemos comentado, trata de modificar el enfoque actual, un proceso algo anticuado, por uno más integrado, abierto, eficiente y seguro, siendo la línea básica de trabajo la industrialización y automatización de todo el proceso.

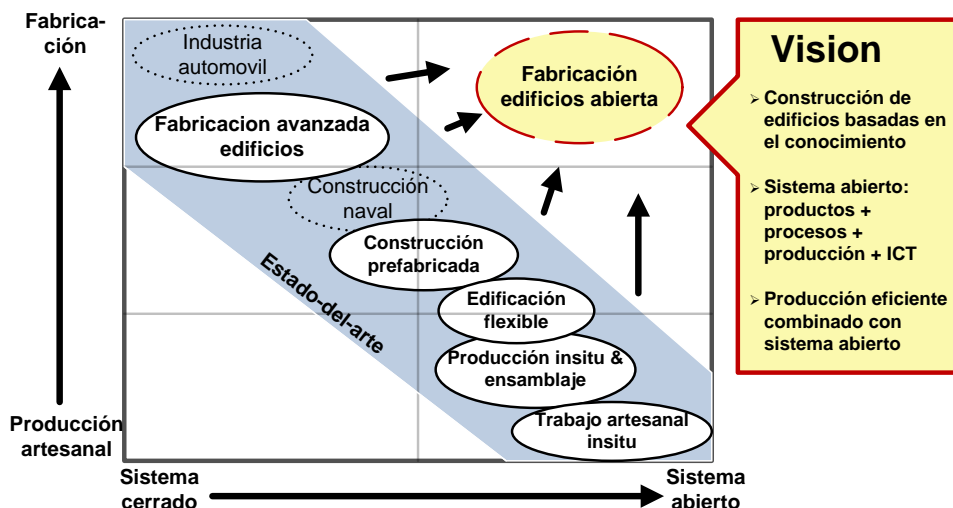


Figura I.6: Grado de automatización en procesos industriales para diferentes sistemas

Se pretende que la base de este cambio sean también nuevos materiales, y tecnologías y componentes inteligentes. Los puntos principales incluyen una reducción significativa en el número de accidentes laborales, de residuos, de costos y de tiempo en la construcción de edificios. Esto permitirá a Europa mejorar su parque de viviendas, al tiempo que se liberan recursos que pueden ser asignados a otros sectores industriales.

Entre los diferentes participantes europeos cabe destacar algunos como la empresa metalúrgica inglesa CORUS (coordinadora del proyecto), la constructora y promotora sueca NCC, la promotora inglesa Taylor Woodrow o el Centro de Investigación Tecnológico VTT en Finlandia. Las empresas españolas involucradas en el proyecto son la constructora DRAGADOS, la Empresa Municipal de la Vivienda y el Suelo de Madrid EMVS, la constructora FCC, el centro tecnológico Labein y la Universidad Carlos III de Madrid.

### 1.2.2.1 Resumen del proyecto.

El cambio de filosofía en la forma de concebir la producción de Manubuild se centra y desarrolla en la unión de cuatro características indispensables:

- **Producción abierta en la construcción**, mayor innovación y mayor flexibilidad.
- **Métodos de fabricación en un nuevo ambiente** (segmentación, automatización de los subprocesos, fabricación a distancia, componentes transportables, ensamblado en el propio lugar de preparación, etc.).
- **Nuevos procesos de negocio que se centran en el aumento del valor.**
- Mediante **las Tecnologías de Información y Comunicación (ICT)** se apoya a los procesos de negocio de forma adecuada para conseguir obtener edificios personalizados, flexibles, accesibles y sostenibles, mejorando la calidad de vida de vida del usuario y ofreciéndole mayor valor mediante servicios relevantes.

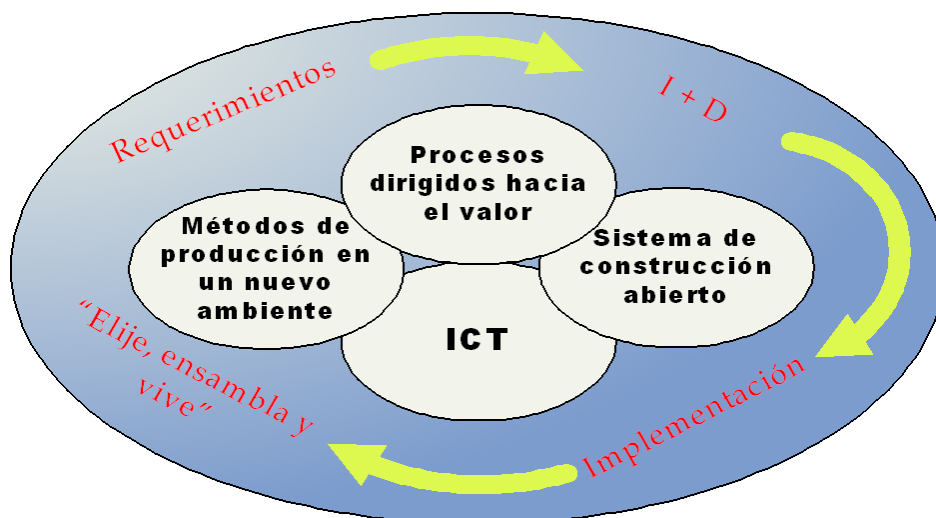


Figura I.7: Enfoque del proyecto ManuBuild

El objetivo industrial es, por tanto, crear un sistema de fabricación de edificios abierto, estableciendo un nuevo paradigma en la producción de edificios mediante la combinación de la producción eficiente en las fábricas y en obra, y estableciendo un sistema abierto de componentes y productos que aseguren la diversidad de proveedores en un mercado abierto. Como se puede observar en la imagen anterior, la forma de actuar es la siguiente:

- Se parte de unos requerimientos del usuario mediante encuestas por Internet y nuevas tecnologías. De esa forma establecemos un modelo desde los distintos patrones, y según su índice de importancia para el usuario. El modelo estará limitado por las características de producción.
- Mediante un proceso de investigación y desarrollo se obtiene un sistema capaz de obtener el modelo final, que será el obtenido con las especificaciones técnicas del sistema real, quiere decirse que pueda ser desarrollado físicamente en la realidad. Mediante estas nuevas tecnologías, se puede variar la fabricación adaptándola a la demanda. De esta forma se obtiene un sistema flexible que se adecua rápidamente a las necesidades de mercado.
- De esta forma se obtiene el modelo “Elige, Ensambla y vive”, un eslogan en el que se reflejan las características fundamentales de la nueva percepción en la construcción de edificios. Viviendas personalizadas, flexibles y que proporcionan gran calidad de vida.

Los resultados se validarán y demostrarán en varios proyectos de edificación desarrollados por socios industriales en colaboración con varios ayuntamientos. Para el desarrollo del proyecto se estima un presupuesto de más de 18 millones de euros. Algunos de los impactos potenciales que pretende alcanzar el proyecto son:

- Reducción de costes en más de un 50%.
- Reducción de tiempos en más del 70%.
- Reducción de accidentes laborales en un 90% y mejora de la satisfacción laboral.
- Nuevas oportunidades de negocio.
- Reducción de residuos.
- Mayor valor a los usuarios.



Los elementos clave del sistema abierto de fabricación y construcción que propone ManuBuild incluyen los conceptos de construcción abierta, los procesos de negocio, las tecnologías de producción, y el apoyo de tecnologías de información y comunicación (ICT).

El enfoque integrado de las actividades de I+D+i se basa en la búsqueda y desarrollo de cuatro objetivos técnicos y científicos, que persiguen la creación del sistema de construcción abierto de la manera que vemos en la siguiente figura:

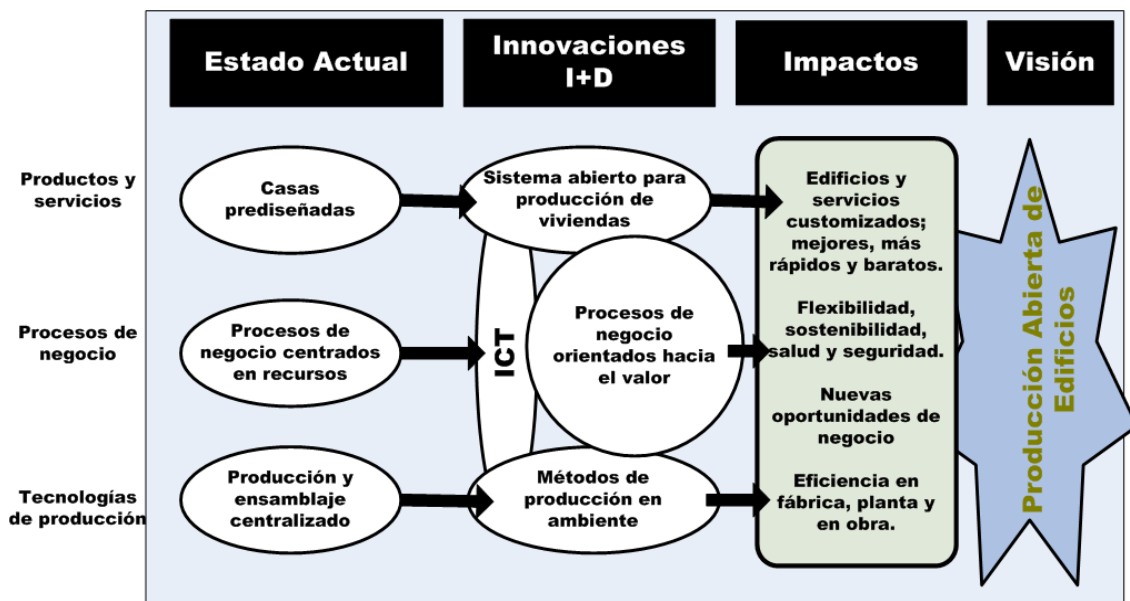


Figura I.8: Transformación del modelo de la construcción

### 1.2.2.2 Mobile Factory.

Como ya se ha podido comprobar cada vez resulta más cómodo, eficaz y rentable aplicar un enfoque diferente del actual en el sector de la construcción. Este cambio consiste en realizar un proceso más industrializado e integrado, tal como se procede en otros sectores como el de la automoción o el aeronáutico. En dichos sectores se ha conseguido una gran productividad gracias sobre todo a conceptos como la estandarización de los componentes del proceso o de planificación y diseño integrado del proceso, también ha tenido cierta importancia la cuestión de reducción de desperdicios. Sin embargo el concepto de prefabricación es clave para avanzar en la

industrialización de los procesos y presente en todos los principios anteriormente expuestos.



**Figura I.9: Fabricación en factorías y transporte**

En el sector de la construcción, las aplicaciones de prefabricación en industrias están poniendo típicamente de manifiesto que uno de los factores clave para desarrollar estas técnicas es el coste de transporte, de implantación, carga, descarga y montaje de las instalaciones necesarias en la obra. Estos costes son uno de los mayores déficits que se plantea frente a otros métodos alternativos. A la hora de evaluar los costes de transporte son factores importantes: el valor de la mercancía, el coeficiente de transporte (no transportar aire), y la cantidad.

Muchas veces, el coste de carga, transporte y descarga de unidades prefabricadas es tan alto, que no resulta beneficioso frente al método tradicional. Conviene entonces estudiar posibles mejoras en este apartado, como puede ser disponer de un equipo propio de traslado y conseguir que el proceso de descarga y montaje de los equipos sea ágil y fluido mediante procesos semi-automatizados.

Si continua no siendo rentable la aplicación de la prefabricación en industrias se tiende a implantar una factoría temporal en la obra. De esta forma una vez montados los equipos solo se deberá suministrar materia para producir unidades a pie de campo, y consiguiendo desarrollar ventajas derivadas de la automatización y robotización de procesos, consiguiéndose un mayor grado de industrialización del proceso constructivo.



Figura I.10: Factoría móvil

Una factoría móvil sería un desarrollo intermedio entre la fabricación tradicional y el uso de talleres temporales en obra, una factoría que se transporta, monta, usa y desmonta fácilmente y presenta flexibilidad en cuanto a los procesos que es capaz de realizar. Cuenta con las mismas posibilidades que una factoría temporal en obra y además conlleva adaptaciones y ventajas para adaptarse al trabajo de campo.

Esta factoría aglutinaría por tanto las ventajas de la robotización y las posibles derivadas de las características logísticas del proyecto en cuestión como las propiamente señaladas de una factoría temporal en obra, como son la productividad y rentabilidad de los equipos. Se compone básicamente de una célula robótica transportada en un camión estándar, y diseñada para procesos concretos dentro del trabajo a pie de obra. Esta célula robótica dispondría del software y hardware complementario diseñado específicamente para que se garantice una automatización del proceso, tanto a la hora de desarrollar los productos finales como en el suministro y recogida del material final.

Las características técnicas de esta factoría dependen de multitud de factores. Una primera clasificación a tener en cuenta en el desarrollo es la que se refiere a las tareas que se podrán realizar.

Las tareas más típicas que puede desarrollar un sistema automático son:

- Suministro y recogida de material.
- Ensamblado: tareas simples y complejas.
- Procesos de fabricación: corte, taladrado....
- Manipulación de materiales: de diferentes pesos y tipos.
- Distribución de materiales: con o sin tratamiento.
- Preparación: para otras tareas, como el tratamiento.
- Acabados: para dotar de ciertas características al producto.
- Inspección: para verificar propiedades.

Además, existen otros factores a tener en cuenta a la hora de generar un desarrollo de este tipo, como por ejemplo:

- La arquitectura del sistema: una máquina, complejo, etc.
- Flexibilidad del sistema: Multitareas o máquinas especializadas.
- Movilidad: Sistemas fijos o móviles.
- Autonomía: Sistemas autónomos, controlados, o mixtos.
- Sistema de control: inexistente, lazo abierto o lazo cerrado (realimentación).
- Monitorización y visualización del proceso: SCADA.

Teniendo en mente todos estos factores, se introduce el concepto de la Factorial Móvil. Este Proyecto Fin De Carrera persigue diseñar, configurar e integrar una posible Factoría Móvil en lo que se refiere a diseños software y hardware, selección de herramientas, componentes y tareas, etc., para estar dotada de las principales características expuestas con anterioridad.

Con todo ello se realiza el diseño de una célula genérica, mostrada en la siguiente figura, concebida como parte del proyecto Manubuild, en la que se observa el despliegue del contenedor de la factoría, sus dimensiones y principales características.

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

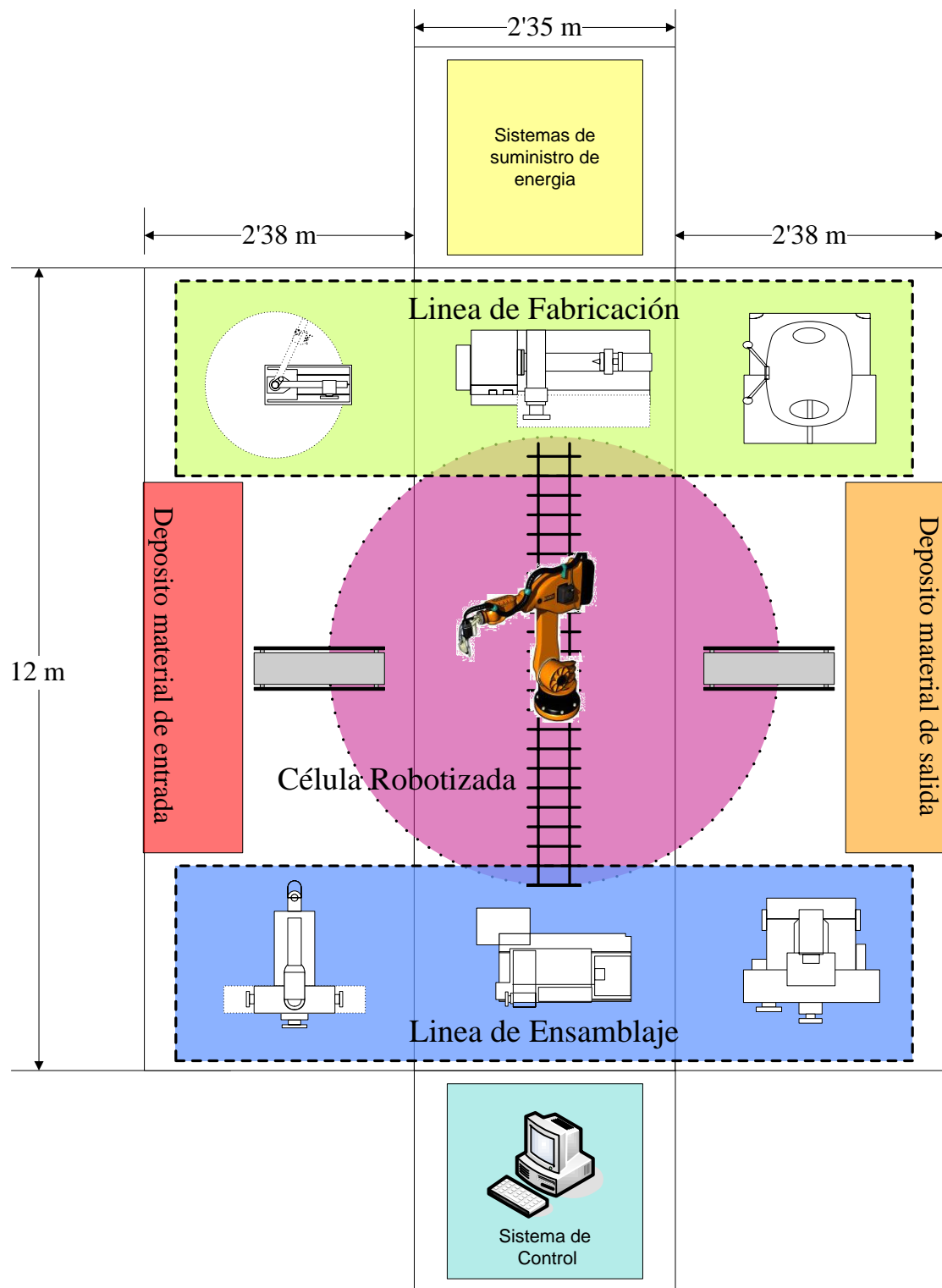


Figura I.11: Dimensiones del contenedor del camión

Como vemos, sus dimensiones principales son:

- Longitud: Contenedor cerrado → 6000 mm. Abierto → 10760 ó 12000 mm
- Anchura: Cerrado → 2350 mm. Abierto → 4730 ó 7110 mm.
- Altura: 2380 mm desde la base del contenedor.
- Área de operación: desde 28.38 hasta 76.5 m<sup>2</sup>.

Las variaciones en las dimensiones se refieren a la posibilidad de abrir dos, tres o las cuatro hojas.

Las distintas áreas de la célula son:

- 2 zonas de procesos: Una primera aproximación a la arquitectura del proceso es dividir el proceso de producción en dos líneas: una línea de fabricación y otra línea de montaje:
  - Zona o Línea de Fabricado (“Manufacturing Line”). A pesar de que la célula de producción esta principalmente orientada al montaje de piezas prefabricadas es necesario un pre-proceso auxiliar en algunos componentes antes de la integración definitiva.
  - Zona o Línea de Ensamblaje (“Assembly Line”). Aquí se desarrollaran los procesos de montaje y ensamblado finales, combinándose diferentes elementos posibles, elementos pre-ensamblados y material proveniente del almacén de material.
- 2 zonas de almacén de productos (“Ware House Material”). Se pretende desarrollar un sistema de distribución automatizada tanto de material de suministro como de salida de productos terminados.
- 1 robot-manipulador industrial.
- 4 posibles zonas de almacén de herramientas (“Tool warehouse areas”) situadas dentro de la célula robotizada que deben ser muy accesibles al robot.

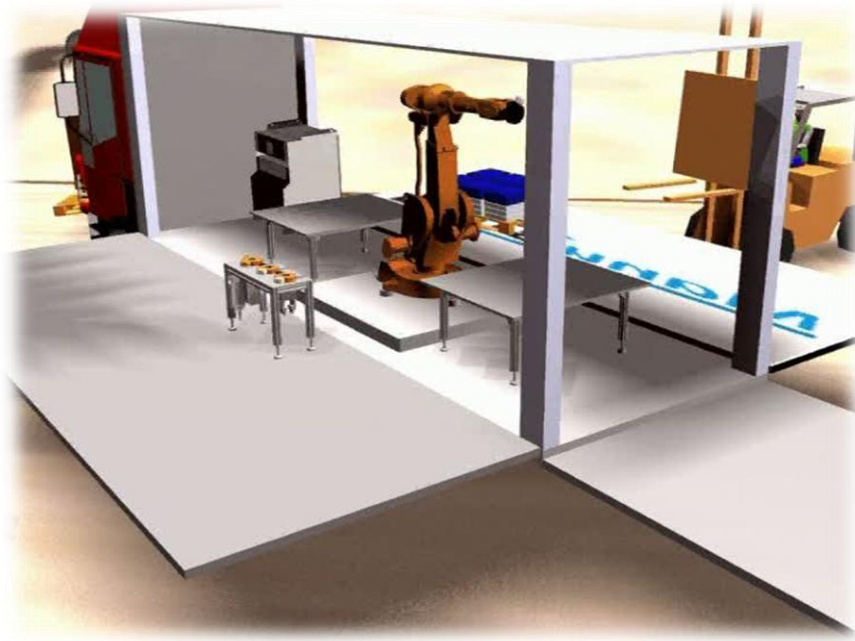


Figura I.12: Aproximación de una posible célula de la factoría móvil real

Este diseño general nos permite cumplir las restricciones principales. En resumen, el compendio de ventajas que se obtienen al utilizar la factoría móvil en el proceso constructivo se pueden clasificar en:

- **Tiempo:** Se optimiza el uso del tiempo, utilizando menos tiempo en realizar tareas y procesos. Se posibilita la opción de un trabajo continuado. Se reduce el volumen de los materiales que se transportan a la obra.
- **Económicas:** Se reducen los gastos de transporte, incluyendo amplias posibilidades de planificación logística. Se reduce el volumen de los materiales transportados. Se reducen los tiempos y costos de montaje y desmontaje de los equipos. Se reduce las ineficiencias y pérdidas de material.
- **Calidad:** Se aumenta el rendimiento del proceso y la precisión de las tareas. Una buena planificación ayudaría a reducir la cantidad de materiales y de mediciones necesarias.
- **Flexibilidad:** La célula debe controlarse remotamente estando preparada para poder acometer y desarrollar un nº limitado y preestablecido de procesos.
- **Productividad:** Inversamente proporcional al tiempo utilizado, al automatizar todo el proceso podremos realizar mayor cantidad de componentes con los mismos costes fijos, y reduciendo los costes variables.

Como se observa, puede resultar muy rentable realizar procesos en la construcción mediante nuevas tecnologías, y mediante nuevos caminos para enfocar los diferentes procesos. Esto es la compatibilización de la segmentación e integración, de tal forma que los diferentes módulos de trabajo de factorías móviles trabajen de coordinada y complementaria.

El resultado final a primera vista son mayoritariamente ventajas, mejor aprovechamiento de los recursos, rentabilidad económica, mayor productividad en menos tiempo y sobre todo mejora en la calidad del producto final. También existen otras ventajas derivadas, como pueda ser mayor flexibilidad en la distribución de las viviendas o mejorar considerablemente las posibilidades de reforma o modificación por avería de componentes estructurales. La mayor desventaja a todas luces, es el desembolso inicial para acometer el proyecto, ya que es necesario estudiar inicialmente los procesos en que se divide la construcción de las viviendas, y luego llevarlos a cabo mediante productos altamente tecnológicos. También se produce un gran escepticismo en el sector hasta que se puedan obtener los primeros resultados.

### **1.2.2.3 Sistema Service Core.**

Uno de los productos que pretende producir, en línea con la filosofía del proyecto ManuBuild y las tendencias de industrialización en la construcción, es el **Service Core**, un módulo vertical de instalaciones que se explica más detalladamente en el siguiente apartado. Otra aplicación de la factoría móvil será realizar diferentes mecanizados de baldosas, azulejos, tejas o ladrillos para el uso en diferentes partes de las edificaciones.

En la construcción tradicional, como se ha comentado anteriormente, la realización de las instalaciones se efectúa mediante rozas en los tabiques ya construidos, lo que produce escombros, fisuras y otras ineficiencias como la dificultad de registro y mantenimiento. La utilización de patinillos que concentran las instalaciones verticales mejora el proceso, evitando la generación de escombros y mejorando la accesibilidad y posibilidad de mantenimiento, pero comparte el problema de la difícil coordinación con otros procesos como la albañilería.



Es por eso que surge la idea de realizar instalaciones incluidas en módulos prefabricados, llamados núcleos de servicio o Service Core. Estos módulos se realizan de forma manual y se plantea su fabricación para mejorar el proceso de puesta en obra. A continuación se introduce y se explica el concepto de Service Core, lo que nos ayudará a familiarizarnos con sus componentes y características.

- **Definición:**

El producto que planteamos para una posible fabricación mediante el concepto de Mobile Factory es el denominado como Service Core. Este producto es un módulo prefabricado de aguas, es decir, un núcleo de instalaciones verticales que transporta todas las bajadas de agua de un edificio, como pueden ser el sistema de agua caliente sanitaria (ACS) y agua fría, desagües, calefacción, etc. Un módulo comprende el tramo de instalaciones que corresponde a una planta y/o vivienda. El conjunto o unión de todos los módulos es lo que se denomina Service Core.

El Service Core se diseña para ser incluido en un módulo compartido por las cocinas y baños de las viviendas, lo que facilitaría la puesta en obra y el futuro mantenimiento, ya que se podrían localizar y reparar las averías mucho más rápidamente o a la hora de realizar modificaciones en la estructura de la vivienda. Para aportar la debida flexibilidad el Service Core debe tener en cuenta diferentes materiales, diferentes configuraciones y diferentes tipos de instalaciones.

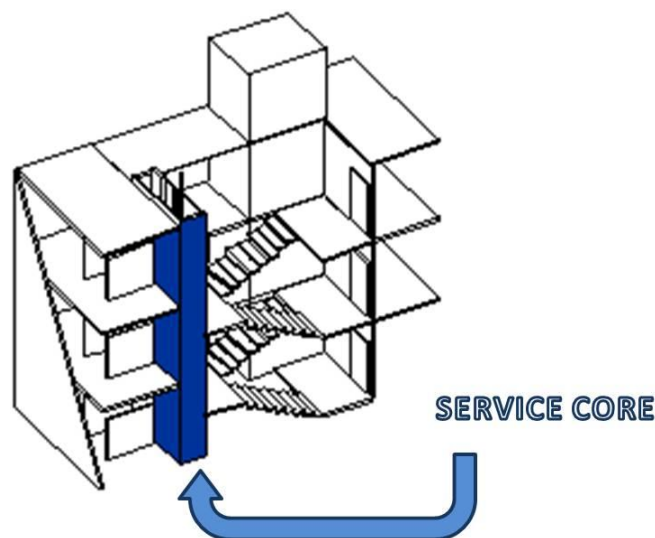


Figura I.13: Vista general de un Service Core completo

El módulo se puede adaptar a cualquier tipo de instalaciones de agua, y se trata pues de un método de fabricación válido de acuerdo con el diseño realizado, que será específico para cada edificio teniendo en cuenta sus requerimientos, gracias al uso de técnicas de diseño como CAD/CAE, DFMA, etc.

- **Objetivo:**

El objetivo principal del Service Core es hacer más sencilla, rápida, segura y de más calidad la puesta en obra de las instalaciones citadas, así como la calidad de los componentes usados en el proceso y la eficiencia y precisión del proceso mismo. También como en cualquier proceso debe ser rentable, algo difícil de apreciar en dichos módulos pero que sin duda se consigue, para ello este desarrollo debe situarse dentro del contexto de una construcción industrializada.

La consecución de este objetivo se basa en cuatro aspectos básicos:

- El módulo se debe construir por tramos de planta. De esta manera el módulo se fabricaría en un taller, factoría fija o móvil, y después sería transportado y/o colocado en su lugar correspondiente en la obra. Para su colocación sólo se requeriría conectarlo al módulo de la planta inferior de manera que toda la instalación vertical quede unida al final. Así se facilita el control de los trabajos, se mejora la calidad en la fabricación y se reduce la mano de obra en el trabajo, se aumenta la calidad final, la fiabilidad del producto y la productividad total. También se gana en agilidad y calidad al disponer de mano de obra especializada que se dedique únicamente al proceso de montaje de los módulos y se consiguen mejoras de salubridad al ser un proceso más limpio y seguro.
- Cada módulo se compone de un bastidor metálico de soporte, de forma que se monta con independencia de los tabiques y fábricas de ladrillo. Por ello, la instalación de estos módulos no depende de los trabajos de albañilería, con lo que se mejora la coordinación de procesos y se flexibiliza la planificación de la obra.
- La composición de los módulos independiente de la tabiquería, hace que sean muy fácilmente registrables por sus frentes, lo que facilita enormemente el mantenimiento de las instalaciones incluidas y la localización de un módulo en

posibles averías. También hace muy fácil su montaje a pie de obra proporcionándole una mayor rapidez y seguridad en su finalización.

- Un grado aún mayor de industrialización se obtiene al combinar la fabricación de los módulos en talleres y factorías móviles, con lo que se evitan los gastos de transporte de los módulos desde una factoría externa, y minimiza los costes de instalación y desmantelamiento del taller a pie de obra. Además facilita el uso de técnicas JIT (producción justo a tiempo) lo que conlleva los consecuentes ahorros en tiempo y costes en la logística.
- **Esquema básico y componentes de un Service Core:**

En este apartado se define el sistema de útiles o piezas físicas que se utilizarían de forma genérica en un módulo Service Core, indicando las directrices o características principales que deben cumplir y proporcionar los diversos materiales a utilizar.

El Service Core se compone de un bastidor o marco metálico al que se fijan todas las tuberías y desagües pertinentes en los cuartos húmedos. El diseño preliminar del módulo junto con el trazado del bastidor y un modelo real se muestran en las siguientes figuras:



Figura I.14: ServiceCore 3D y posible modelo real

A continuación se muestra una lista descriptiva inicial de los posibles componentes que se podrían integrar en un Service Core:

- **Estructura:** Se trata de una estructura-bastidor metálica ligera usada para soportar todas las instalaciones pertinentes. Los criterios utilizados a la hora de la elección de materiales deben ser el peso y la forma adecuada. Un ejemplo de estructura podría ser el sistema “Quick Frame” de la compañía 80/20 Inc. (EEUU).

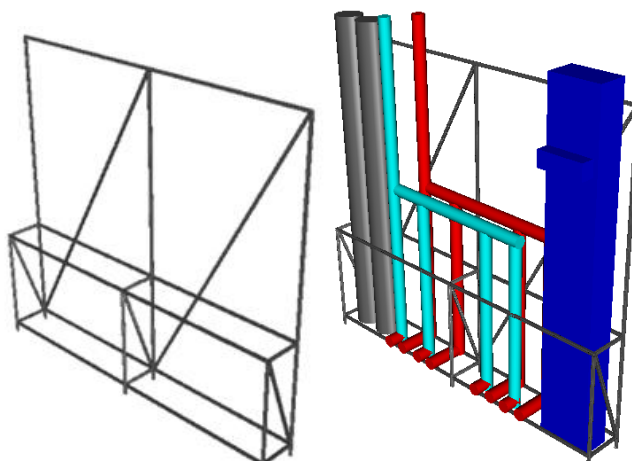


Figura I.15: Canalización de aguas sanitarias

- **Sistema de canalización de aguas:** Como se observa en la figura el sistema de distribución de aguas sanitaria comprende diferentes elementos.

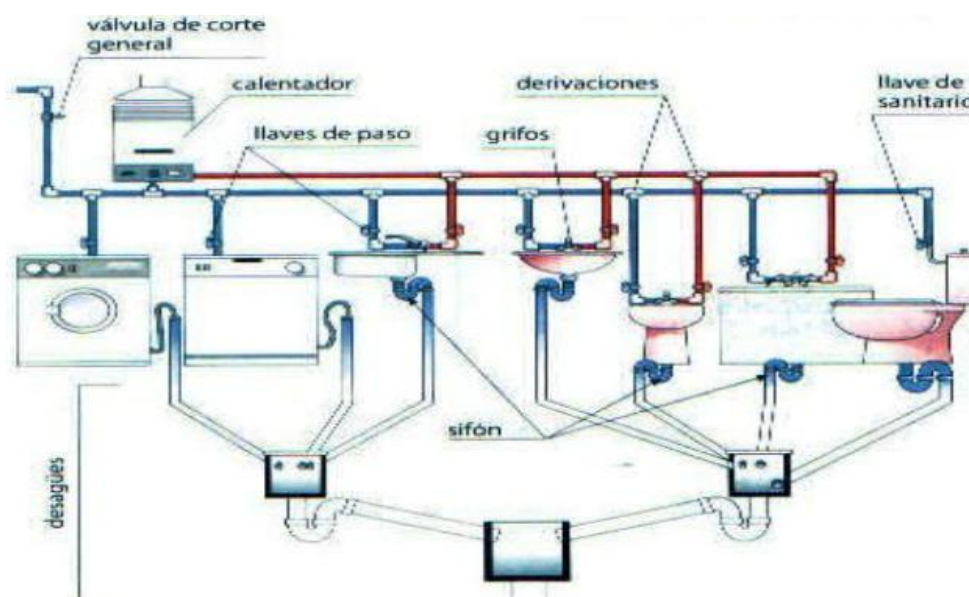


Figura I.16: Esquema de un sistema de distribución de aguas sanitarias

Se trata del entramado de canalización tanto de agua sanitaria como de la de desagües. Tuberías, racores (codos, té...etc.) y elementos para la conexión de toda la canalización de aguas a la estructura anteriormente comentada. Los elementos y materiales principales para este sistema son:

- **Conductos de agua de desagüe:** Hay diferentes opciones que satisfacen las características generales que se precisan.
- **Canalización de agua fría y caliente sanitaria:** El Service Core incluye las instalaciones de distribución de agua fría y caliente.
  - o **Fijaciones, cierres, etc:** Todas las estructuras se fijarán al bastidor metálico del Service Core. El sistema a usar para fijar las instalaciones al marco dependerá del peso del material, el diámetro de los tubos y la dificultad de ensamblaje. Por tanto, las herramientas y métodos de fijación a usar dependerán de los materiales elegidos. Sin embargo no se debe de perder la perspectiva de que cualquier sistema a utilizar debe ser valido o integrable en un proceso automatizado.



Figura I.17: Fijación rápida

Todos los materiales comentados y otras posibilidades deben elegirse de acuerdo con los métodos de ensamblado requeridos para una fácil automatización. Por ejemplo, un método de ensamblaje muy sencillo que se puede usar es la unión por junta elástica o “elastic seal”. Otro ejemplo sería la unión de toda la canalización a la estructura mediante abrazaderas push-fit, de presión.

- **Demostración:**

Para su demostración, el Service Core se instalará en el edificio demostrador que se construirá en Madrid como un desarrollo dentro del proyecto ManuBuild.

El desarrollo de este módulo constituirá un sistema constructivo que persigue la industrialización de la fabricación y puesta en obra del núcleo vertical de instalaciones de agua. Así se conseguirá un proceso con menores tiempos, mejores condiciones de trabajo y mejor calidad final del producto, así como se facilitará la coordinación con el resto de trabajos de la obra.

El concepto de Service Core no tiene nada que ver con el diseño tradicional de los servicios. Los módulos se construyen durante el proyecto, incorporando los servicios definidos. La conjunción de la fabricación del Service Core con la filosofía de la Mobile Factory lleva a un grado aún mayor de industrialización del proceso.

## 1.2 Objetivos.

El objetivo global de éste Proyecto, al formar parte del proyecto Manubuild, es apoyar, promover y desarrollar la industrialización del sector de la construcción. Dicho sector está bastante retrasado tanto conceptualmente como en desarrollo tecnológico e integración. A día de hoy se está empezando a estudiar intensivamente técnicas y modus operandi para automatizar diferentes procesos. De esta forma se pretende que el presente Proyecto sienta las bases para futuros trabajos de investigación en estos temas consiguiendo una evolución.

El objetivo principal del presente Proyecto Fin de Carrera es diseñar una célula robotizada dedicada al desarrollo en ella de distintos procesos de mecanizado y ensamblado del sector. El desarrollo de este prototipo permitirá acercar la automatización e industrialización a los procesos indicados del sector.

Para el desarrollo del objetivo principal deben conseguirse previamente una serie de objetivos secundarios que conjuntamente harán posible el funcionamiento de la célula de fabricación flexible. Estos objetivos secundarios son.

- Diseño e integración hardware necesario que permita un funcionamiento adaptado a las nuevas técnicas pretendidas. De esta forma los principales objetivos hardware serán el desarrollo de un sistema robótico con la integración de herramientas para usos de mecanizado, manipulación y ensamblado de diferentes elementos. Otro objetivo será la concepción y obtención de materiales que satisfagan la idea de procesos automatizados.
  
- Diseñar e implementar sistemas software que permiten un uso flexible de los elementos físicos disponibles en la célula robotizada. Contribuir directamente al uso de sistemas virtuales para el desarrollo previo de los procesos automatizados. Realizar una estación virtual en CAD similar a la real para su posterior uso en programas virtuales robóticos.

### 1.3 Alcance del proyecto.

La célula de fabricación flexible robotizada, es el resultado de un trabajo en equipo, formado por dos estudiantes de Ingeniería Técnica Industrial, cuyos Proyectos Finales de Carrera comprenden todos los aspectos necesarios para su diseño y puesta en marcha. Dichos proyectos fin de carrera son la Parte 1 y la Parte 2 de un mismo proyecto llamado “*DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE ROBOTIZADA*”.

De todos los diseños, tanto hardware como software, necesarios para el desarrollo de dicha célula robotizada, el alcance del presente Proyecto Fin de Carrera (Parte 1) es el siguiente:

- Diseños hardware:
  - Todos los diseños necesarios para la implementación de un sistema de cambio automático de herramienta para el robot.
  - Diseño de una herramienta neumática de vacío para la manipulación de elementos.
  - Diseño de sistemas auxiliares para la ejecución de los procesos realizados.
  
- Diseños software:
  - Diseño de los modelos CAD de todos los diseños hardware realizados en este Proyecto Fin de Carrera.
  - Diseño de una célula robotizada virtual para la simulación de los procesos siguientes:
    - Diseño del proceso auxiliar de cambio de herramienta.
    - Diseño del proceso de ensamblado del bastidor del módulo de aguas.
    - Diseño de un proceso de mecanizado de baldosas.



Además, como ya se ha dicho, en el presente Proyecto Fin de Carrera ha realizado la puesta en marcha de la célula robotizada. Para lo cual, se han implementado todos los diseños enumerados anteriormente, y se ha verificado el correcto funcionamiento de los procesos diseñados y del sistema completo. Todos estos diseños están descritos en el Capítulo V, así como la descripción de la puesta en marcha se realiza en el Capítulo VI.



## **II. ESTADO DEL ARTE EN PROCESOS ROBOTIZADOS DE MECANIZADO Y ENSAMBLADO**

## **2.1 Robótica y automatización.**

### **2.1.1 Ideas Generales.**

Robótica y automatización [3] son disciplinas surgidas en diferentes épocas. La automatización consigue un proceso de mecanización de las actividades industriales para reducir la mano de obra y simplificar el trabajo. De esta forma algunas maquinas realizan las operaciones de manera automática; lo que conlleva un proceso más rápido y eficiente. La robótica nace en décadas recientes para complementarse con la automatización, aportándole como elemento innovador cierto grado de inteligencia.

Con la automatización, al darse una mayor eficiencia, se logra disminuir la producción de piezas defectuosas, y por tanto aumentar una mayor calidad en los productos que se logran mediante la exactitud de las maquinas automatizadas. Todo esto ayuda a que la empresa industrial aumente toda su competitividad en un porcentaje considerable mediante la utilización de inversiones tecnológicas. De no realizarse, la empresa puede sufrir el riesgo de quedarse rezagado con respecto a toda su competencia,

El principal papel de los robots es articular diferentes máquinas y funciones productivas; transporte, manejo de materiales, maquinado, carga y descarga, etc. mediante su capacidad para desempeñar diversas tareas u operaciones. El robot industrial es el elemento más visible de la fabricación asistida por computador y como la base técnica para la mayor automatización de la producción. El desarrollo de los robots está estrechamente relacionado con el de las otras tecnologías de la automatización comprendidas por el concepto CAD-CAM (manufactura y diseño asistido por computador. El robot industrial contribuye de manera decisiva a la automatización en los procesos de fabricación de series de mediana y pequeña escala y de lotes variados y/o discontinuos.

La robótica es un área interdisciplinaria formada por la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y sistemas computacionales. Este concepto de unión de estas disciplinas se entiende como mecatrónica.

La mecánica comprende tres aspectos: diseño mecánico de la máquina, análisis estático y análisis dinámico. La microelectrónica le permite al robot transmitir la información que se le entrega, coordinando impulsos eléctricos que hacen que el robot realice los movimientos requeridos por la tarea. La informática provee de los programas necesarios para lograr el control y coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, dar un cierto grado de inteligencia a la máquina, es decir adaptabilidad, autonomía y capacidad interpretativa y correctiva. También se puede dotar al robot de un cierto grado de sonorización o y percepción del exterior.

### 2.1.2 Tipos de automatización industrial.

- **Automatización fija:** Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por lo tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar productos o componentes de éstos con alto rendimiento y elevadas tasas de producción.
- **Programable.** Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso, el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se logra haciendo funcionar el equipo bajo el control de un programa de instrucciones para el producto dado. La producción se obtiene por lotes.
- **Flexible.** Es una categoría situada entre las dos anteriores. Se ha comprobado que es más adecuada para el rango medio de producción. Con este tipo de automatización pueden obtenerse simultáneamente varios tipos de producto, en el mismo sistema de fabricación.

### 2.1.3 Concepto de célula de fabricación flexible.

El concepto de fabricación flexible se ha desarrollado simultáneamente con el desarrollo de tecnología informática en las áreas de diseño y fabricación de piezas, así como la tecnología de control de servo-mecanismos. Cabe recordar que la fabricación de piezas mecánicas sometidas a varios procesos involucra complejos sistemas de control y producción, tales como proveer materias primas o materiales y órdenes de trabajo, entre otros. Uno de los principales problemas consiste en el cambio y ajuste de

herramientas de trabajo, lo que evidentemente imposibilitaba poder obtener altos índices de productividad debido a los tiempos de recambio de piezas, cambios de formato de maquinas, ajuste y reprogramación de proceso de máquina.

Con la llegada de nuevos sistemas de control, gracias a los avances de la informática, se ha realizado una mejoría en la eficiencia de fabricación, desde el diseño del producto, maquinaria y herramienta, planeación del proceso, disponibilidad de materiales, control de la producción, automatización, etc. Una manufactura flexible puede definirse como: la conjunción de tecnología, esfuerzo humano y forma de vida, integrado indudablemente por un equipo seleccionado de alta tecnología. Cuya finalidad es responder a cualquier cambio que se presente precisamente de forma flexible, es decir adaptándose al cambio rápidamente. El brazo robotizado, constituye un elemento de gran importancia en un sistema automatizado tipo “*Flexible Manufacturing. System*” (FMS), ya que es uno de los elementos encargado para las operaciones que requieren de mucha exactitud. Cada día puede realizar mayor cantidad de acciones debido a sistemas específicos para cambio e integración de todo tipo de herramientas, lo que ha producido la sustitución de muchos elementos de automatización rígida y máquinas de control numérico.

El esquema de una célula robotizada integra una selección, definición, situación y diseño de los distintos elementos de la célula. Dichos elementos pueden ser activos (robots, maquinas de CNC, etc.) o elementos pasivos (mesas, alimentadores, utillajes, etc.). La definición del proceso (normalmente iterativo) que desarrolla una célula robotizada se realiza mediante ayudas de sistemas CAD, utilización de simuladores virtuales del robot y simuladores FMS. El robot se puede encontrar en el centro de la célula o en línea y puede permanecer enclavado o en movimiento (sobre una vía).

#### **2.1.4 Necesidad de un sistema robotizado.**

Como hemos observado en ciertos ambientes industriales un robot resulta mucho más rentable y productivo que otras posibles medidas. A continuación se hará un análisis de la necesidad de instalación de un robot y los aspectos a considerar en su factibilidad. Para considerar la factibilidad de su instalación deben plantearse una serie de cuestiones:

**¿Cuál es la producción anual de piezas?** Cuando se deben producir elementos variados, estos deben ser de características similares y la producción de cada lote como mínimo debe ocupar un período de tiempo razonable.

**¿Puede haber un buen abastecimiento?** Para la obtención de un correcto flujo automático de material se deben almacenar piezas antes y después del grupo de máquinas y robots además de un buen suministro. El tamaño del almacén depende de la tasa de producción.

**¿Cuál es el tiempo disponible para manipulación?** El tiempo de maniobra requerido está determinado por la longitud total del camino y por la máxima velocidad del robot. La mayoría de los robots neumáticos tienen velocidades máximas aproximadas a los 1.5 metros por segundo y desplazamientos angulares de 150° por segundo. Se puede calcular el tiempo anual de manipulación y compararlo con la producción total en ese mismo período.

**¿Puede un nuevo esquema (layout) del sistema dar cabida al Robot?** Esta cuestión se refiere a la flexibilidad y a la capacidad de integración de un robot ante eventuales cambios puntuales o de concepción en el sistema de fabricación. Por ejemplo muchos layouts (estructuración del sistema) requieren versiones especiales de robots con grados de libertad adicionales demandadas por el proceso.

**¿Accesibilidad?** Dentro del layout del sistema se debe tener en cuenta la totalidad de movimientos que realiza el robot. De esta forma se sabe si dichos movimientos se pueden realizar. Posibles problemas pueden ser: límites de alcanzabilidad, configuraciones de ejes no validas o posibles interferencias con el medio externo.

**¿Qué dotación de personal de operación y supervisión es necesaria?** La implementación de un Robot en un proceso productivo, tiene como objetivo fundamental disminuir los costos de producción mediante un mejor aprovechamiento de la capacidad productiva ya instalada. Aun así se debe realizar un control de calidad. Cada vez se tiende más a estos controles mediante herramientas por computador, como

la visión artificial. Sin embargo todavía la se continúa realizando en muchos casos la inspección del desarrollo productivo de forma visual.

**¿Es posible realizar la inversión?** Cualquier proceso industrial busca una máxima rentabilidad además de otra serie de valores. Para saber dicha eficacia se tienen que tener en cuenta los costos de implementación y sus beneficios:

**Costo de Implementación:**

- Herramientas del extremo.
- Posible modificación de la máquina o máquina-herramienta y herramientas.
- Posible alteración del layout existente.
- Equipos periféricos, transportadores, zonas de almacenamiento.
- Dispositivos de fijación y señalización.
- Costo del trabajo de instalación.
- Entrenamiento del personal para operación y mantenimiento.
- Puesta en marcha y puesta a punto.

**Beneficios**

- Reducción de la labor.
- Incremento de utilización de las máquinas.
- Flexibilidad productiva.
- Incremento de la calidad.
- Disminución de pasos en el proceso de producción.
- Mejora de las condiciones de trabajo, reducción de riesgos personales.
- Mayor productividad.
- Ahorro de materia prima y energía.
- Flexibilidad total.
- Calidad de trabajo humano:
- Seguridad: trabajos peligrosos e insalubres.
- Comodidad: trabajos repetitivos, monótonos y en posiciones forzadas.

## 2.2 Robot industrial.

Dentro del desarrollo de la Mobile Factory se encuentra una herramienta robótica. En este subcapítulo se trata de dar una visión de qué es lo que se entiende por robot industrial y de sus características principales [4].

### 2.2.1 Definición de robot industrial.

Existen ciertas dificultades a la hora de establecer una definición formal de lo que es un robot industrial. La primera de ellas surge de la diferencia conceptual entre el mercado japonés y el euro-americano de lo que es un robot y lo que es un manipulador. Así, mientras que para los japoneses un robot industrial es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación, el mercado occidental es más restrictivo, exigiendo una mayor complejidad, sobre todo en lo relativo al control. En segundo lugar, y centrándose ya en el concepto occidental, aunque existe una idea común acerca de lo que es un robot industrial, no es fácil ponerse de acuerdo a la hora de establecer una definición formal. Además, la evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición.

La definición más comúnmente aceptada posiblemente sea la de la Asociación de Industrias Robóticas (**RIA**), según la cual:

- Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (**ISO**) que define al robot industrial como:

- Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad. Una definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de



Normalización (**AFNOR**), que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

- **Manipulador:** mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.
- **Robot:** manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectoria variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

Común en todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots, siendo esto último lo más frecuente.



Figura II.1: Diferentes tipos de robots articulados

## 2.2.2 Historia y evolución de los robots industriales.

El campo de la robótica industrial puede definirse como el estudio, diseño y uso de robots para la ejecución de procesos industriales. Más formalmente, el estándar ISO define un robot industrial como un manipulador programable en tres o más ejes multipropósito, controlado automáticamente y reprogramable. Este concepto no está demasiado consolidado y ha estado supeditado a la continua evolución de los procesos automatizados y por consiguiente de las funcionalidades y características de los mismos robots. A continuación se muestra un ligero resumen de su evolución en el tiempo:

George Devol [5] fue el primero en aplicar patentes robóticas en 1954. La primera empresa en producir un robot fue Unimation, fundada por el propio George Devol junto con Joseph F. Engelberger en 1956, y basada en las patentes originales de Devol. El principal uso de Unimation para sus robots fue inicialmente la transferencia de objetos de un punto a otro, a una docena de pies o menos de separación. Estos primeros robots utilizaban actuadores hidráulicos y fueron programadas mediante conjunto de coordenadas, es decir, los ángulos de las distintas articulaciones se almacenaron durante una fase de la enseñanza y luego se conseguía su reproducción en funcionamiento. Tenían una precisión de 10 milésimas de pulgada.

Las tecnologías de Unimation quedaron más tarde bajo licencia de Kawasaki Heavy Industries y Guest-Nettlefolds, empresas de Unimation para la fabricación en Japón e Inglaterra, respectivamente. Desde hacía algún tiempo Unimation tuvo un competidor único, que fue Cincinnati Milacron Inc, de Ohio. Esto cambió radicalmente en la década de 1970 cuando varios grandes conglomerados japoneses comenzaron a producir robots industriales similares.

En 1969, Víctor Scheinman en la Universidad de Stanford inventó el brazo Stanford, un sistema totalmente eléctrico, de 6 ejes articulados diseñado para permitir una respuesta de brazo humano. Esto le permitía seguir con precisión y de forma arbitraria trayectorias en el espacio y ampliar el uso potencial de los robots más sofisticados para aplicaciones como montaje y soldadura. Scheinman entonces diseñó un segundo brazo para el Laboratorio de IA del MIT, llamado el "MIT brazo".

Scheinman, después de recibir una beca de Unimation para desarrollar sus diseños, vendió sus modelos a Unimation, que a su vez recibía apoyo de General Motors. General Motors más tarde comercializó dichos diseños como “Programmable Universal Machine for Assembly“(PUMA). En 1973 KUKA Robótica construyó su primer robot, conocido como FAMULUS, que fue el primer robot articulado de seis ejes electromecánicamente impulsado.

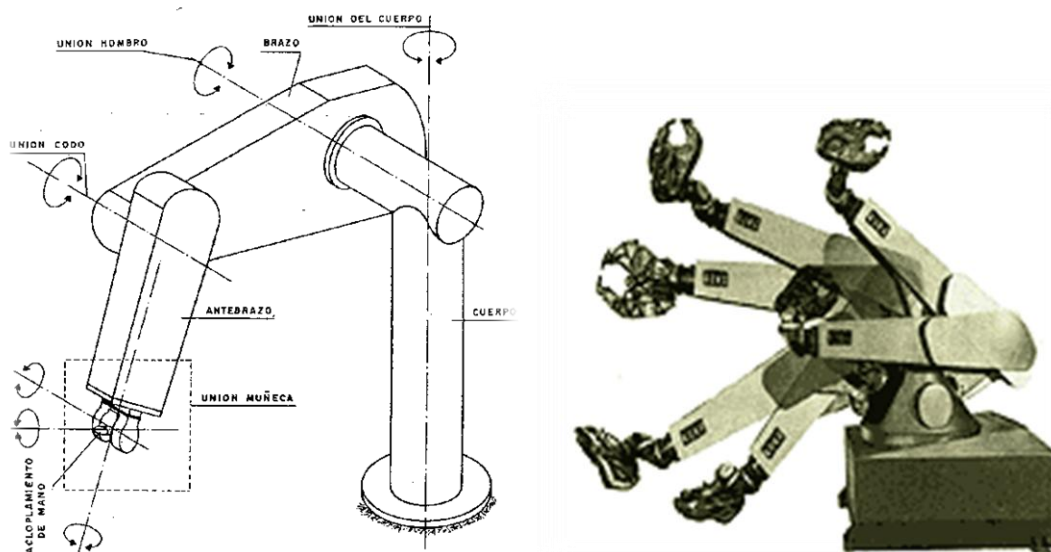


Figura II.2: Robot industrial tipo PUMA y Famulus

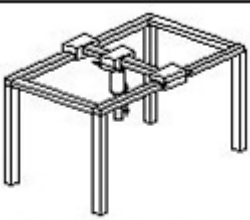
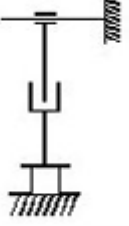
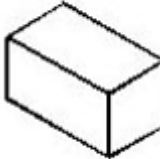

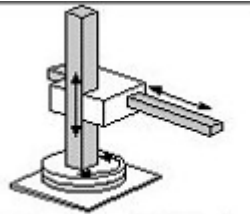
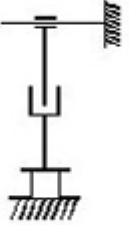


En el interés por la robótica fue en aumento a fines de la década de 1970 y muchas empresas de EE.UU. se introdujeron en el sector, incluidas las grandes empresas como General Electric y General Motors (que formaba la empresa conjunta FANUC Robotics con FANUC LTD de Japón). Como consecuencia del boom de la robótica en 1984, Unimation fue adquirida por Westinghouse Electric Corporation por 107 millones de dólares. Westinghouse a su vez vendió Unimation a la francesa Staubli Faverges SCA en 1988, que todavía siguen haciendo robots articulados para la industria general y aplicaciones “limpias” e incluso compró la división de robótica de Bosch a finales de 2004.

En la actualidad sólo unas pocas empresas no japonesas han logrado sobrevivir en este mercado, las principales son Adept Tecnología, Staubli Unimation-, la empresa sueco-suiza ABB “Asea Brown Boveri” y la empresa alemana KUKA Robotics.

### 2.2.3 Clasificación del los robots industriales.

La maquinaria para la automatización rígida dio paso al robot con el desarrollo de controladores rápidos, basados en el microprocesador, así como un empleo de servos en bucle cerrado, que permiten establecer con exactitud la posición real de los elementos del robot y establecer el error con la posición deseada. Esta evolución ha dado origen a una serie de tipos de robots, según su estructura mecánica, que se citan a continuación:

- **Robot cartesiano.** Robot cuyo brazo tiene tres articulaciones prismáticas, cuyos ejes son coincidentes con un coordinador cartesiano.
- **Robot cilíndrico:** Robot cuyos ejes forma un sistema de coordenadas cilíndrico.
- **Robot esférico:** Robot cuyos ejes formas un sistema de coordenadas polares
- **Robot SCARA:** Robot que tiene dos articulaciones paralelas de rotación para proporcionar una situación de conformidad en el plano.
- **Robot articulado:** Robot cuyo brazo tiene al menos tres articulaciones de robot, normalmente tiene 6.
- **Robot paralelo:** Robot cuyos brazos tienen concurrencia prismática.

<b>Clasificación de los robots industriales por su estructura mecánica</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Estructura cinemática</b>	<b>Espacio de trabajo</b>	<b>Fotografía</b>
 Cartesian Robot			
 Cylindrical Robot			

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

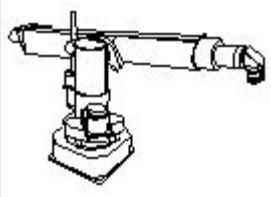
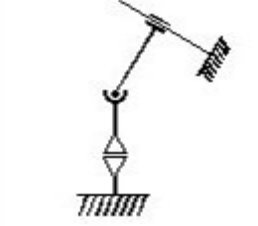
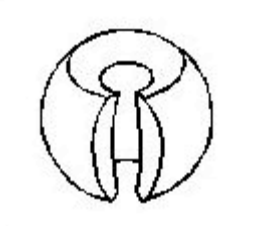

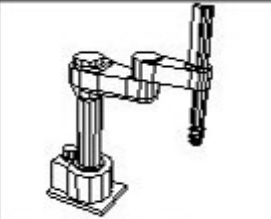
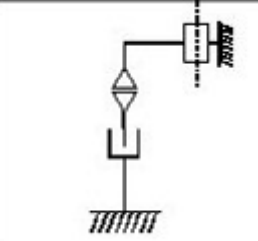
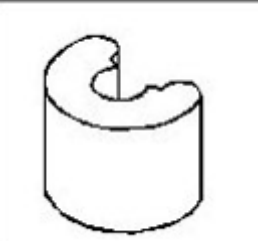


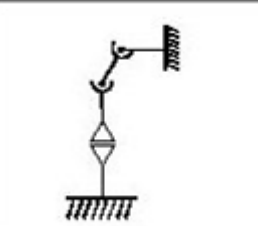
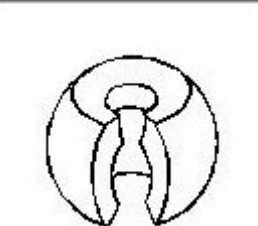

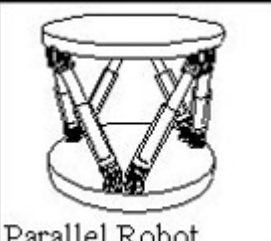
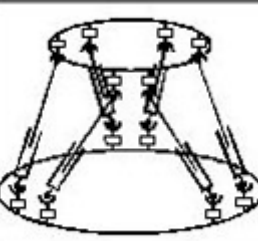
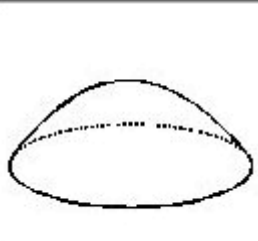

 <p>Spherical Robot</p>			
 <p>SCARA Robot</p>			
 <p>Articulated Robot</p>			
 <p>Parallel Robot</p>			

Figura II.3: Clasificación de robots industriales por su estructura mecánica

Un resumen de la clasificación de robots industriales por la capacidad de interacción con el medio externo puede ser la siguiente:

**Tabla II.1: Clasificación de robots según la AFRI**

	<b>Clasificación de los robots según la AFRI</b>
<b>Tipo A</b>	Manipulador con control manual o telemando.
<b>Tipo B</b>	Manipulador automático con ciclos pre ajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
<b>Tipo C</b>	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno.
<b>Tipo D</b>	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos.

Los robots como cualquier tipo de mecanismo han sufrido evoluciones técnicas desde sus primeras unidades. De esta forma Otra clasificación puede ser según la generación histórica en la que se encuadren:

**Tabla II.2: Clasificación de robots por generaciones**

	<b>Clasificación de los robots industriales en generaciones</b>
<b>1ª Generación</b>	Repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.
<b>2ª Generación</b>	Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia.
<b>3ª Generación</b>	Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural. Posee la capacidad para la planificación automática de sus tareas.

### 2.2.4 Características generales y justificación del uso de un robot industrial.

En el sector industrial de la automoción la automatización lleva presente décadas, por lo que la experiencia del sector es bastante amplia a la hora de elegir las máquinas que proporcionan mejores prestaciones para conseguir los productos finales. En cambio en el sector de la construcción la experiencia con elementos de grado automático es muy pequeña, luego, puede que existan dudas entre el tipo de herramientas y mecanismos a usar, o incluso de entre los tipos de robots industriales cual es el más adecuado (precisión, carga máxima, dimensiones o coste...).

La primera duda que puede surgir es el tipo de elementos a utilizar. Se aclara fácilmente, ya que el proceso debe ser fácilmente transportable y flexible, lo que conlleva cambios en la programación de los elementos, sistemas reprogramables.

Las máquinas más propicias con las premisas anteriormente expuestas son sin duda los robots industriales, ya que garantiza una fácil puesta a punto de cualquier cambio que pueda surgir, además de la comodidad que proporciona que pueda desarrollar diferentes tareas dependiendo de los requerimientos. Para la segunda, tipo de robot industrial empleado, se pueden estudiar diferentes aspectos que puede hacer que un robot se acople mejor al proceso o no, o tal vez que una característica no se contemple en el proceso, lo que descartaría una serie de robots. Estas características se exponen a continuación:

- **Área de trabajo:** Se especifica por un dibujo acotado. Hay que tener en cuenta orientaciones y puntos singulares.

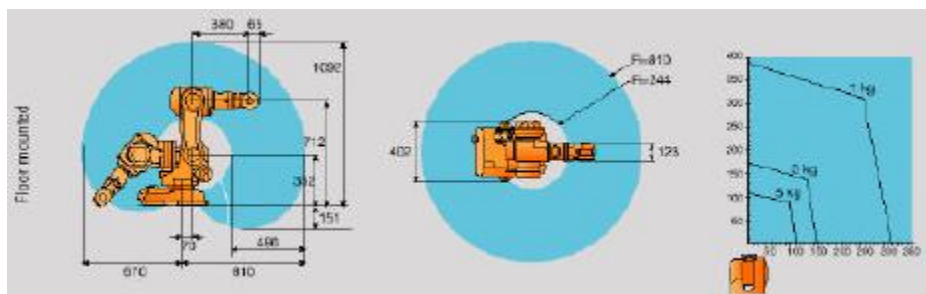


Figura II.4: Delimitaciones del área de trabajo de un robot



- **Grados de libertad:** dependiendo de la aplicación puede variar. Por ejemplo 3 en procesos de paletizado y 6 en pintura, soldadura con arco...etc.
- **Costo.** Representa el desembolso inicial que debe realizar la empresa para adquirir el robot, los impuestos pagados, costos de mantenimiento preventivo y reparaciones no planteadas. Directamente proporcional a los GDL del robot. Debe ser el menor posible.
- **Capacidad de carga.** Representa el tonelaje que el robot puede levantar en condiciones normales y extremas. Sera proporcional a la función que deba desarrollar del robot. Depende del tipo de accionamiento, tamaño y configuración del robot. Se puede superar con pérdidas de prestaciones dinámicas.
- **Velocidad.** Se refiere a la velocidad a la cual el robot mueve la carga entre diferentes estaciones o zonas muertas. Este atributo, que se busca maximizar, se analiza para saber si las alternativas evaluadas tienen la capacidad de abastecer a las zonas de servicio. Es inversamente proporcional a la carga trasladada y resulta útil para calcular tiempos de ciclo.
- **Calidad de servicio.** Se refiere a las características del servicio que tiene el proveedor del robot, como son el financiamiento, tiempo de entrega, la capacitación en el manejo del mismo y otros. Este atributo es cualitativo, se basa en los juicios del grupo de decisión y se busca maximizarlo.
- **Facilidad de programación.** Es la facilidad con que se puede programar el robot al introducir un nuevo producto con otra forma geométrica diferente al introducir nuevas coordenadas de posicionamiento, etc. Este atributo es cualitativo, se basa en los juicios del grupo de decisión y se busca maximizarlo.
- **Precisión.** Distancia entre el punto programado y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales. Su origen se debe a errores en la calibración del robot (punto de sincronismo por ejemplo), deformaciones por origen térmico y dinámico, errores de redondeo en el cálculo de la transformación cinemática, errores entre las dimensiones reales y teóricas del robot, etc. Dependiendo de la aplicación y la escala de precisión en la que se mueve el robot puede ser imprescindible. Suele ser de décimas de milímetro.



- **Resolución:** Mínimo incremento que puede aceptar la unidad de control del robot. Su valor está limitado por la resolución de los captadores de posición y convertidores A/D y D/A, por el número de bits con los que se realizan las operaciones aritméticas en la CPU y por los elementos motrices, si son discretos.

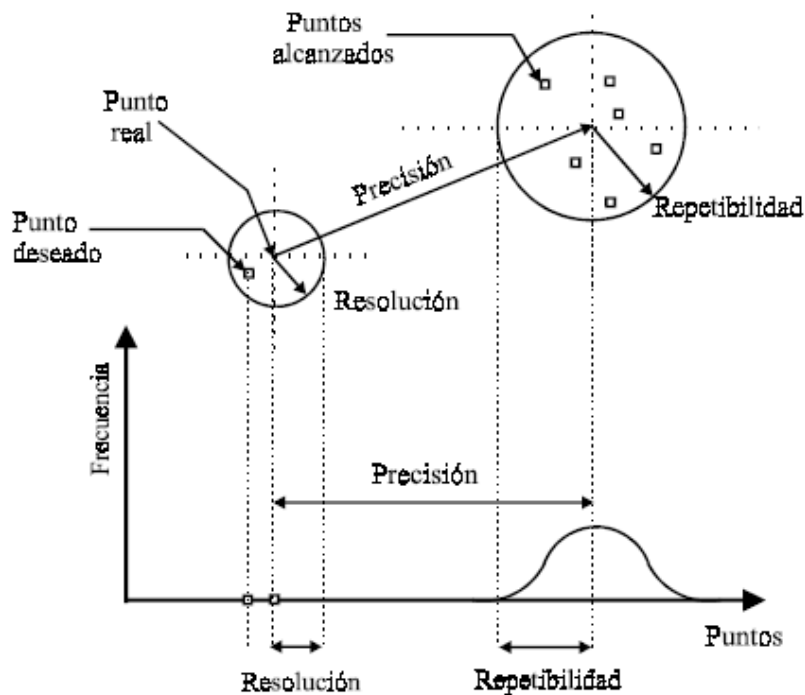


Figura II.5: Comportamiento de un robot respecto a la frecuencia

- **Repetibilidad:** Radio de la esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot tras suficientes movimientos, al ordenarle ir al mismo punto de destino programado, con condiciones de carga, temperatura, etc., iguales. El error de repetitividad es debido fundamentalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión como rozamientos, histéresis, zonas muertas (backlash).
- **Integración.** Es la facilidad con que el robot se integra al sistema de producción ya existente y con la que puede desempeñar otras tareas en diferentes líneas. Este atributo es subjetivo y se busca maximizarlo.
- **Sistema de control:** Por ejemplo:
  - Control punto a punto (PTP) o trayectoria continua.
  - Control en cadena abierta o en cadena cerrada.
  - Programación textual o por guiado.

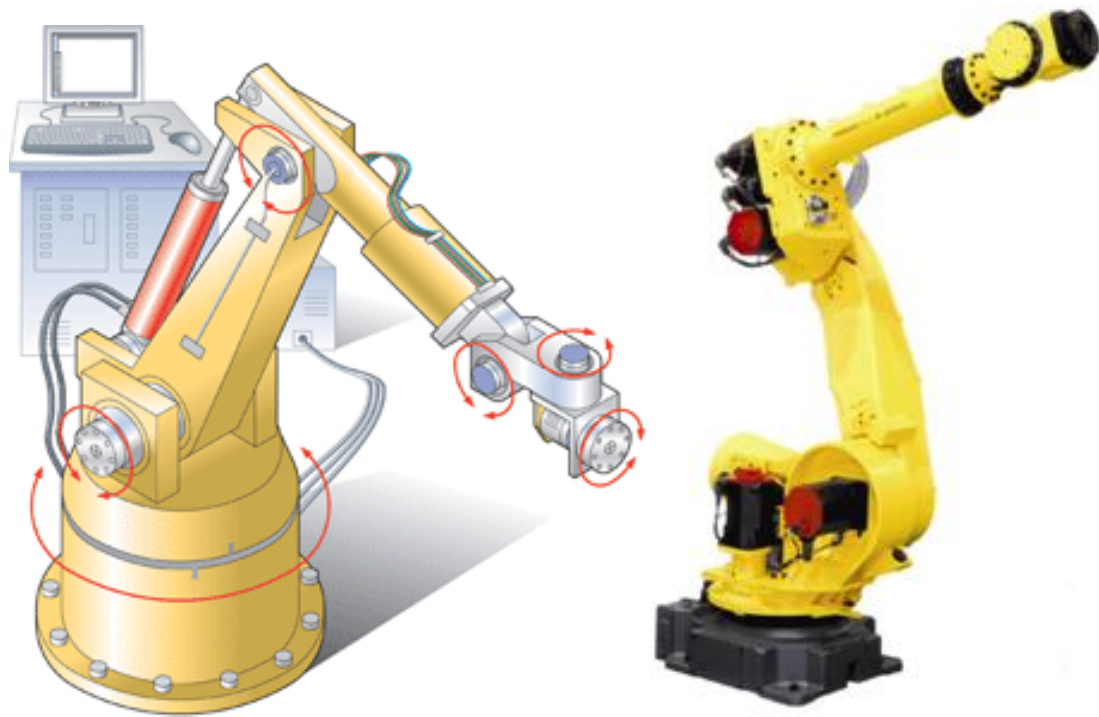


Figura II.6: Robot genérico articulado de 6 GDL

Podemos ver como ninguna de las características generales de un robot industrial es un claro inconveniente. Más bien todo lo contrario, la mayoría de las características se acoplan adecuadamente a las indicaciones del proceso, consiguiendo una gran flexibilidad e integración en la zona de trabajo. También es necesario lograr un nivel de automatización y productividad adecuado al proceso. Llegados a este punto surgen una duda: ¿Existen otros mecanismos capaces de dotar al sistema de un buen grado de automatización?

A priori, resulta evidente que las máquinas de control numérico, muy desarrolladas en ciertos sectores puede ser una alternativa. Ahora bien, se trataría de un sistema automatizado pero demasiado rígido, totalmente opuesto a las exigencias principales, flexibilidad y facilidad de integración. También resulta muy conveniente que el sistema físico tenga alto grado de versatilidad y por lo tanto que a su vez sea fácilmente programable. En la siguiente tabla se pueden apreciar algunas características diferenciales.

<b>COMPARACIÓN ENTRE UN ROBOT INDUSTRIAL Y UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO</b>	
<b>ROBOT INDUSTRIAL</b>	<b>MÁQUINA CONVENCIONAL DE CONTROL NUMÉRICO</b>
Movimiento simultaneo de varios ejes (6 o más)	Normalmente mueve simultáneamente 1 o 2 ejes
Movimiento independiente de cada uno de los ejes	Movimientos limitados
Trayectorias complejas	Trayectorias simples
Campo de acción fuera del volumen cubierto por la propia maquina	Campo de acción dentro del volumen abarcado por la maquina
Espacio de trabajo no reconocido fácilmente	Campo de acción similar al humano

**Tabla II.3: Comparación entre robot industrial y una máquina control numérico**

En el siguiente subcapítulo se muestra la variedad de oferta de robots industriales y controladores disponibles actualmente en el mercado, y la elección de nuestro robot industrial.

### 2.2.5 Oferta y elección del robot industrial.

Un resumen de las características que tiene un robot:

- **Caract. Geométricas:**
  - Área de trabajo
  - Grados de libertad
  - Errores de posicionamiento
  - Distancia tras emergencia
  - Repetitividad
  - Resolución
  - Errores en el seguimiento de trayectorias
  - Calidad de una línea recta, arco...
  - Precisión con el mínimo incremento posible
  
- **Caract. Cinemáticas:**
  - Velocidad nominal máxima
  - Aceleración y deceleración
  
- **Caract. Dinámicas:**
  - Fuerza
  - De agarre
  - Carga máxima
  - Control de fuerza-par
  - Frecuencia de resonancia
  
- **Tipo movimientos:**
  - Movimiento punto a punto
  - Movimientos coordinados
  - Trayectorias continuas (CP)

- **Modo programación:**
  - Enseñanza (guiado)
  - Textual
  
- **Tipo accionamiento:**
  - Eléctrico (por corriente continua o corriente alterna)
  - Neumático
  - Hidráulico
  
- **Comunicaciones:**
  - E/S Digitales/Analógicas
  - Comunicaciones Ethernet
  
- **Servicio proveedor:**
  - Mantenimiento
  - Servicio Técnico
  - Cursos de formación
  
- **Coste**

Según la aplicación que vaya a desempeñar el robot puede ser necesario que tenga unas características más potenciadas respecto a otras. También dentro de una misma aplicación surgen diferencias. Por ejemplo, no es lo mismo si un robot se dedica a manipular microchips o si se dedica a manipular tochos de acero para fundición. En este ejemplo el tamaño y peso que debe soportar el robot es un claro elemento diferenciador. En nuestro caso el robot se dedicara primordialmente a tareas de ensamblado, pudiendo también desempeñar tareas de mecanizado.

Tabla II.4: Características deseables de un robot según su aplicación







<b>CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE UN ROBOT SEGÚN SU APLICACIÓN</b>	
<b>PINTURA</b>	<b>PALETIZACION</b>
Programación por guiado	Elevada capacidad de carga
Campo de acción similar al humano	Relación grande entre área de trabajo y tamaño de robot
Estructura antropomórfica	
6 grados de libertad	Control PTP
<b>PROCESADO</b>	<b>ENSAMBLADO</b>
Sistema de programación	Elevada precisión y rapidez
5-6 grados de libertad	Campo de acción similar al humano
Campo de acción similar al humano	Potencia del sistema de programación
Control de trayectoria continua	Sistema sensorial

Con las características expuestas para la elección de un robot y con la finalidad que deseamos que se alcance, comprobamos como el coste inicial no es un obstáculo determinante, ya que dado los modelos del mercado y el presupuesto inicial de partida es un obstáculo fácilmente salvable para cualquier empresa constructora. Además la vida útil de los robots es elevada lo que facilita su amortización. La capacidad de carga que soportara será media. La velocidad es un aspecto a tener en cuenta, el proceso tiene que disponer de cierta velocidad, ya que son procesos que también podría ejecutar mediante mano de obra, pero debe disponer de un buen balance entre velocidad y precisión.

La facilidad de programación es una característica fundamental, ya que una característica principal del sistema debe ser su flexibilidad. Al ser un sistema innovador y reciente se pueden producir cambios y mejoras sobre la marcha, por lo que sería interesante una fácil integración del robot. Los robots disponibles son:

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA













Tabla II.5: Lista de posibles robots industriales articulados

ROBOTS							
Marca	KUKA	ABB	FANUC Robotics	REIS Robotics	MOTOMAN	STÄUBLI	
Manipulador	KR 3	IRB 140	LR Mate 200/B	RV 4	SV3XL	RX90	
Ejes	6	6	6	6	6	6	
Carga nominal (kg)	3	5	5	4	3	6	
Carga (kg) adicional en eje	0,5 en 3º	1 en 3º y 0,5 en 4º	1 en 4º	6 en 3º	0,5 en 3º	20 en 4º	
Alcance (mm)	635	810	700	990	795	900	
Repetibilidad (mm)	±0,05	±0,03	±0,04	±0,03	±0,03	±0,02	
Accionamiento	Brushless DC	Brushless	Brushless AC	Brushless	Brushless AC	Brushless	
Sensores de posición	Encoders abs.	Resolvers	Encoders incr.	Resolvers	Encoders abs.	Encoders abs.	
Resolución sensor posición	2048pasos/vuelta	8000pasos/vuelta	65536pasos/vuelta	8000pasos/vuelta	2048pasos/vuelta	-	
Transmisión	Harmonic Drive	Harmonic Drive	Harmonic Drive	Harmonic Drive	Harmonic Drive	JCS	
Frenos mecánicos	J1, J2, J3 y J5	Todos los ejes	J2 y J3, opc. todos	Todos los ejes	Todos los ejes	Todos los ejes	
Resolución (mm y grados)	0,001mm y 0,001º	0,01 mm y 0,01º	0,001 mm y 0,001º	-	0,01 mm y 0,001º	- y 0,72-2,75º·10 <sup>-3</sup>	
Rango de Movimiento (grados)	J1	±180	-180 a +180	±160	±180	±170	±160
	J2	-45 a +135	-90 a +110	-33 a +152	-30 a +115	-45 a +150	±137.5
	J3	-225 a +45	-230 a +50	-149,8 a +165	-150 a +120	-70 a +190	±142.5
	J4	±180	±200	±190	±180	±180	±270
	J5	±135	±120	±120	±123	±135	+120 a -105
	J6	Sin fin	±400	±360	±360	±350	±270
Velocidad de Movimiento (grados/s)	J1	240	200	180	180	150	236
	J2	210	200	180	180	120	200
	J3	240	260	225	200	195	286
	J4	375	360	400	350	300	401
	J5	300	360	330	350	300	320
	J6	375	450	480	550	420	580
Vel. / Acel. TCP máx. (m/s)	-	2,5 / 20	-	-	-	2 / -	
Entradas / Salidas digitales	4 / 4 en 4º eje	12 / 0 en 3º eje	6 / 0 en 4º eje	4 / 4 en 4º eje	6 / 4 en 1º eje	7 / 2 en 4º eje	
Electroválvulas internas	0	0	2-3	0	0	2	
Peso robot (kg)	53	98	45	195	35	111	
Montaje	suelo o techo	suelo, ángulo o techo	suelo, ángulo o techo	suelo o techo	suelo o muro	Suelo o techo	
Grado de protección	IP54	IP67	IP65	IP54	IP54	IP65	
Temperatura de fun. (°C)	10 ~ 40	5 ~ 45	0 ~ 45	5 ~ 45	0 ~ 45	5 ~ 40	
Humedad relativa (%)	95	95	95	95	20-80	95	
Nivel ruido acústico (dB)	<70	<70	=70	70	70	70	
Precio (con IVA)	25.732 €	23.990 €	24.339 €	30.235 €	22.320 €	27.600 €	

Cada robot tiene asociado un sistema de control:

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

**Tabla II.6: Lista de controladores para los posibles robots industriales articulados**

<b>CONTROLADORES DE ROBOT</b>						
Marca	KUKA	ABB	FANUC Robotics	REIS Robotics	MOTOMAN	STÄUBLI
Controlador	KR C2	S4Cplus	R-J3B Mate	ROBOTstarV	XRC	CS8C
Ejes controlables	8	12	8	24	27	6
Tamaño (AlxAnxP) (mm)	485 x 460 x 310	950 x 800 x 620	470 x 530 x 320	900 x 800 x 600	650 x 600 x 450	305 x 445 x 437
Peso Controlador (kg)	185	250	35	215	100	40
Suministro potencia	3x400Vac ±10% 49/61Hz	3x200-600Vac +10% -15% 48,5 a 61,8Hz	3x380-500Vac +10% -15% 50/60Hz ±1%	3x400Vac ±10% 50/60Hz	3x200-220 Vac +10% -15% 50/60 Hz	3x400 Vac ±10% 50/60 Hz
Potencia (kVA)	7,3	4,8	1,2	2,4	1	1,2
CPU	Procesador Pentium o equivalente	Multiprocesador Pentium	Multiprocesadores RISC (mov y com) reloj tiempo real	Intel Celeron 300MHz	Procesador RISC	Procesador RISC
Capacidad Memoria (MB)	6400	64/128	32	64	2200 pasos y 1200 instrucc.	64
Backup (MB)	64 MB Compact Flash Disk	1,44 MB Disquete 3 <sup>1/2</sup>	32 MB Compact Flash Disk	32 MB Compact Flash Disk	32 MB Compact Flash Disk	64 MB Compact Flash Disk y USB
Lenguaje de programación	KRL	RAPID	TPE, KAREL, PMC	ROBOTstarV	TOE	VAL3
Comunicación	2xRS232, RS485, Ethernet	2xRS232, RS485, 2xEthernet	Puerto RS232, Ethernet	2xRS232, RS485 Ethernet	RS232, Ethernet, M-NET	RS232, RS422, Ethernet
Número Entradas/Salidas	512/512	1024/1024	512 puntos máx.	256/256	30/31	32/32
Tipos Entrada/Salida	Digitales DC/AC Analógicas 12bits ±10V, 4-20mA	Digitales DC/AC Analógicas 12bits ±10V, 4-20mA	Digitales DC/AC Analógicas 12 bits ±10V, 0/4-20mA	Digitales DC/AC Analógicas 12bits ±10V, 4-20mA	Digitales DC/AC	Digitales DC
Bus de campo para E/S remotas	DeviceNet, CAN, Interbus-S	Profibus-DP, 2XDeviceNet, Interbus-S, 2xCAN	Fanuc I/O, Profibus-DP, DeviceNet, Interbus-S	CAN	-	Profibus-DP, DeviceNet, CANopen/Modbus
Grado de protección	IP54	IP54	IP20	IP20	IP54	IP20
Temperatura de func.(°C)	5-45	5-52	0-45	5-45	0-45	5-40
Humedad relativa (%)	95	95	95	95	90	95
<b>CONSOLAS DE PROGRAMACIÓN</b>						
Modelo	KCP	TPU	iPendant	PHG	TP	SP1
Pantalla	8" 640x480píxeles	LCD 16x40	8" 640x480píxeles	8"640x480píxeles	LCD 12x40	LCD 16x40
Tamaño (AlxAnxP) (mm)	260 x 330 x 110	185 x 325 x 120	332 x 205 x 115	355 x 210 x 85	312 x 211 x 75	320 x 280 x 128
Peso (kg)	1,4	1	1,3	1,5	0,6	0,7

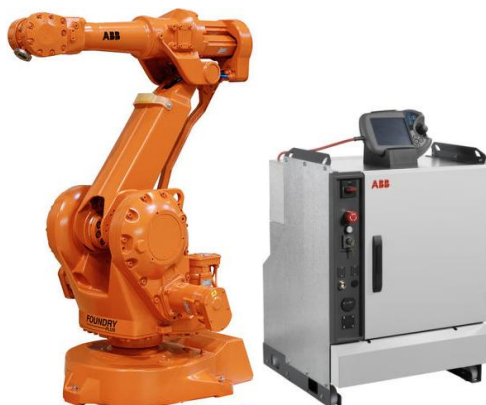


Como vemos la oferta disponible en el mercado para robots industriales es muy similar. Hay tamaños estándar de robots según el alcance, tamaño y peso. En cuanto a los controladores para los robots, las diferentes marcas no hacen una gran diferenciación, únicamente cambia el apartado estético de las consolas de programación.

De esta forma el robot elegido es el IRB-2400 con el controlador IRC5 de la marca ABB, que cumple con las características primordiales, estas son: velocidad, precisión, facilidad de programación, flexible e integrable en otros posibles sistemas. Este robot es de tamaño medio ya que no moverá una carga demasiado elevada en comparación con los mayores existentes. Este robot podría haber sido cualquier otro de otra marca comercial con un tamaño similar y que cumpla con las principales premisas.

**Tabla II.7: Ventajas y desventajas del robot IRB-2400 de ABB**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje</li><li>▪ Capacidad de carga óptima</li><li>▪ Alcance óptimo, entre el mínimo y el máximo requerido</li><li>▪ Repetitividad muy buena</li><li>▪ Rango de movimientos muy bueno</li><li>▪ Velocidad de movimientos buena</li><li>▪ E/S integradas</li><li>▪ Controlador con comunicación vía Ethernet</li><li>▪ Precio bajo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Peso elevado</li><li>▪ Base de dimensiones algo grandes</li></ul>



**Figura II.7: Robot IRB-2400 y controlador IRC5 de la marca ABB**

### **2.2.6 Procesos robotizados.**

El uso de robots en la industria es una aplicación relativamente joven si se compara con otras herramientas. La primera vez que se instaló un robot industrial ocurrió a la mitad del siglo XX. El primer robot con accionamiento eléctrico y controlado por computador vio la luz en 1973. Hoy en día, muchas de las actividades productivas tienen en los robots industriales unos de sus más importantes componentes, los cuales permiten aprovechar las numerosas ventajas que ofrecen los procesos automatizados, como pueden ser una mayor rapidez, flexibilidad, etc. Las compañías de producción industrial están obligadas a presentar alta productividad y ahorro en costes para subsistir en el mercado. Las operaciones manuales no son rentables en los países que presentan la mano de obra más cara, por lo que estas operaciones tienden a trasladarse a los países con menores salarios.

Por otro lado, cada vez se demanda mayor calidad de producto, que se consigue generalmente mediante la automatización. La inversión en robots facilita la posibilidad de mantener la producción en los países de renta alta y a la vez mejorar la calidad del producto. Además, ya que los robots se destinan a realizar a menudo tareas repetitivas y tediosas, frecuentemente peligrosas, la inversión en soluciones robóticas mejora las condiciones de seguridad de los trabajadores. A continuación se dará una visión global sobre la importancia del robot en diferentes sectores y aplicaciones industriales. También se muestran algunos datos concernientes a las cifras del mercado robótico mundial, que demuestran el constante crecimiento y desarrollo de estas soluciones.

La principal aplicación de los robots tiene lugar en la industria, donde es habitual la repetición de tareas, como la fabricación en serie de piezas y maquinaria, lo que obliga a realizar todas exactamente iguales. Un robot está programado para realizar los mismos movimientos y con la misma precisión, por lo que es perfecto para aplicaciones industriales. Aunque prácticamente todos los campos de la industria son susceptibles de emplear robots para determinadas operaciones o trabajos, solo vamos a describir las aplicaciones más comunes:

### 2.2.6.1 Manipulación y procesado de elementos.

Cuanto mayor sea el trabajo de almacenamiento, más justificado está el uso de sistemas automáticos que clasifican y almacenan. Estos sistemas combinan una estructura tridimensional de baldas y estanterías, en las que los objetos son colocados siguiendo un patrón de clasificación

La alimentación de maquinas especializadas es otra tarea de manipulación de posible robotización. La peligrosidad y monotonía de las operaciones de carga y descarga de maquinas como prensas, estampadoras, hornos o la posibilidad de usar un mismo robot para transferir una pieza a través de diferentes maquinas de procesado, ha conseguido que gran número de empresas hayan introducido robots en sus talleres. En las células de multiproceso el mismo robot alimenta a varias maquinas o centros de mecanizado. Una misma pieza, transportada por el robot, puede ir pasando de una maquina a otra, incluyendo controles de calidad u otras tareas de calibración.

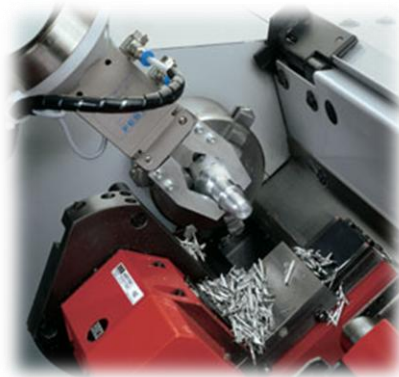


Figura II.8: Máquina de tornear con carga por robot

Ciertos procesos de manipulación deben ser realizados en ambientes extremadamente limpios y controlados.

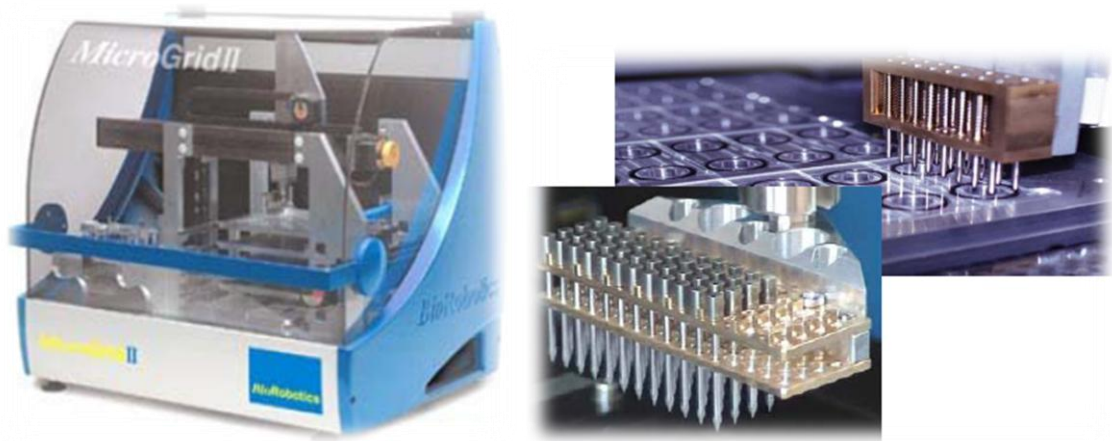


Figura II.9: Uso de robot en la integración de microchips

En ellos, la actividad del operador se ve dificultado no por el trabajo en sí, que no tiene por qué ser especialmente complejo o delicado, sino por la necesidad de mantener elevadas medidas de control de impurezas. Las denominadas salas blancas de la industria de los semiconductores o a las de fabricación de algunos productos farmacéuticos, son ejemplos típicos.

#### 2.2.6.2 Paletización.

La paletización es un proceso básicamente de manipulación, consistente en disponer de piezas sobre una plataforma o bandeja (palet). Las piezas en un palet ocupan normalmente posiciones predeterminadas, procurando asegurar la estabilidad, facilitar su manipulación y optimizar su extensión.



Figura II.10: Uso de robot en labores de paletización

Existen diferentes tipos de maquinas específicas para realizar operaciones de paletizado. Estas frente al robot, presentan ventajas en cuanto a velocidad y coste, sin embargo, son rígidos en cuanto a su funcionamiento, siendo incapaces de modificar su tarea de carga y descarga. Así pues, los robots realizan con ventaja aplicaciones de paletizacion en las que la forma, numero o características generales de los productos a manipular, cambian con relativa frecuencia.

### 2.2.6.3 Operaciones industriales de mecanización.

En industrias de automoción y fabricación de maquinaria en serie, los robots son de enorme utilidad en operaciones como:

- **Soldadura:**

La tarea más frecuente robotizada dentro de la fabricación de automóviles ha sido sin duda alguna la soldadura de carrocerías. En este proceso, dos piezas metálicas se unen en un punto para la fusión conjunta de ambas partes, denominándose a este tipo de soldadura por puntos. Para ello, se hace pasar una elevada corriente eléctrica elevada y baja tensión a través de dos electrodos enfrentados entre los que se sitúan las piezas a unir. Los electrodos instalados en una pinza de soldadora, deben sujetar las piezas con una presión determinada (de lo que depende la precisión de la soldadura). Además deben de ser controlados los niveles de tensión e intensidad necesarios, así como el tiempo de aplicación. Todo ello exige el empleo de un sistema de control del proceso de soldadura.



Figura II.11: Diferentes procesos de soldadura mediante robots

La robotización de la soldadura por puntos admite dos soluciones: el robot transporta la pieza presentando esta a los electrodos que están fijos, o bien, el robot transporta la pinza de soldadura posicionando los electrodos en el punto exacto de la pieza en la que se desea realizar la soldadura. El optar por uno u otro método depende del tamaño, peso y manejabilidad de las piezas. En las grandes líneas de soldadura de carrocerías de automóviles, estas pasan secuencialmente por varios robots dispuestos frecuentemente formando un pasillo, los robots, de una manera coordinada, posicionan las piezas de soldadura realizando varios puntos consecutivamente.

- **Recubrimientos y aplicación de materiales:**

El acabado de superficies por recubrimiento de un cierto material (pintura, esmalte, partículas de metal, etc.) con fines decorativos o de protección, es una parte crítica en muchos procesos de fabricación. Tanto en la pintura como en el metalizado, esmaltado o arenado, la problemática a resolver es similar, siendo la primera la que cuenta con mayor difusión. Su empleo está generalizado en la fabricación de automóviles, electrodomésticos, muebles, etc.



Figura II.12: Robots pintando la carrocería de un automóvil

- **Procesado y mecanizado:**

Dentro del procesado se incluyen operaciones en las que el robot se enfrenta a piezas y herramientas (transportando una u otra) para conseguir, en general, una modificación en la forma de la pieza. El desbardado consiste en la eliminación de rebabas de la pieza de metal o plástico, procedentes de un proceso anterior (fundición,



estampación, etc.). Esta operación se realiza manualmente con una esmeriladora o fresa, dependiendo la herramienta de las características del material a desbardar.



Figura II.13: Robot puliendo (izquierda). Robot desbarbando piezas (derecha)

- **Corte de piezas mediante sierra o láser:**

El corte de materiales mediante el robot es una aplicación reciente que cuenta con notable interés. La capacidad de reprogramación del robot y su integración en un sistema, hacen que aquel sea el elemento ideal para transportar la herramienta de corte sobre la pieza, realizando con precisión un programa de corte definido previamente desde un sistema de diseño asistido por computador (CAD). Los métodos de corte no mecánico más empleados son oxicorte, plasma, láser y chorro de agua, dependiendo de la naturaleza del material a cortar. En todos ellos el robot transporta la boquilla por la que se emite el material de corte, proyectando este sobre la pieza al tiempo que sigue una trayectoria determinada. Las piezas a cortar pueden disponerse en varias capas, unas encima de otras, realizándose el corte simultáneo de todas ellas (método de corte de patrones en la industria textil).

#### 2.2.6.4 Trabajos en fundición.

La fundición por inyección fue el primer proceso robotizado (1960). En este proceso el material usado, en estado líquido, es inyectado a presión en el molde. Este último está formado por dos mitades que se mantienen unidas durante la inyección del metal mediante la presión ejercida por dos cilindros. La pieza solidificada se extrae del molde y se enfría para su posterior desbardado. El molde, una vez limpio de residuos de restos de metal y adecuadamente lubricado, puede ser usado de nuevo.

En la fundición de las piezas del molde y transporte de estas a un lugar de enfriado y posteriormente a otro proceso (desbardado, corte, etc.). Limpieza y mantenimiento de los moldes eliminando rebabas (por aplicación de aire comprimido) y aplicando el lubricante. Colocación de piezas en el interior de los moldes (embutidos). Las cargas manejadas por los robots en estas tareas suelen ser medias o altas (del orden de decenas de kilogramos), no se necesita una gran precisión y su campo de acción ha de ser grande. Su estructura más frecuente es la polar y la articular, su sistema de control es por lo general sencillo.

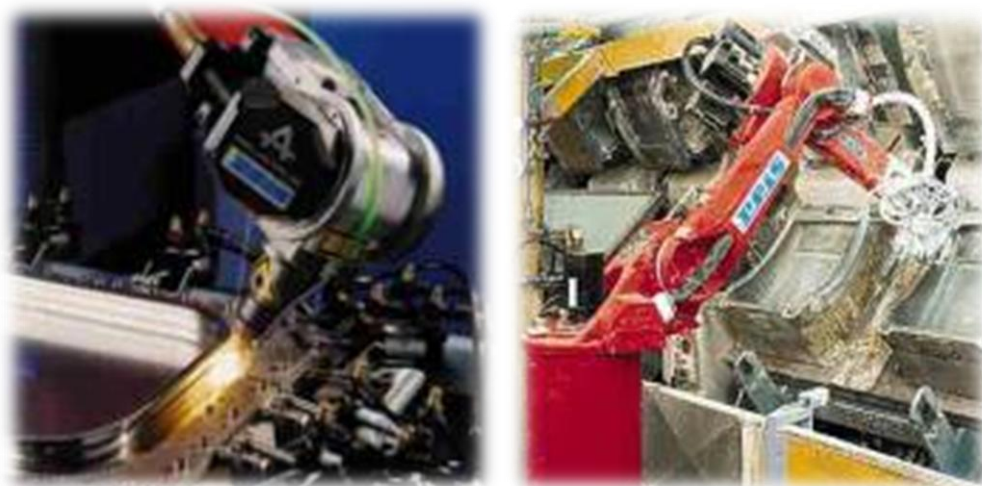


Figura II.14: Robots trabajando en el colado de moldes

#### 2.2.6.5 Montaje y ensamblado.

Las operaciones de montaje, por la gran precisión y habilidad que normalmente exigen, presentan grandes dificultades para su automatización flexible. Sin embargo, el



hecho de que estas operaciones representen una buena parte de los costes totales del producto, ha propiciado las investigaciones y desarrollos en esta área, consiguiéndose importantes avances.



**Figura II.15: Robots trabajando en el colado de moldes**

También pertenecen a este grupo trabajos en los que el anclaje se produce mediante la realización de taladros conjuntamente con operaciones de atornillado y roscado, o labores de remachado.

### 2.2.6.6 Inspecciones en lugares inaccesibles y manipulación de residuos tóxicos-peligrosos.

En ocasiones es necesario realizar tareas de limpieza y mantenimiento en lugares como tubos de aire acondicionado, alcantarillas, etc. Para ello se utilizan robots dotados de un sistema de tracción adecuado a los que se les incorpora una cámara. Así se puede obtener una visión del recorrido que sigue el robot.



Figura II.16: Inspección de los tubos del generador de vapor en un reactor nuclear

Los trabajos de inspección y mantenimiento de las zonas más contaminadas de una central nuclear de producción de energía eléctrica son largos y costosos. De realizarlas manualmente, el tiempo de exposición de los operadores a la radiación es un factor crítico que, junto con el elevado coste que supone una interrupción temporal del funcionamiento del sistema en cuestión, justifica sin lugar a dudas la utilización de sistemas robotizados, normalmente tele-operados, total o parcialmente, que sustituyan al operador.

También es el caso de la limpieza de ríos y puertos. Este tipo de trabajos requiere robots que se sumerjan en el fondo fluvial o marino. También suelen incorporar, además de medios submarinos de impulsión, cámaras de observación para visualizar desde el centro de control del robot.

Las industrias que generan residuos altamente tóxicos, como las industrias químicas o las que trabajan con material radiactivo, requieren la utilización de robots para el traslado y manipulación de este tipo de materiales, ya que no es posible que una persona opere en estos ambientes de trabajo.

#### **2.2.6.7 Control de calidad y otros campos.**

La tendencia a conseguir una completa automatización abarca el control de la calidad. El robot industrial participa en esta tarea usando su capacidad de posicionamiento y manipulación, realizando el control dimensional de las piezas.

En el sector de la industria alimentaria es cada vez mayor la utilización de robots dedicados a los trabajos de poda, recolectores de fruta, preparadores y cortadores de animales en piezas en la industria cárnica, etc.

La automatización mediante robots está avanzando en otros sectores tradicionalmente menos adeptos. Por ejemplo se está implantando con notable éxito en la medicina (herramienta de apoyo en la cirugía), en la ayuda a discapacitados, en el sector aeronáutico, en la minería o en la construcción.

Aunque en la actualidad se están incorporando nuevos sectores y actividades al uso de robots en sectores de fabricación y/o procesamiento, todavía se puede observar como los sectores clásicos de la automatización se mantienen a la cabeza en uso de robots. Así observamos como la actividad que mas robots demanda es con mucha diferencia la soldadura (50%), un campo donde los robots se adaptan realmente bien. Sectores como el ensamblado y trabajo de mecanizado (Actividades desarrolladas en este PFC) representan únicamente el 7% respectivamente.

Por sectores, el del automóvil y componentes es también el que más robots incorpora. Hay que destacar que en las figuras se hace referencia al número total de robots acumulados. Si hablásemos de forma anual hay que señalar una mayor progresión del resto de sectores y actividades en proporción.



Figura II.17: Robots en España por actividad

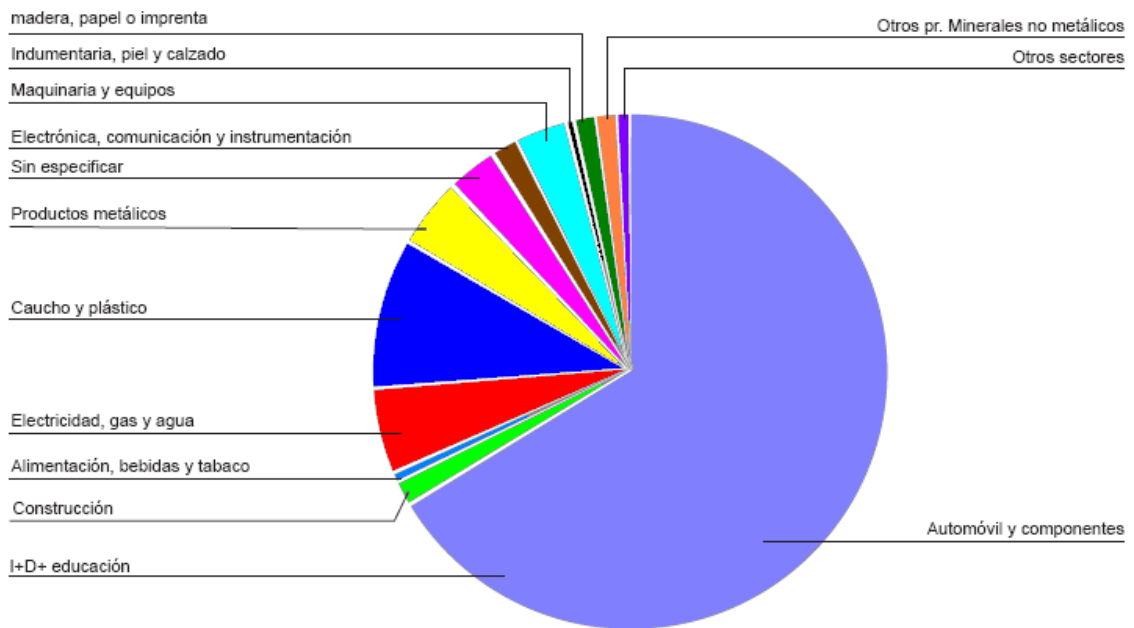


Figura II.18: Robots en España por sector

### **2.2.7 Conclusiones actividad robótica mundial y proyección de futuro.**

Según un informe recientemente publicado por la IFR [6], “Federación internacional de robótica”, se puede concluir que el mercado de la robótica está en constante crecimiento, por lo que resulta atractivo tener conocimiento sobre los desarrollos en este campo. Además, se constata que frente a la previa posición dominante y casi exclusiva del sector de la automoción como consumidor de estas soluciones, la tendencia muestra que muchas otras industrias, como la alimentaria, la construcción, la logística, etc., están cobrando gran importancia relativa en este mercado, aumentando su inversión en robótica y generando por tanto originales e innovadores desarrollos de aplicación en nuevos campos y tareas por parte de los fabricantes. Por tanto la robótica va a cobrar cada vez más importancia en todo tipo de áreas, y es interesante conocer los nuevos o potenciales desarrollos.

Hay una tendencia mundial hacia la automatización de la industria no automotriz, que es muy evidente en 2007. Los proveedores de robots ofrecen soluciones cada vez más adaptadas. La industria del metal, alimenticia, farmacéutica, de dispositivos médicos o fotovoltaicos siguen ampliando sus inversiones en robots. La industria del automóvil, principal cliente histórico, se está re-estructurando ya que el mercado solo crece en los países emergentes, donde la demanda es de bajo costo. Las grandes compañías de automóviles tratan de reducir el número de proveedores directos. Se trata de externalizar los procesos de producción centrándose en los de valor añadido. En consecuencia la industria de piezas de automóvil se ha visto perjudicada. Ambas subirán los próximos años.

La automatización y manipulación de piezas está ganando en importancia en todos los sectores industriales. Fabricas que utilizan maquinas-herramientas pueden estar operativas más horas vía automatización con robots industriales. Los robots sustituyen la mano de obra humana siendo capaz de administrar material o usar herramientas. Esto permite a los centros de mecanizado mantener el funcionamiento permanentemente. Paletizado, envasado, recolección y colocación han ganado rápidamente importancia estos tres últimos años en Europa. La automatización del sector alimenticio (alimentos y bebidas) es muy alta en Europa.

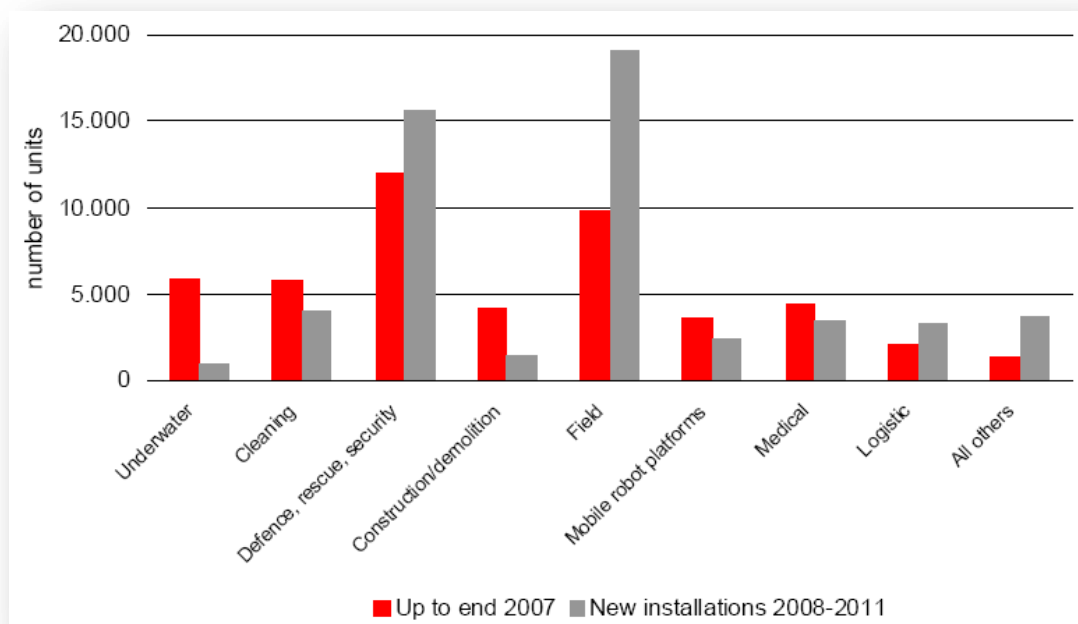


Figura II.19: Previsión de la demanda de robots industriales en sectores no automóvil

Los últimos datos muestran que en 2008 las inversiones en industrias manufactureras perdieron impulso, aumentando un 8% en todo el mundo el primer trimestre. La crisis que afecta a las económicas mundiales repercutirá en las instalaciones de robots en el 2009 y probablemente en 2010. Sin embargo tampoco se prevé un fuerte descenso. ¿Por qué? Los robots industriales son un componente clave en los procesos automatizados. La productividad, la escasez de mano de obra causada por el cambio demográfico, los altos estándares de calidad, las regulaciones ambientales, la reducción de los trabajos tediosos y peligrosos, la variabilidad de la producción, etc. Plantean nuevos desafíos a la tecnología de la automatización y estimulará la demanda de robots en todos los sectores de la industria manufacturera.

Por último, pero no menos importante, las inversiones en los mercados emergentes continuará a buen ritmo. Se puede esperar una fuerte recuperación mundial para el año 2011 a más tardar. El mercado mundial de robots industriales se prevé que aumente un 4% de 114.365 unidades en 2007 a 118.900 en 2008. En 2008, se espera que Europa crezca un 6% obteniendo un nuevo nivel máximo. América del Norte subirá ligeramente 1%, mientras que Brasil continuará creciendo sustancialmente. Américas se estancará a un gran nivel.

La demanda en China, India, la ASEAN, Europa Central y Oriental y América del Sur una vez más registrarán un aumento en la tasa superior a la tendencia. Los suministros en Japón se estancarán. En Corea crecerán en torno al 8%. Asia/Australia crecerá un 6%.

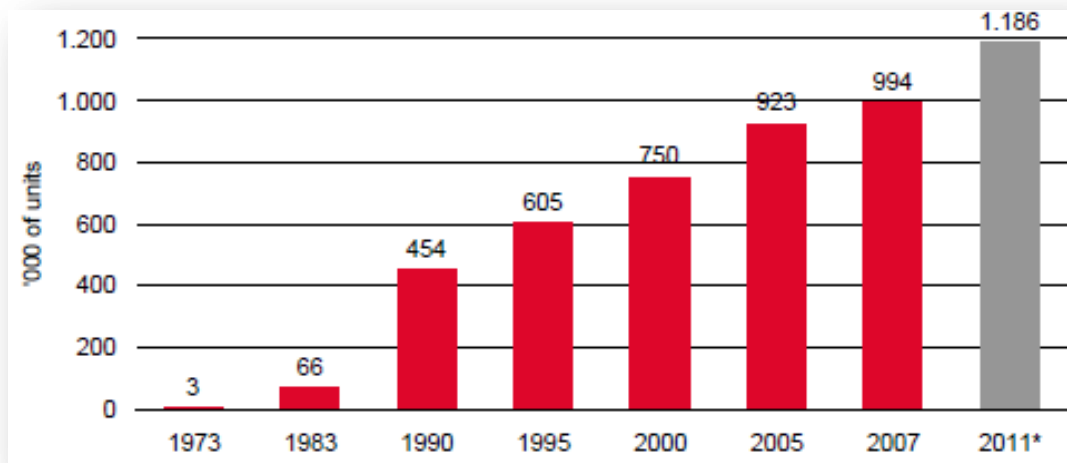


Figura II.20: Previsión de la demanda de robots industriales

Entre 2009 y 2011 se puede esperar un crecimiento en la instalación de nuevos robots aproximadamente del 4% por año en todo el mundo. Estancamiento o solo crecimiento lento, las inversiones del sector del automóvil se compensarán - hasta cierto punto - por más vigorosa demanda en todas las demás industrias. En Europa y en las Américas, el promedio de crecimiento será alrededor del 3% por año, y en Asia / Australia 5% por año.

En cuanto a los propios robots industriales también se tienen a realizar mejoras en la tecnología de los sensores, como en la visión del robot, los sensores de par y de reconocimiento del medio, lo cual mejorara los controles de calidad e inspección. Se prevé mejoras en las comunicaciones tales como la operación remota y mejores interfaces hombre-máquina, por lo que se abren nuevas vías para las pequeñas y medianas empresas. Mejoras en la tecnología del sistema, tales como la programación fuera de línea (sistemas virtuales), en la seguridad y en la cooperación multi-robot garantiza sofisticadas soluciones para la automatización de procesos.

## **2.4 Procesos robotizados de ensamblaje.**

El ensamble mediante robots ha ampliado la capacidad de producción en la fabricación mundial. El proceso de montaje es más rápido, más eficiente y preciso que nunca. Los robots han preservado a los trabajadores de tediosos y aburridos empleos en línea de montaje, y han incrementado la producción y el ahorro costes en el proceso.

### **2.4.1 Concepto.**

Ensamblaje es el proceso mediante el cual se unen componentes para formar un producto, siguiendo los siguientes pasos. Hay dos métodos diferenciados de ensamblaje:

- Métodos de unión permanente:
  - Soldadura (al arco, láser, ultrasónico, plástica, etc)
  - Pegado
  - Sellado
  
- Métodos de unión semipermanente:
  - Atornillado
  - Remachado
  - Anclaje o enganche automático

Es difícil no pensar en un robot como una herramienta, rápida, precisa, e incansable. No obstante lo que puede resultar fácil para un ser humano a la hora de montar o ensamblar puede ser difícil o imposible para un robot. Para garantizar el éxito de robótica con el montaje, los ingenieros deben adaptar sus partes, productos y procesos a los requisitos exclusivos del robot.

Un único robot no puede sujetar la pieza y a la vez la herramienta, además hay que tener en cuenta, que los robots SCARA y cartesianos sólo pueden moverse a lo largo de tres o cuatro ejes. En el caso de un robot articulado se puede llegar a conseguir hasta 6 grados de libertad. Como resultado, los productos deben estar diseñados de modo que puedan ser montados en capas de abajo hacia arriba.



En esta misma línea, los diferentes elementos deberían estar diseñados para permanecer inmóviles en el lugar de trabajo mientras son instalados por el robot. Una buena solución es, que los elementos se puedan ensamblar mediante enganche automático, eliminando la necesidad de sujeción, o la soldadura de unión más tarde. Además, como los robots no pueden moverse con la misma repetitividad sin que varíe (automatización rígida), los elementos a ensamblar deberían tener características de auto-alineado, como los bordes o chaflanes, para ayudar al robot a insertarlos. Si las piezas han de ser forzadas durante el ensamblaje conjunto, en lugar de estar en el lugar correcto, es probablemente que el robot tenga problemas, o que las piezas queden dañadas.

Las pinzas robóticas, como la usada en este PFC, no son tan flexibles o adaptables como una mano humana, por lo que algunas partes o superficies son más fáciles de agarrar para los robots que otras (caso de superficies cónicas). Por ejemplo una pieza con dos superficies paralelas puede ser manejada por una pinza de dos dedos, o una circular puede ser manejada por sus bordes exteriores o, si tiene un agujero en el centro, dentro de sus bordes. Añadir un pequeño borde a la pieza puede ayudar a un agarre fiable y a aumentar la eficiencia del sistema. Si el robot se encargará de más de un tipo de piezas las partes deben estar diseñados de modo que puedan ser manipuladas con la misma pinza.

Como de bien estén fabricadas las piezas también pueden ser un problema. Aunque los robots son flexibles, en el sentido de que puede ser programado para ensamblar diferentes productos, pueden tener dificultades para superar una incoherencia. Por ejemplo, si se tienen piezas que se fabrican a diferentes tolerancias, puede que el robot tenga dificultades para conseguir ensamblarlas con éxito. Si las piezas son entregadas en las bandejas, las piezas deben descansar en los alojamientos diseñados de forma estable y consistente. Dichos alojamientos deben proporcionar espacio para los dedos de la pinza y el robot debe ser capaz de recoger una de las piezas sin tocar ninguna otra. Equipar el robot con una pinza con auto-centrado permitirá a los ingenieros utilizar bandejas o accesorios menos precisos.

Una de las ventajas de los robots guiados por visión, es que este tipo de características propias de los sistemas de abastecimiento y montaje rígidos no son necesarias. De tal forma que las piezas entregadas al robot mediante una cinta transportadora. Mediante un sistema de visión, montado sobre la cinta transportadora o en el brazo robot, se puede saber dónde encontrar las piezas y cuál es la correcta orientación de cada una. Se tiene que tener en cuenta que para poder trabajar con un sistema de visión de manera eficaz hay que asegurarse de que las piezas tengan un aspecto visual bien definido. También se puede incluir características que permitan un fácil reconocimiento.



Figura II.21: Robot en tareas de anclaje

#### 2.4.2 Aplicaciones.

En este PFC hemos llevado a cabo procesos de ensamblaje del tipo anclado o montaje. Las operaciones de montaje, por la gran precisión y habilidad que normalmente exigen, presentan grandes dificultades para su automatización flexible. Sin embargo, el hecho de que estas operaciones representen una buena parte de los costes totales del producto, ha propiciado las investigaciones y desarrollos en esta área, consiguiéndose importantes avances.

Muchos procesos de ensamblado se han automatizado empleando maquinas especiales que funcionan con gran precisión y rapidez. Sin embargo, el mercado actual precisa de sistemas muy flexibles, que permitan introducir frecuentes modificaciones en los productos con unos costes mínimos. Por este motivo el robot industrial se ha convertido en muchos casos en la solución ideal para la automatización del ensamblaje.

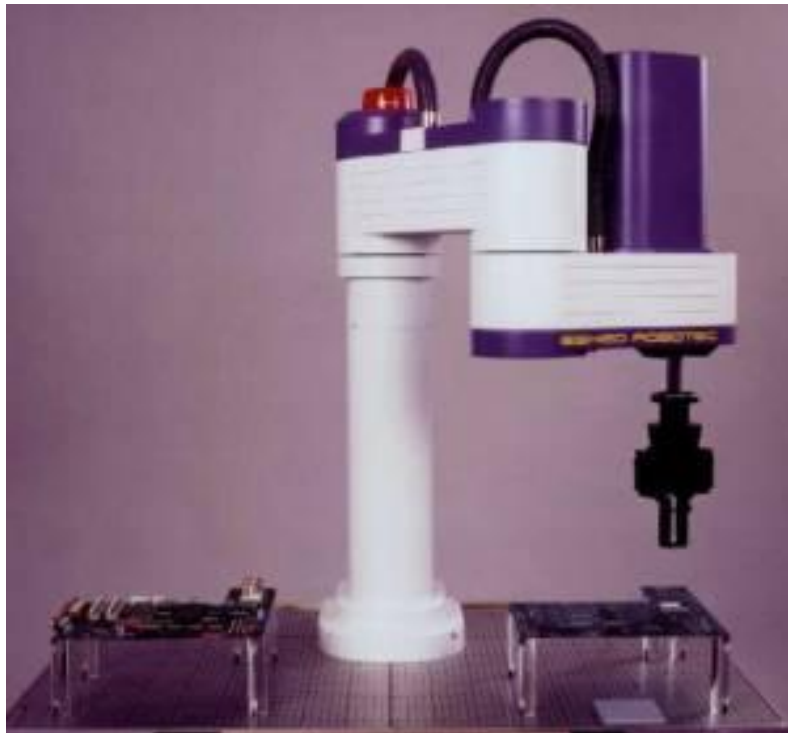


Figura II.22: Robot ensamblando piezas

En particular, el robot resuelve correctamente muchas aplicaciones de ensamblado de piezas pequeñas en conjuntos mecánicos o eléctricos. Para ello el robot precisa una serie de elementos auxiliares cuyo coste es similar o superior al del propio robot. Entre estos cabe destacar a los alimentadores (tambores vibradores, por ejemplo), posicionadores y los posibles sensores que usa el robot para ayudarse en su tarea (esfuerzos, visión, tacto, etc.).

Estos sensores son indispensables en muchos casos debido a las estrechas tolerancias con que se trabaja en el ensamblaje y a los inevitables errores, aunque sean muy pequeños, en el posicionamiento de las piezas que entran a formar parte de él. Los robots empleados en el ensamblaje requieren, en cualquier caso, una gran precisión y repetitividad, no siendo preciso que manejen grandes cargas.

El tipo SCARA ha alcanzado gran popularidad en este tipo de tareas por su bajo coste y buenas características. Estas se consiguen por su adaptabilidad selectiva, presentando facilidad para desviarse, por una fuerza externa, en el plano horizontal y una gran rigidez para hacerlo en el eje vertical. También se usan con frecuencia robots cartesianos por su elevada precisión y, en general, los robots articulares que pueden resolver muchas de estas aplicaciones con suficiente efectividad. La dificultad inherente de este tipo de tareas obliga, en casi todos los casos, a facilitarlas con un adecuado rediseño de las partes que componen el conjunto a ensamblar. De este modo, conjuntos cuyo ensamblaje automatizado sería inabordable con su diseño inicial, pueden ser montados de una manera competitiva mediante el empleo de robots.



**Figura II.23: Robot SCARA fijando componentes en placas electrónicas**

Para finalizar este punto comentar que los procesos de ensamble representan aproximadamente el 33% de las solicitudes de la población mundial de robots (1997). Muchos de estos robots se pueden encontrar en la industria del automóvil y la electrónica.

## **2.5 Procesos robotizados de mecanizado.**

### **2.5.1 Concepto.**

Un mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión. Se realiza a partir de productos semi-elaborados como lingotes, barras, tochos u otras piezas previamente conformadas por otros procesos como moldeo o forja. Los productos obtenidos pueden ser finales o semi-elaborados que requieran operaciones posteriores.

- **Mecanizado por arranque de viruta:**

El material es arrancado o cortado con una herramienta dando lugar a un desperdicio o viruta. La herramienta consta, generalmente, de uno o varios filos o cuchillas que separan la viruta de la pieza en cada pasada. En el mecanizado por arranque de viruta se dan procesos de desbaste (eliminación de mucho material con poca precisión; proceso intermedio) y de acabado (eliminación de poco material con mucha precisión; proceso final). Sin embargo, tiene una limitación física: no se puede eliminar todo el material que se quiera porque llega un momento en que el esfuerzo para apretar la herramienta contra la pieza es tan liviano que la herramienta no penetra y no se llega a extraer viruta. Ejemplos de este tipo de mecanizado son los procesos de: fresado, torneado, taladrado o mortajado. En este PFC se han llevado a cabo procesos de mecanizado robotizados con arranque de viruta.

- **Mecanizado por abrasión:**

La abrasión es la eliminación de material desgastando la pieza en pequeñas cantidades, desprendiendo partículas de material, en muchos casos, incandescente. Este proceso se realiza por la acción de una herramienta característica, la muela abrasiva. En este caso, la herramienta (muela) está formada por partículas de material abrasivo muy duro unidas por un aglutinante. Esta forma de eliminar material rayando la superficie de la pieza, necesita menos fuerza para eliminar material apretando la herramienta contra la pieza, por lo que permite que se puedan dar pasadas de mucho menor espesor. La

precisión que se puede obtener por abrasión y el acabado superficial pueden ser muy buenos pero los tiempos productivos son muy prolongados.

Este tipo de procesos se ha desarrollado durante muchos años (siglo XIX) por máquinas tradicionales hasta la llegada de la automatización rígida, máquinas transfer, a partir de 1920. Las máquinas transfer desarrollaban el concepto de ser unidades autónomas de mecanizado, es decir máquinas automáticas diseñadas para la realización de un trabajo específico. Eran bastante laboriosas de programar para cada lote de piezas. Con el desarrollo de la electrónica a comienzo de la década de los '70 nace el concepto de control numérico que se generaliza en los años 80 y se beneficia del nacimiento y avances de la informática.

Con el control numérico y su extensión a todo tipo de máquinas nace el concepto de centro de mecanizado, que es una máquina que es capaz de realizar las funciones de otras de diferente tipo, tornea, fresa, mandrina, taladra... tiene un almacén de herramientas y es capaz de posicionar la pieza a mecanizar en las diferentes posiciones necesarias y en las diferentes colocaciones. Todo ello con un control centralizado. Las máquinas han ganado en simplicidad mecánica, primero, y en electrónica, después, al pasar los elementos de control de mecanismos mecánicos a eléctricos o electrónicos, primero, y a programación, después. Como en el caso de la informática, el hardware es sustituido por el software.

En cuanto a las herramientas, los progresos en materiales cerámicos y en los estudios de las formas geométricas han influido en un notable rendimiento de las herramientas de corte que ha mejorado ostensiblemente el trabajo realizado.



Figura II.24: Máquina de control numérico

La unión de máquinas individuales con elementos de transporte y colocación de las piezas, como robot o pórticos, todos ellos controlados desde un sistema de control central y coordinado crean células de fabricación flexibles. A la integración de la mecánica y la electrónica se le ha dado en llamar mecatrónica. Junto al avance de los sistemas de control se ha desarrollado otro, mucho más silencioso, en referencia a los materiales de construcción de las propias máquinas, desarrollándose plásticos y resinas de dureza y flexibilidad excelentes y sistemas de motores planos que permiten mejores rendimientos en los movimientos de las piezas y herramientas.

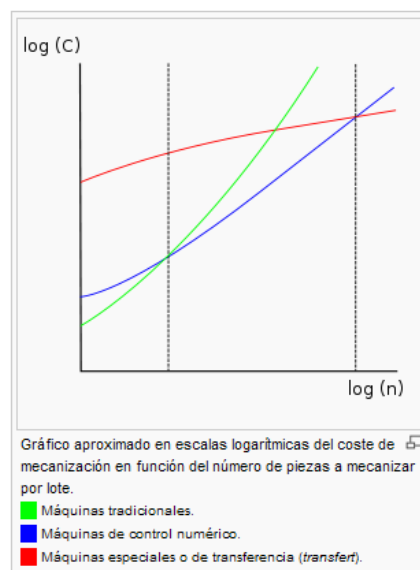


Figura II.25: Coste de mecanizado en función de las piezas a mecanizar por lote

Como observamos en el gráfico, para lotes con un gran número de unidades las máquinas transfer tienen a reducir los costes en gran medida, ya que son sistemas automáticos diseñados a la medida de unas especificaciones muy concretas. En cuanto la producción es más variable, rango medio, observamos como las máquinas por CNC son las más adecuadas debido a su gran rapidez (no tanto como las transfer) y a su relativa facilidad de programación. Sin embargo para lotes muy pequeños, donde hay que reprogramar las máquinas cada poco tiempo adaptándolas a las nuevas especificaciones resulta más rentable un sistema tradicional.

Es en este punto donde hace hincapié la inclusión de los robots en la célula de mecanizado ya que hace el sistema mucho más flexible y reprogramable abaratando en gran medida los costes para lotes pequeños, pero sin embargo, también tiene unas características muy buenas de rapidez y automatización para grandes lotes de piezas. Esto convierte el mecanizado mediante robots en un sistema extremadamente rentable en cualquier punto de la escala de producción.

Otro tema a estudiar en las aplicaciones robóticas para la eliminación de material de forma precisa es el control de fuerza de las herramientas. Estos dispositivos de fuerza pueden ser pasivos o activos, dependiendo de la necesidad de precisión. Los sistemas pasivos se basan en el control de las especificaciones mediante lazo abierto mientras que el activo asegura el control mediante realimentación de la fuerza que el robot-herramienta (puede que el robot controle la herramienta o mueva la pieza) ejercen sobre el material.

### **2.5.2 Aplicaciones.**

- **Fresado:**

El fresado es el proceso por el cual se recorta material de una pieza (normalmente por capas) para formar una estructura específica, a menudo se trata de un prototipo o molde. Principales beneficios:

- Rendimiento: Los robots mediante su gran capacidad para generar diversas trayectorias pueden realizar con eficiencia este tipo de operaciones. Las células de



trabajo pueden tener varias herramientas accesibles al robot para realizar mayor nº de operaciones, de esta forma se acelera los tiempos de ciclo.

- Precisión: El fresado requiere cortes exactos, fácil de proporcionar con robots.
- Flexibilidad: Los robots tienen una gran movilidad lo que les proporciona características muy buenas para conseguir realizar múltiples pasos.
- Asequibilidad: Los robots son rápidos, eficientes y seguros, una unión de características que los hacen muy rentables.

Para ciertas aplicaciones de fresado multi-ejes usar un centro de mecanizado tradicional de control numérico puede ser desmesurado. Se incluye el fresado de materiales complicados, como la arcilla, espuma o cera para el diseño de nuevos prototipos, así como los materiales tradicionales en los que las tolerancias dimensionales tengan que ser bajas. En estos casos, un robot podría ser más asequible y rentable que un centro de mecanizado. Pueden ser más útiles en piezas de gran tamaño, tales como chasis a escala de automóviles o componentes para estos a tamaño completo.



Figura II.26: Fresado para la obtención de un molde

En la actualidad se desarrollan sistemas que consiguen el control del movimiento del robot directamente a partir de un modelo CAM, generándose automáticamente el código de mecanizado que seguirá el robot. Esta forma de operar puede ofrecer importantes ahorros de tiempo y también permitir que los cambios realizados a los datos de corte sobre el modelo real puedan ser guardados directamente en el modelo CAM. Estos sistemas disponen de una gran capacidad de programación, similar a una máquina de CNC, pero unos valores inferiores de aceleración cuando se producen cambios de dirección bruscos. El controlador también es capaz de anticipar posibles singularidades, adaptando la trayectoria sin tener que levantar la herramienta de corte de la pieza.



**Figura II.27: Ejemplo de funcionamiento de fresado mediante robot**

La robotización del fresado puede abrir nuevas oportunidades para las tareas de corte de metal ligero, con tal de que el robot puede proporcionar suficiente rigidez y capacidad de carga útil.

- **Desbarbado:**

En cualquier proceso de mecanizado por arranque de viruta quedan siempre pequeñas irregularidades, o rebabas, que hacen que la pieza en cuestión no obtenga la calidad, estética o acabado deseados.

Se ha producido cierta alerta sobre los problemas de salud y seguridad que puede conllevar los trabajos manuales de desbarbado, como el síndrome de los “dedos blancos” (adormilamiento permanente), debido a las vibraciones de las herramientas. Además un trabajo tan tedioso muchas veces se termina traduciendo en pérdida de la calidad en el acabado. Algunos fabricantes de automóviles están reemplazando o volviendo a evaluar el proceso manual de desbarbado por uno robótico automatizado mucho más preciso. Con un sistema robotizado de desbarbado se reducen mediante la eliminación de problemas de seguridad y salud. Al mismo tiempo se incrementa la calidad y se reducen los tiempos de ciclo, luego aumenta la productividad.

En la industria automovilística sirve para el desbarbado de los bloques y culatas de aluminio, llantas de aluminio, fibra de vidrio de asientos de seguridad para niños o diferentes piezas para la dirección o la caja de cambios, también para válvulas de acero, alabes de las turbinas o hasta cucharas de plata. La robotización del desbarbado no es una tarea fácil.



Figura II.28: Desbarbado de una llanta para automóvil (izquierda) y desbarbado de cremalleras de aluminio y alojamiento para piñones (derecha)

- **Perforación:**

Los procesos de taladrado realizados mediante robots ofrecen la mejor alternativa al agotador y a menudo peligroso taladrado manual. No sólo las compañías han mejorado la precisión de perforación, la repetitividad y la velocidad, sino que han aumentado la productividad y el ahorro. Los beneficios de esta aplicación y el elevado ROI (ratio entre los costes y los beneficios en la investigación) hacen que este sistema sea una excelente inversión.

A diferencia del trabajo de taladrado manual, los robots pueden estar taladrando sin parar. Esto aumenta la producción de salida, ya que los ciclos de perforación se producen de forma más rápida y fiable. Se reducen costes que normalmente deberían gastarse.

Un sistema robotizado de perforación y remachado se utiliza en la actualidad en la división estadounidense de helicópteros SeaHawks y BlackHawks. El robot está equipado con frenos en cinco de sus seis ejes de movimiento para tener una buena estabilidad durante las operaciones de perforación y remachado. La remachadora se une al efector final a través de una placa que permite que el dispositivo se adapte a los pequeños errores en la posición inicial del robot durante el proceso de inserción del remache. El sistema está dirigido por un ordenador que actúa como control de supervisión. El software está programado fuera de línea de forma que los diferentes datos sobre los procesos de ensamblaje que se producen quedan guardados en memoria

Una posible aplicación puede ser el uso de micro-robots para operaciones de taladrado ultra-precisas, como en el sistema de robots “insectos” desarrollado por la universidad de electrónica de Tokio. La demanda de máquinas con mucha mayor precisión ha sido la causa del desarrollo de estos mecanismos que pueden cubrir una amplia gama de trabajos sofisticados. Estos robots se componen de elementos piezoeléctricos para la micro locomoción y de electroimanes para la sujeción. Tienen baja producción y bajos gastos de mantenimiento. Además permiten trabajar simultáneamente para las tareas más complicadas. En este caso su aplicación será la micro perforación, donde muchos robots con instrumentos finos de taladro se controlan

simultáneamente. Esta aplicación puede tener un gran potencial en sectores como la electrónica, en placas con micro-tecnología.

Otra posible aplicación como se muestra en la siguiente figura, es el taladrado para la realización de moldes. El componente que se muestra en la imagen es una fracción de un molde para neumáticos. El proceso robotizado perfora más de 200 puntos de 5mm de diámetro en el molde de 100 mm de profundidad. En el pasado, los taladros profundos se realizaban de forma manual dando lugar a agujeros no alineados y con alguna rotura. Mediante el uso de la robótica y el control de las herramientas de mecanizado, se ha mejorado enormemente la duración de las piezas y la precisión en la posición de los taladros.

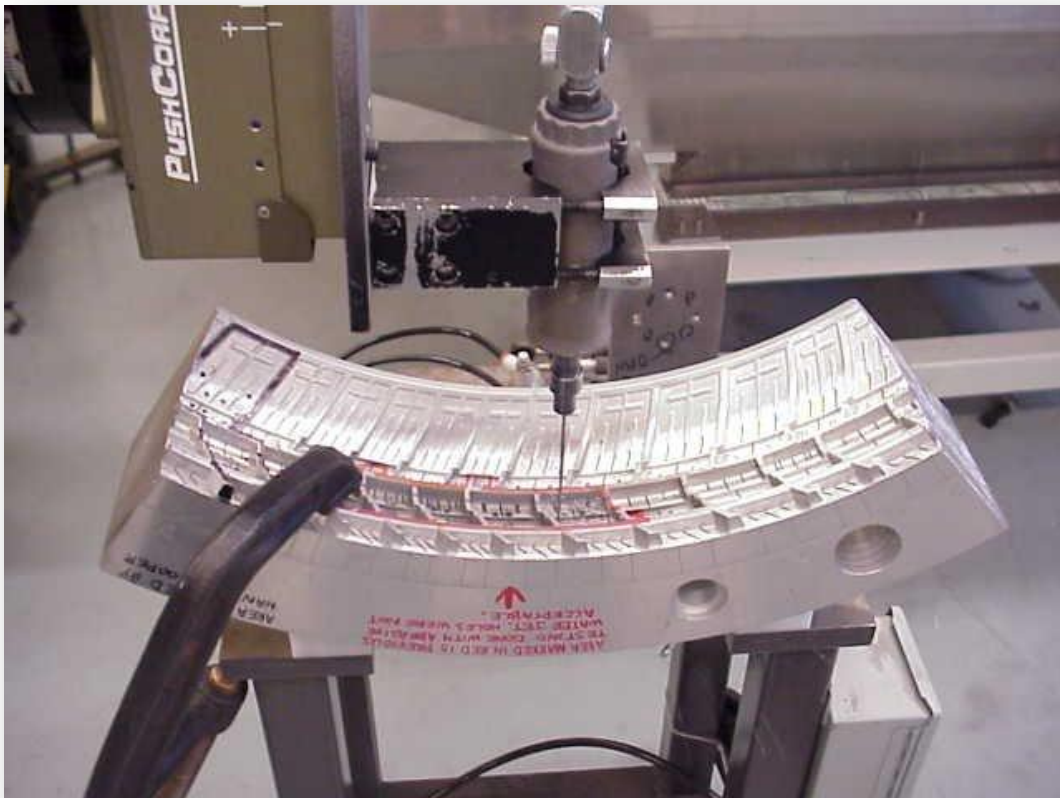


Figura II.29: Taladrado de un molde de neumáticos

- **Acabado:**

Operaciones para la finalización de piezas, como son el abrillantado, el lijado, o el pulido son muy comunes en la mayoría de los procesos de fabricación. Cubre un gran rango de aplicaciones que puede llegar a ser de superficies duras, con métodos abrasivos, tales como son los que se utilizan para suavizar el acero. También para elementos que necesitan una gran precisión y cuidado para la eliminación de material, como por ejemplo en joyas. Los principales beneficios son:

- *Precisión:* El robot muele, alisa, y lima piezas de metal con precisión.
- *Calidad:* Estos sistemas pueden eliminar material con la misma calidad cada vez que se utilice.
- *Fiabilidad:* Gran productividad con mayor rendimiento.
- *Ahorro:* Dada su rentabilidad suelen ahorrar costos.



Figura II.30: Lijado del guardabarros de una moto

Estos sistemas para lograr un gran acabado se emplean también en los brazos para la suspensión de las Harley-Davidson, ya que es un proceso bastante complicado debido a las superficies con contornos mezclados. Con un sistema manual se terminan 7 al día mientras que con un sistema robotizado para el pulido se completan 7 piezas por hora, lo que significa un aumento significativo en el rendimiento.



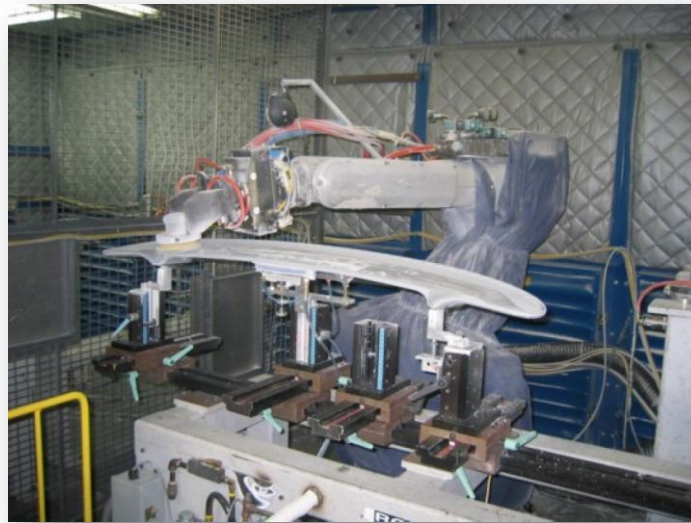


Figura II.31: Pulido de un alerón para automóvil

Los alerones para automóvil se terminan con un gran volumen de trabajo en una célula robotizada. Este moldeado de plástico tiene que trabajar palpando alrededor de los bordes y deben ser suavizados para los procesos de impresión y pintura finales. Estos sistemas necesitan un sistema de control para la presión muy preciso.

Un proceso similar se utiliza para la finalización de los chasis de los automóviles, ya que hoy en día estos cuerpos metálicos siguen diferentes trazas redondeadas en la superficie, por lo que es difícil precisar una trayectoria fija sin sistemas de control lo bastante precisos.



Figura II.32: Lijado de la parte trasera del chasis de un coche



# III. DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA ROBOTIZADA



### **3.1 Descripción general de la célula de fabricación flexible robotizada.**

En este apartado se va a realizar una descripción general del concepto de célula de fabricación flexible robotizada para obtener una primera idea sobre este sistema de fabricación [7].

Tradicionalmente los sistemas clásicos de fabricación tienen altos rendimientos para grandes series, pero productividades muy bajas y elevados costes para los lotes pequeños. Por tanto es necesario replantear los métodos y tecnologías de fabricación, definiendo un nuevo sistema que convine un alto nivel de productividad, una amplia variabilidad en la fabricación y permita reducir los costes. La respuesta tecnológica a esta necesidad la constituyen los sistemas de fabricación flexible.

Este tipo de fabricación consiste en un sistema que mediante determinados procesos bajo control automático y la intervención de robots industriales, transforma unos productos de partida en una amplia variedad de productos finales dentro de una gama determinada. Su característica más importante es la flexibilidad, es decir, la sencillez con la que se puede variar su volumen de producción, la simplificación que permite en el control de stocks, y la facilidad con la que se puede corregir posibles fallos o incluso modificar el producto.

El funcionamiento de la célula se logra mediante el empleo de tecnologías propias de este tipo de sistema de fabricación, como son: la sensórica, la informática, la programación, los autómatas programables, las comunicaciones industriales, la neumática, la hidráulica, la robótica, las interfaces de comunicación con PLCs, el software de control de procesos, la visión artificial etc...

Dentro de una planta de fabricación flexible se pueden encontrar:

- a) Unos equipos de producción automáticos con cambio automático de piezas y herramientas que les permite trabajar autónomamente, sin necesidad de operarios a pie de máquina.
- b) Un sistema de mantenimiento y transporte automáticos, tanto para piezas como para herramientas, tanto entre máquinas como entre éstas y los almacenes.

- c) Una entrada al azar de distintas piezas dentro de una gama más o menos amplia predeterminada, con sistemas de identificación de las mismas y, en correspondencia, una selección de los procesos de fabricación adecuados.
- d) Un sistema de monitorización y control informatizado para la coordinación de todo el proceso.
- e) Un sistema de gestión de materiales, máquinas, herramientas, dentro de la filosofía actual del “just in time”.

Algunos de los beneficios obtenidos mediante el empleo de este sistema de fabricación son los siguientes:

- Disminuir los tiempos muertos.
- Reducir considerablemente los tiempos de preparación de máquina.
- Permitir turnos de funcionamiento automático.
- Aumentar la calidad, a la vez que reducir el número de productos defectuosos.
- Eliminar los stocks de piezas intermedias.
- Reducir los stocks de materias primas y de productos terminados.
- Disminuir las superficies ocupadas por instalaciones y almacenamientos.
- Obtener información del desarrollo del proceso en tiempo real.
- Sustituir los operarios en las tareas rutinarias y peligrosas.

### 3.2 Descripción de las áreas de la célula.

La célula de fabricación flexible robotizada diseñada en este Proyecto, está dividida en tres áreas distintas que trabajan conjuntamente y que contienen los sistemas necesarios para llevar a cabo los procesos requeridos de mecanizado y ensamblado, mediante los cuales se elaboran los productos deseados del sector de la construcción. En la siguiente figura, podemos ver el esquema de la célula, donde se pueden apreciar claramente las tres áreas en las que está dividida, así como el camino que sigue el material desde que entra hasta que sale:

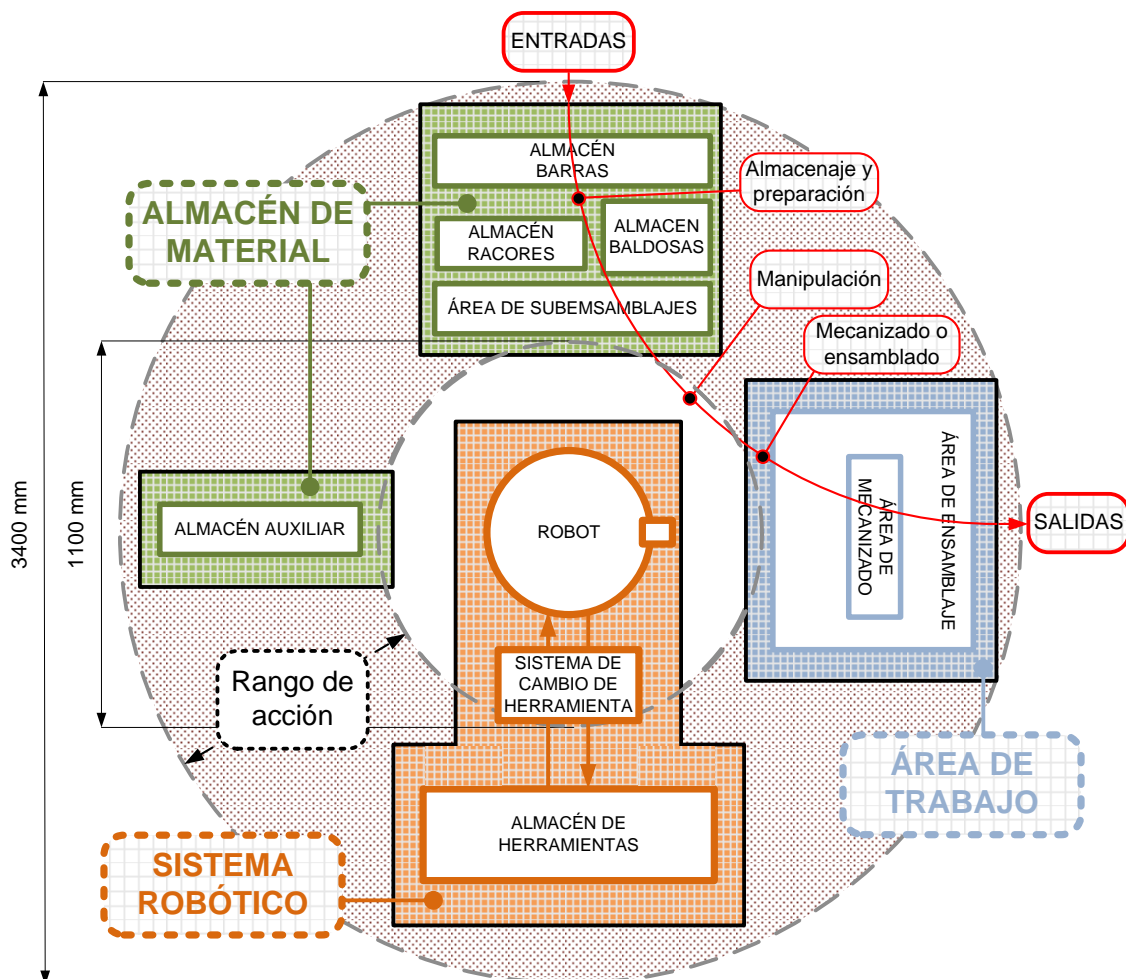


Figura III.1: Layout de la célula

En los próximos apartados se realiza la descripción de cada área vista en el layout de la célula en la Figura III.1. Se comienza describiendo el área del sistema robótico, ya que es el más importante, y posteriormente se describen el área de almacén de material y el área de trabajo.

### **3.2.1 Área del sistema robótico.**

La célula de fabricación flexible robotizada tiene un robot industrial en el centro de su estructura mecánica, encargado tanto de manipular el material como de mecanizarlo y ensamblarlo. El espacio ocupado por el resto de las áreas está limitado por su rango de acción como se puede apreciar en la Figura III.1 .

Los procesos realizados en la célula se llevan a cabo mediante el empleo de distintas herramientas de trabajo controladas y manejadas por el robot, tales como herramientas de transporte de material, de ensamblado, de mecanizado etc.

Para que el robot pueda trabajar con distintas herramientas, se ha implementado un sistema de cambio automático de herramienta, con lo que se consigue una mayor flexibilidad en lo que a diversidad de trabajos a realizar se refiere.

Dichas herramientas deben ser almacenadas en un almacén de herramientas mientras no estén siendo utilizadas por el robot. Este almacén está situado dentro del rango de acción a una distancia próxima al robot, como se puede ver en la Figura III.1, para que éste pueda realizar los procesos de cambio de herramienta en el menor tiempo posible, mejorando el funcionamiento general de la célula.

Al conjunto brazo robot, herramientas, sistema de cambio de herramienta y sistema de almacenaje se le ha llamado sistema robótico y constituye el área principal de la célula.

### **3.2.2 Área de almacén de material.**

Como se puede apreciar en el camino que recorre el material en la Figura III.1, esta área es la entrada de material a la célula de fabricación flexible robotizada donde se realizan dos funciones diferentes: la de almacenaje y la de preparación.

El almacenaje se realiza por sectores, dividiendo todo el material empleado en la célula, en almacenes más pequeños donde se agrupan elementos de características semejantes. Por un lado, se almacenan las barras y racores que componen el módulo de aguas que se quiere ensamblar y por otro las baldosas que se quieren mecanizar. Además, existe un almacén auxiliar para productos intermedios del proceso de ensamblaje. Todos estos almacenes contienen los sistemas necesarios para un correcto posicionamiento del material dentro de esta área.

Por otro lado, la preparación del material consiste en realizar diversos subensamblajes para mejorar la productividad del proceso de fabricación del módulo de aguas ahorrando tiempo en el transporte de material al área de trabajo. Este trabajo se lleva a cabo mediante distintos sistemas de guiado y sujeción para un correcto ensamblaje de los elementos involucrados.

El área de almacén de material está situada dentro del rango de acción del robot, como se puede ver en la Figura III.1, para que éste pueda manipular todo el material almacenado y realizar los diferentes trabajos de preparación, y ocupa el espacio suficiente para albergar todos los sistemas mencionados.

### **3.2.3 Área de trabajo.**

De nuevo, observando el camino que recorre el material en la Figura III.1, se aprecia que esta área es la salida de los productos terminados de la célula de fabricación flexible robotizada, los cuales se llevan a cabo mediante dos trabajos distintos: el proceso de ensamblado del módulo de aguas y el proceso de mecanizado de baldosas, realizados ambos en sus correspondientes áreas.

Para el proceso de ensamblado del módulo de aguas, esta área cuenta con los sistemas de guiado y sujeción necesarios para lograr el correcto ensamblaje de los materiales, al igual que el área de almacén para realizar los subensamblajes.

Por otro lado, para realizar el proceso de mecanizado de baldosas, esta área cuenta con los sistemas de sujeción necesarios para el agarre del material que se quiere trabajar para lograr un correcto mecanizado.

Las dimensiones de esta área son necesarias para albergar todos los sistemas mediante los cuales se logra el correcto funcionamiento de los procesos realizados, y está situada dentro del rango de acción del robot como se puede apreciar en la Figura III.1, de manera que el robot pueda trabajar en ella con gran libertad de movimiento.



# **IV. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS PRINCIPALES DE LA CÉLULA ROBOTIZADA**

## 4.1 Robot IRB2400-16 de ABB.

### 4.1.1 Introducción.

El IRB 2400 es un robot industrial de 6 ejes diseñado específicamente para industrias de fabricación que utilizan una automatización flexible basada en robots. El robot tiene una estructura abierta especialmente adaptada para un uso flexible y presenta unas grandes posibilidades de comunicación con sistemas externos. En la siguiente figura se pueden ver tanto el robot como su controlador IRC5 [8]:



Figura IV.1: Robot IRB2400-16 y su controlador IRC5.

El robot está equipado con el software de control de robots RobotWare. RobotWare y BaseWare OS controlan todos los aspectos del sistema de robot, como el control de los movimientos, el desarrollo y la ejecución de programas de aplicación, la comunicación, etc.

El IRB 2400 ofrece mayores volúmenes de producción y menores tiempos de entrega para los productos que fabrica el cliente, gracias a las características que se muestran a continuación:



- **Fiabile:** IRB 2400 es el robot industrial más popular del mundo. La robusta fabricación y el uso de un número mínimo de componentes contribuye a su alta fiabilidad y a los largos periodos entre operaciones de mantenimiento.
- **Rápido:** Gracias al control de movimiento, exclusivo de ABB, optimiza la aceleración y la deceleración, lo que se traduce en la menor duración posible de los ciclos.
- **Preciso:** El mejor en su clase por lo que se refiere a la precisión del recorrido y la repetitividad de la posición (RP = 0,06 mm), con lo que se logra una calidad uniforme de las piezas producidas.
- **Resistente:** La capacidad de carga es de 20 kg, y su radio de acción máximo es de 1,810 m.
- **Robusto:** Con clasificación IP 67, lavable a vapor y con la opción “Foundry Plus”. para fabricación en ambientes exigentes.
- **Versátil:** Todos los modelos se ofrecen con posibilidad de montaje invertido, para lograr una integración y fabricación aun más flexibles.

El IRB 2400, proporciona unas prestaciones excelentes para la manipulación de materiales, la asistencia a la mecanización y las aplicaciones de procesos. Sus principales campos de aplicación son: soldadura por arco, montaje, limpieza de piezas fundidas, corte/desbarbado, inyección de metales a presión en molde, pegado/sellado, rectificado/pulido, asistencia para mecanización, manipulación de materiales, embalaje...

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

En la siguiente figura podemos ver las vistas lateral posterior y superior del manipulador (dimensiones en mm):

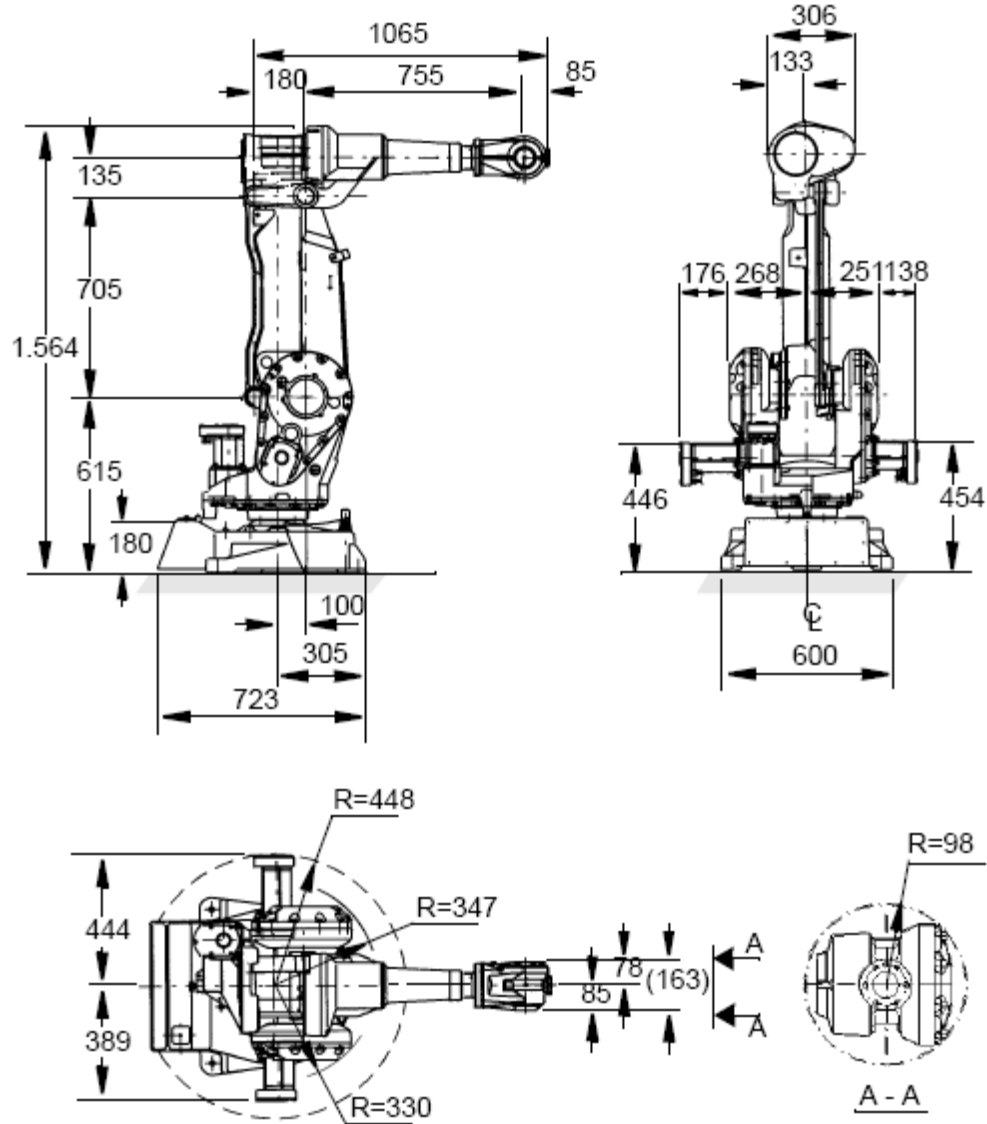
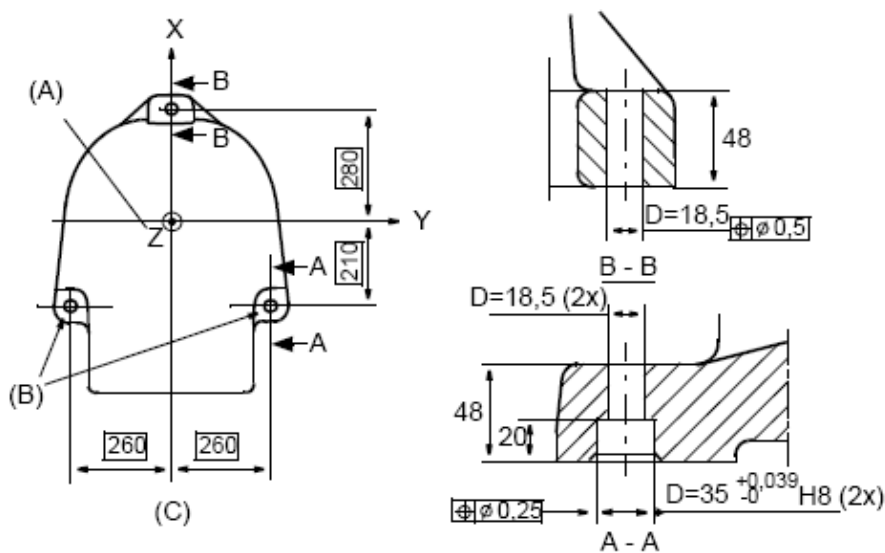


Figura IV.2: Dimensiones del robot.

### 4.1.2 Instalación.

El robot puede montarse sobre el suelo o en posición invertida. Para el anclaje del robot, en cualquiera de las dos posiciones, la base cuenta con los elementos de fijación mostrados en la siguiente figura:



- (A) Z = Línea central del eje 1.
- (B) Dimensiones iguales.
- (C) Vista desde la parte inferior de la base.

**Figura IV.3: Elementos de fijación del robot.**

Es posible fijar a la brida de montaje (eje 6) un elemento terminal con un peso máximo de 16 kg, incluida su carga útil. Consulte el apartado 4.1.3 Diagrama de carga para más información sobre la carga admitida por el robot. Además, es posible montar otros equipos en el brazo superior con un peso máximo de 12 kg, o en la base con un peso máximo de 35 kg. En cuanto a los orificios para el montaje de equipo adicional, consulte el apartado montaje de equipos.

El área de trabajo de los ejes 1 y 2 puede limitarse mediante topes mecánicos, y la del eje 3 mediante interruptores de límite. Es posible instalar interruptores de posición en el eje 1 para indicar la posición del manipulador.

### 4.1.3 Diagrama de carga.

Es muy importante definir siempre los datos de carga reales y la carga útil correcta del robot. Una definición incorrecta de los datos de carga puede dar lugar a la sobrecarga del robot, dañando los motores, las cajas reductoras y la estructura mecánica.

A continuación se muestra el diagrama de carga, que representa el máximo peso permitido para el montaje de una carga en la brida de montaje con distintas posiciones del centro de gravedad, donde el eje Z corresponde a la distancia a lo largo del eje perpendicular a la brida del robot desde dicha brida hasta el centro de gravedad, y el eje L corresponde a la distancia en el plano X-Y desde el eje Z hasta el centro de gravedad.

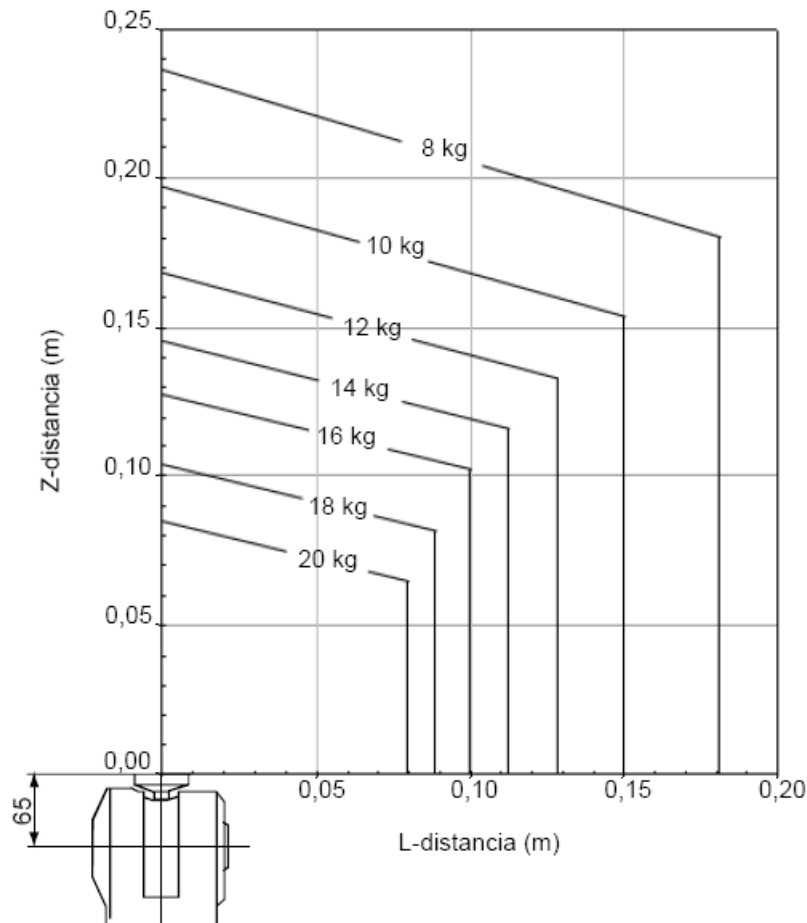


Figura IV.4: Diagrama de carga del robot.

#### 4.1.4 Montaje de equipos.

- **Montaje de equipos adicionales:**

El robot cuenta con orificios roscados en el brazo superior y en la base, para el montaje de equipos adicionales. En la siguiente figura, se muestran dichos orificios, así como el peso máximo y las posiciones permitidas del centro de gravedad para cualquier equipo adicional montado en los orificios (dimensiones en mm).

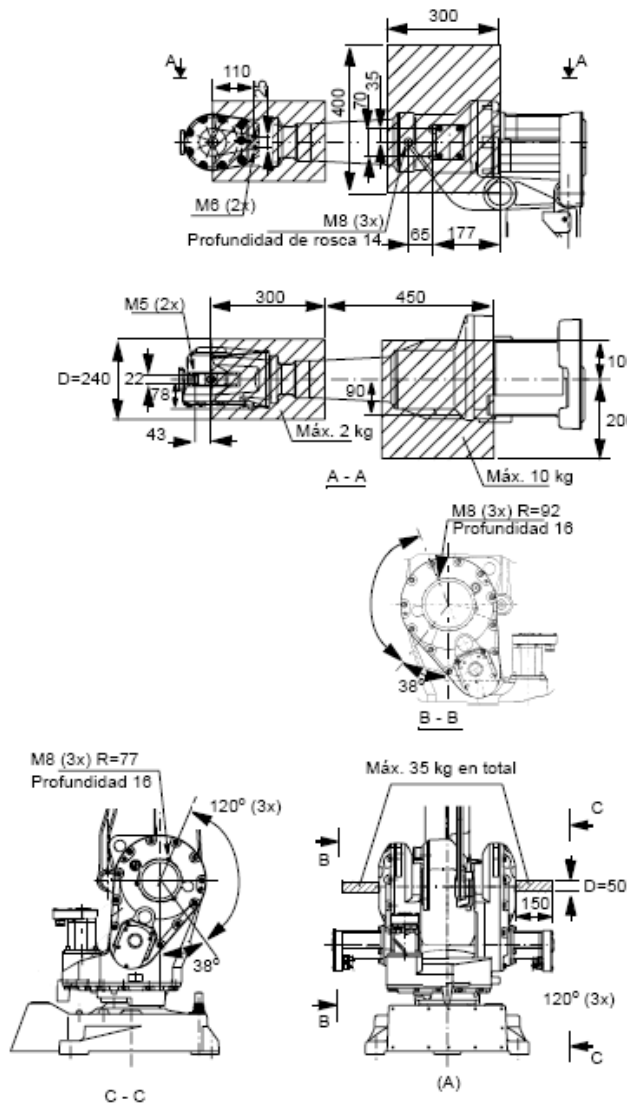


Figura IV.5: Montaje de equipos adicionales en el robot.

- **Montaje de herramientas:**

La muñeca es el elemento terminal del robot donde se debe acoplar la herramienta con la que se quiere que trabaje dicho robot. En la siguiente figura se muestra el sistema de fijación de la muñeca:

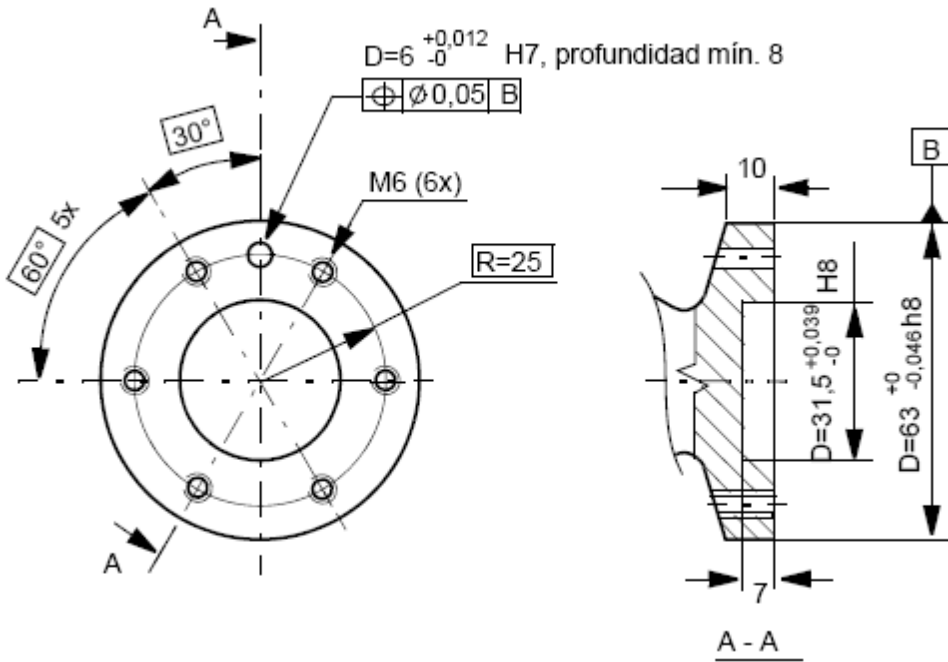
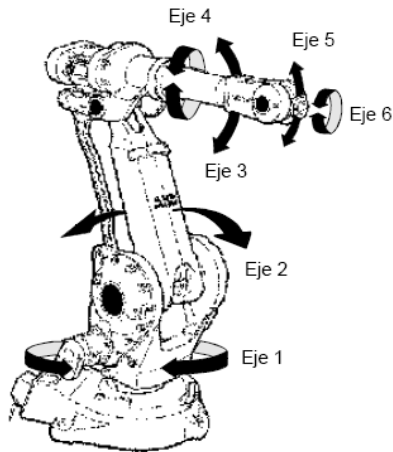


Figura IV.6: Sistema de fijación de la muñeca del robot.

Se observa que la muñeca tiene seis orificios roscados para la fijación de la herramienta, y dos registros de posicionamiento consistentes en una circunferencia interior de 31.5 mm de diámetro, y una fija de 6 mm de diámetro. Dichas especificaciones habrá que tenerlas en cuenta a la hora de diseñar la brida que acople la herramienta al robot.

#### 4.1.5 Movimientos y alcance del robot.

El área de trabajo es la misma tanto en una instalación sobre el suelo como en posición invertida. En la siguiente figura se observan los seis ejes del manipulador y en el cuadro se muestra tanto el rango de giro como la velocidad de cada eje:

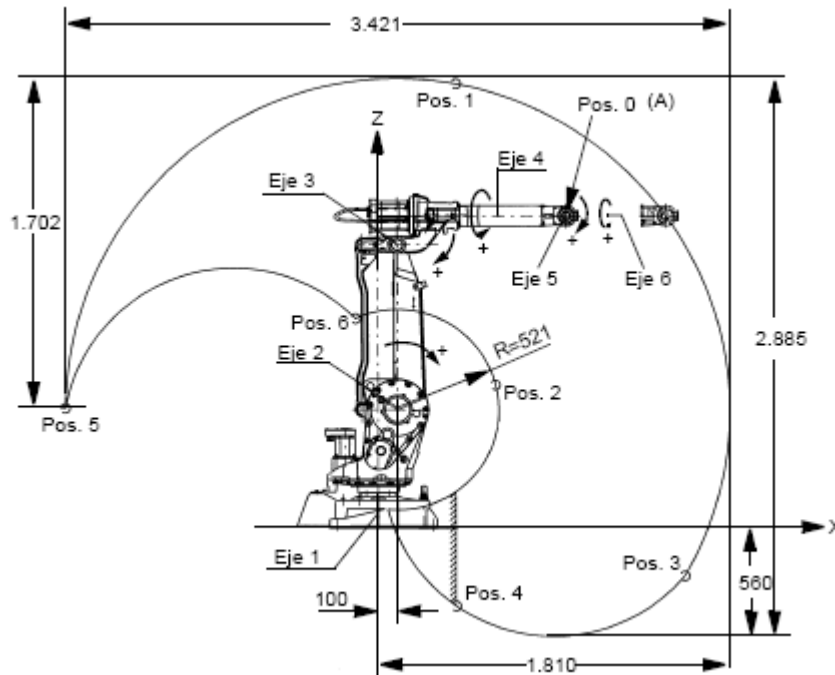


**Tabla IV.1: Movimientos del robot.**

Eje	Rango de movimiento	Máxima velocidad de giro
1	De +180° a -180°	150°/s
2	De +110° a -100°	150°/s
3	De +65° a -60°	150°/s
4	De +200° a -200° *	360°/s
5	De +120° a -120°	360°/s
6	De +400° a -400° *	450°/s

**Figura IV.7: Ejes del robot.**

Estos rangos de giro para cada eje definen un rango de trabajo representada en la siguiente figura:



**Figura IV.8: Rango de trabajo del robot.**

#### **4.1.6 Mantenimiento.**

El robot requiere únicamente un mantenimiento mínimo durante su funcionamiento. Se ha diseñado para permitir el servicio técnico más sencillo posible:

- Se utilizan motores de CA sin mantenimiento.
- Se usa aceite como lubricante de las cajas reductoras.
- El encaminamiento de los cables se ha optimizado para conseguir la máxima longevidad. Además, en el caso poco probable de una avería, su diseño modular permite sustituirlos fácilmente.

Se requieren las siguientes operaciones de mantenimiento:

- Una vez al año, cambiar el filtro de la refrigeración de la unidad de accionamiento.
- Cada tres años, sustituir las baterías.
- Cambiar el aceite de la muñeca después del primer año y cada cinco años a partir de entonces.

Los intervalos de mantenimiento dependen del uso del robot. Para obtener información detallada sobre los procedimientos de mantenimiento, consulte la sección Mantenimiento del Manual del producto.



#### 4.1.7 Controlador IRC5.

- **Introducción.**

El controlador IRC5 es un controlador de robot de ABB de quinta generación, el cual contiene los elementos electrónicos necesarios para controlar el manipulador, los ejes adicionales y los equipos periféricos. Consiste en un único armario de medidas 970 x 725 x 710 mm y 150 kg de peso, que contiene los siguientes módulos:

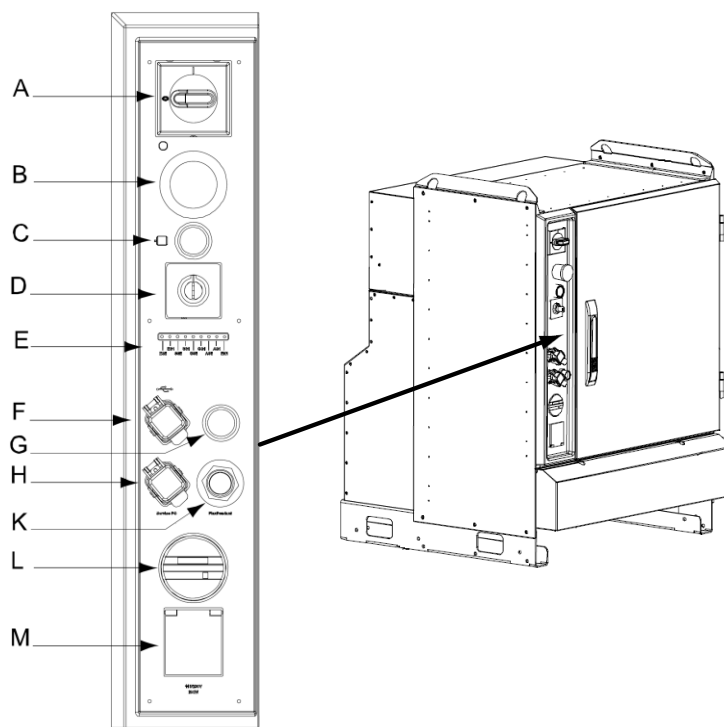
- **Módulo de accionamiento**, que contiene el sistema de accionamiento que proporciona la energía necesaria a los motores.

- **Módulo de control**, que contiene el ordenador, el panel de control, el interruptor de alimentación, las interfaces de comunicación, una tarjeta de entradas y salidas digitales, la conexión para FlexPendant, los puertos de servicio y cierto espacio libre para equipos del usuario. El ordenador cuenta con 4 ranuras PCI para tarjetas de expansión. El controlador también contiene el software de sistema, es decir RobotWareOS, que incluye todas las funciones básicas de manejo y programación (Rapid).

Además, el IRC5, cuenta con una unidad de interfaz portátil de diseño ergonómico con pantalla táctil que facilita la comunicación hombre-máquina. Se trata del FlexPendant, el cual se detallará más adelante.

- **Panel de control.**

El panel de control, mostrado en la figura siguiente, es el elemento donde se localizan tanto los mandos de control del IRC5 accesibles por el usuario, como elementos auxiliares de comunicación temporización, etc...



**Figura IV.9: Panel de control del IRC5.**

En la siguiente tabla se muestra una lista de los elementos señalados en la figura anterior:

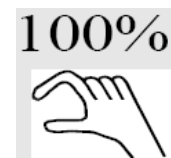
**Tabla IV.2: Panel de control del IRC5.**

Elemento	Descripción
A	Interruptor principal de control de la alimentación de los módulos de accionamiento
B	Paro de emergencia. Si está introducido, tire para liberarlo.
C	MOTORES ON
D	Selector de modo de funcionamiento
E	LEDs de la cadena de seguridad (opción)
F	Conexión USB
G	Pulsador de hot plug de FlexPendant (opción)
H	Conexión de PC de servicio
K	Conexión de FlexPendant
L	Contador de tiempo de funcionamiento (opción)
M	Toma de servicio 115/230 V, 200 W (opción)

**Motores ON:** es una luz que nos indica el estado de los motores. Si está encendida permanentemente, quiere decir que está listo para la ejecución de programas. Si parpadea quiere decir que se ha activado uno de los paros de protección, el robot no está calibrado o los cuentarrevoluciones no están actualizados.

**Modo de funcionamiento:** mediante un interruptor con llave, es posible poner el robot en tres modos de funcionamiento distintos:

- Modo manual a velocidad reducida: Programación y configuración. Velocidad máxima 250mm/s. Este modo de funcionamiento se emplea cuando se está programando el robot, creando puntos y trayectorias, para lo cual puede ser necesaria la presencia del operario cerca del robot.
- Modo manual a máxima velocidad: comprobación a velocidad máxima del programa. Una vez verificado el correcto funcionamiento del programa, se debe realizar una última prueba a la velocidad real del programa
- Modo automático: Producción en funcionamiento. Una vez superada la prueba del modo manual a máxima velocidad, el robot está preparado para funcionar autónomamente en el modo automático.



**Conexión de PC de servicio:** mediante este conector Ethernet conectaremos el IRC5 a un PC mediante la herramienta Robotstudio Online como veremos mas adelante.

**Conexión USB:** mediante este conector podremos cargar programas en el controlador mediante una memoria extraíble.

- **FlexPendant:**

El FlexPendant es el elemento encargado de comunicar al hombre con la máquina y viceversa. Consiste en un mando, como el mostrado en la siguiente imagen, con una pantalla táctil y distintos botones con los que poder programar, configurar, e incluso monitorizar el estado del robot.



Figura IV.10: FlexPendant.

En la siguiente tabla se muestra una lista de los elementos señalados en la figura anterior:

Tabla IV.3: FlexPendant.

Elemento	Descripción
A	Pantalla táctil
B	Teclas definidas por el usuario
C	Pulsador de paro de emergencia
D	Joystick
E	Teclas de ejecución de programas
F	Dispositivo de habilitación

**(A) Pantalla táctil:**

Pantalla táctil en color de 7,5 pulgadas que muestra textos e información gráfica. Es posible tener abiertas varias ventanas a la vez. En muchas vistas es posible ampliar y reducir la imagen. Muchas propiedades de la pantalla pueden ser configuradas por el usuario para conseguir un aspecto y una funcionalidad personalizados. Es posible invertir la pantalla y las direcciones del joystick para hacer que sea adecuado para usuarios zurdos.

**(B) Teclas definidas por el usuario:**

Cuatro teclas definidas por el usuario que pueden configurarse para activar o restablecer una salida (por ejemplo para abrir o cerrar una pinza).

**(C) Pulsador de paro de emergencia:**

Cuando se presiona este botón, el robot se detiene inmediatamente.

**(D) Joystick:**

El joystick tridimensional se utiliza para mover el robot manualmente, por ejemplo durante los trabajos de programación. El usuario puede determinar la velocidad de este movimiento. Una inclinación pronunciada del joystick hace que el robot se mueva rápidamente. Una inclinación más leve hará que se mueva más lentamente.

**(E) Teclas de ejecución de programas:**

Teclas para iniciar y detener programas y ejecutarlos paso a paso hacia delante o hacia atrás.

**(F) Dispositivo de habilitación:**

Durante el modo manual, un pulsador que, si está presionado hasta la mitad de su recorrido, pone el sistema en el modo MOTORES ON. Cuando se libera el dispositivo de habilitación o si es pulsado totalmente, el robot pasará al estado MOTORES OFF.

#### 4.1.8 Robotstudio.

Robotstudio es la herramienta software para la simulación y programación fuera de línea que la empresa ABB desarrolla para sus robots industriales [9]. Forma parte de una familia de productos de software que la empresa ofrece a sus clientes para mejorar su productividad y reducir costes, y que sirven de apoyo a la gestión del ciclo de vida de sus soluciones robóticas.

El controlador IRC5 trabaja con las últimas versiones de este producto. En la siguiente imagen se muestra la versión Robotstudio 5.11, la cual ofrece ventajas sobre todo de interfaz con respecto a sus predecesoras.

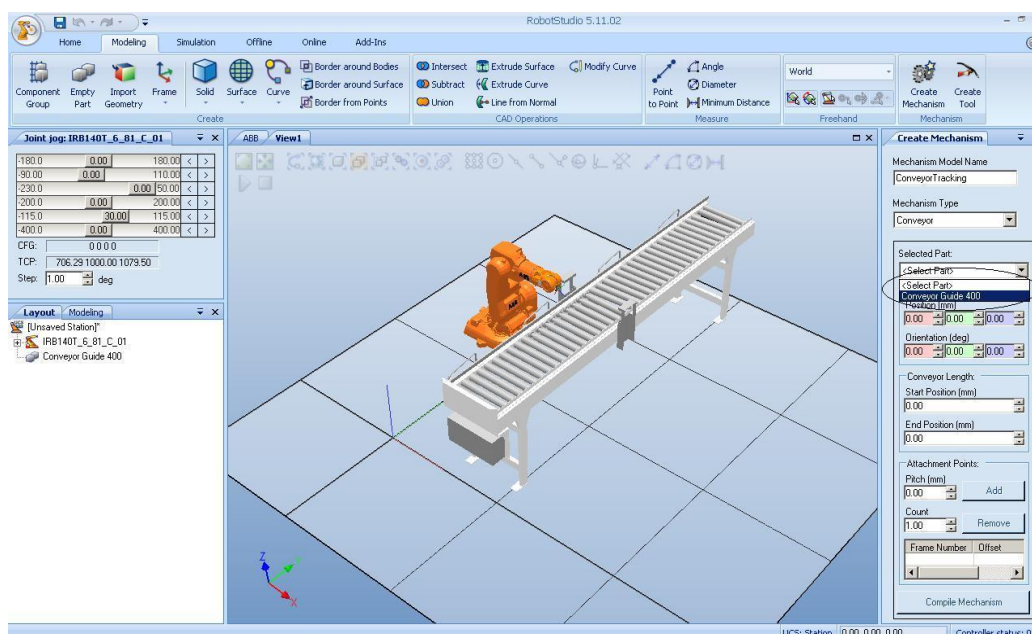


Figura IV.11: Robotstudio 5.11.

Con esta herramienta, ABB ofrece las ventajas generales de la programación fuera de línea, entre las que se pueden destacar el permitir programar los robots en PCs sin parar la producción o la posibilidad de preparar los programas con antelación, para mejorar la productividad. RobotStudio pues, incorpora herramientas que repercuten en la mejora de la rentabilidad de los sistemas, permitiendo llevar a cabo planes de formación, programación y optimización de sistemas sin parar los robots.

Esto añade muchas ventajas, incluyendo:

- Reducción de riesgos.
- Arranques más rápidos.
- Modificaciones de menor duración.
- Aumento de la productividad.

Al instalar RobotStudio en un ordenador, se instala también el controlador virtual (VC) que es una copia exacta del software real que usan los robots en la producción. Así se llevarán a cabo simulaciones muy realistas y se facilita el proceso de carga y descarga de programas del robot al PC y viceversa.

Algunas características del programa se exponen a continuación:

- **Importar CAD:** Permite importar una amplia variedad de archivos CAD (IGES, STEP, VRML, VDAFS, ACIS, CATIA). Al trabajar con datos muy exactos, se generan programas más precisos, dando una mayor calidad a los productos.
- **AutoPath™:** Esta es una de las características que permiten ahorrar más tiempo en RobotStudio. Mediante el uso de un modelo CAD de la pieza a procesar, es posible generar automáticamente las posiciones del robot necesarias para seguir la curva en pocos minutos, una tarea que de otro modo tardaría horas o días.
- **Editor de Programas:** RobotStudio incorpora el software, que permite realizar y modificar fuera de línea programas RAPID de manera rápida y sencilla (en entorno Windows), repercutiendo en ahorros de tiempo de diseño.
- **Monitor de simulación:** es una herramienta visual para optimizar el movimiento del robot. Líneas rojas indican qué objetivos se puede mejorar para que el robot se mueven en la forma más eficaz. Es posible optimizar la velocidad y aceleración del TCP, entre otros, para ganar tiempo de ciclo.
- **Autoreach™:** Permite comprobar si los puntos incluidos en el sistema son alcanzables o no con la configuración actual.
- **Teach Pendant virtual:** El programa dispone de una representación gráfica, que permite realizar todas aquellas operaciones que se pueden realizar con el real.
- **Tabla de eventos:** Utilidad para gestionar eventos como colisiones, simulación de señales I/O, mover/ocultar objetos...

- **Detección de colisiones:** El programa permite detectar colisiones de los diferentes objetos seleccionados haciendo un seguimiento de los mismos durante la ejecución de un programa.
- **VBA, Visual Basic para Aplicaciones:** RobotStudio permite usar VBA, que es una herramienta muy común y potente en aplicaciones informáticas.
- **Carga y descarga:** Todo el programa RAPID puede ser transferido del robot al software de simulación y viceversa sin necesidad de ninguna interfaz o traductor. Es una cualidad única, sólo suministrada por ABB gracias a su tecnología VirtualRobot Technology. Programar fuera de línea con dicha tecnología es como tener el robot real en el PC.



**Figura IV.12: VirtualRobot Technology.**

Además, Robotstudio cuenta con una herramienta para trabajar en línea con los robots, llamada Robotstudio Online. RobotStudio Online es una aplicación para PC que permite trabajar eficientemente con datos del IRC5. RobotStudio Online puede considerarse como el compañero ideal del FlexPendant, usándolos de forma que se complementan y cada uno está optimizado para sus tareas concretas. Al explotar todas las ventajas de esta potente combinación, es posible disfrutar de una nueva forma de trabajar con más eficiencia.

El FlexPendant tiene como fines principales el movimiento del robot con el joystick, la programación de posiciones, el manejo y el ajuste de movimientos, mientras que RobotStudio Online resulta ideal para el manejo de datos de configuración, gestión de programas, documentación en línea y acceso remoto.



RobotStudio Online actúa directamente sobre los datos activos del controlador.

La conexión al controlador puede hacerse localmente a través de la conexión para PC de servicio y, si el controlador cuenta con la opción de RobotWare PC Interface, a través de una conexión de red.

Un sistema de control maestro seguro garantiza que RobotStudio Online sólo pueda tomar el control de un robot si tal operación se autoriza desde el FlexPendant. La entrada principal a la funcionalidad de RobotStudio Online es un explorador de vistas de robot. Desde él se selecciona el robot con el que se desea trabajar, si hay varios robots instalados, y las partes del sistema que se desea utilizar. RobotStudio Online contiene:

- System Builder para crear, instalar y mantener sistemas
- Un Editor de configuraciones, para editar los parámetros de sistema del sistema que se está ejecutando.
- Un Editor de programas para programación en línea.
- Una grabadora de eventos, para grabar y monitorizar los eventos del robot.
- Herramientas para realizar copias de seguridad y restauraciones de sistemas
- Una herramienta de administración para autorización de usuarios.
- Otras herramientas para visualización y manejo de propiedades del controlador y del sistema.

## 4.2 Herramientas.

### 4.2.1 Pinza mecánica.

La pinza mecánica es la herramienta diseñada para procesos de ensamblaje y manipulación de material mediante la presión física ejercida sobre los mismos. Su elemento principal es el modelo MHQG-40D de la marca SMC [10] descrito a continuación:

- **Introducción.**

Como se señaló en el estado del arte en el Capítulo II, una función muy importante dentro de los procesos robotizados es el de ensamblaje. Para los procesos de manufactura y ensamblaje lo más común es el empleo de pinzas de agarre mecánico mediante presión neumática obtenida de un cilindro de doble efecto alojado en el interior del cuerpo. Se trata de elementos baratos, resistentes y que dependiendo del diseño de los dedos se puede adaptar a diferentes formas.

- **Descripción.**

En la siguiente figura se muestra el modelo MHQG-40D identificando las partes principales descritas a continuación:

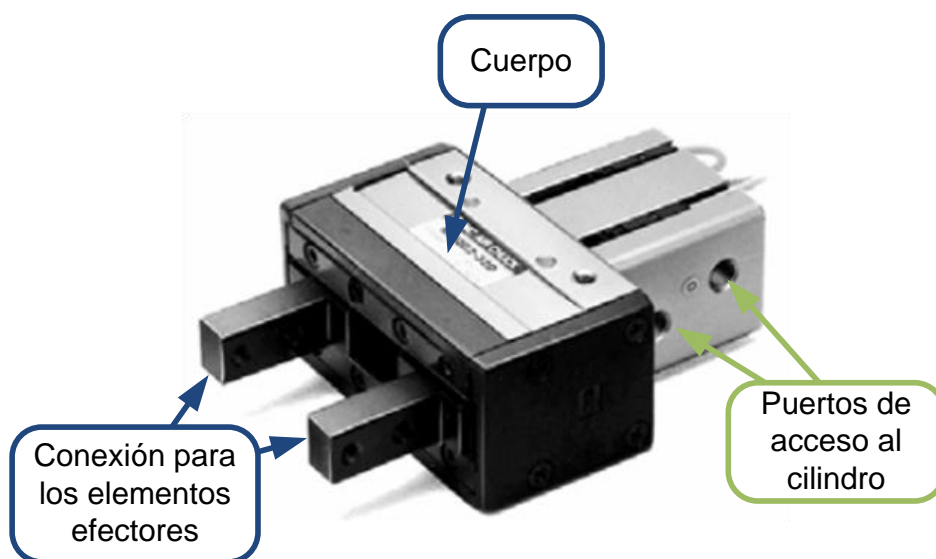


Figura IV.13: Pinza MHQG-40D

**Cuerpo:** Se trata del elemento bastidor de la pinza que da soporte a los diferentes sistemas que la componen y sirve de elemento de fijación. Como ya se ha comentado, esta pinza basa su funcionamiento en un cilindro de doble efecto alojado en su interior, al que se accede por los puertos señalados en la figura anterior, mediante los cuales accionaremos el sistema que cierra y abre los elementos efectores.

**Elementos efectores:** Son los elementos que efectúan el agarre, es decir los que efectúan la fuerza aprensiva sobre el objeto. No están estandarizados ni normalizados, el único requisito es que se puedan fijar a la parte móvil del cuerpo. Tienen una forma específicamente diseñada para cada proceso. Lo ideal es que con un mismo diseño de los dedos se cubran las exigencias de la mayor parte de los procesos, para así minimizar el tiempo de cambio de herramienta.

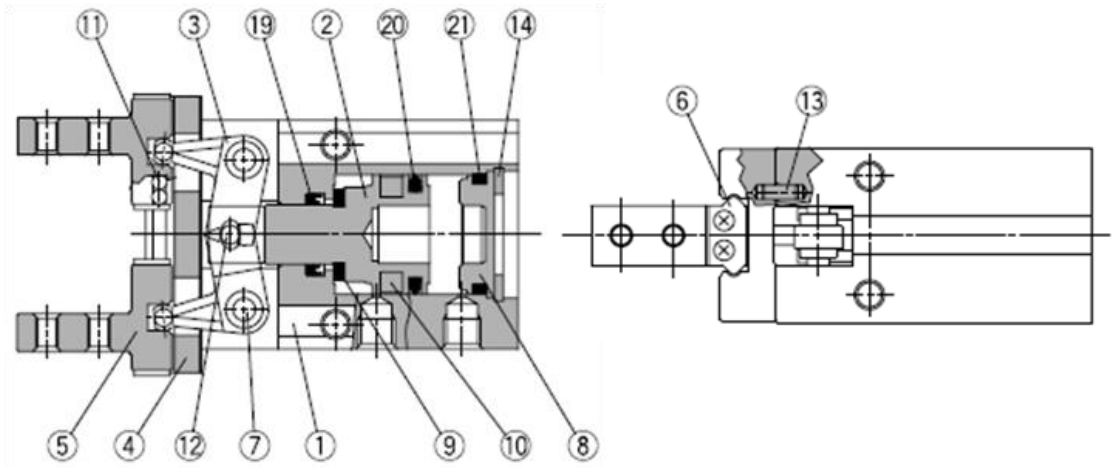
- **Características principales.**

Las características principales de la pinza MHQG-40D se han resumido en la siguiente tabla:

**Tabla IV.4: Características de la pinza MHQG-40D**

Funcionamiento	Doble efecto
Fluido de trabajo	Aire comprimido
Presión de trabajo	0.1 a 0.6 MPa
Temperatura de trabajo	-10 a 60 °C
Repetitividad	±0.02 mm
Frecuencia máxima	60 ciclos por minuto
Lubricación	no necesaria
Diámetro	40 mm
Carrera apertura/cierre	28 mm
Fuerza de presión	247 N
Peso	1940 g

A continuación se muestra un esquema de la pinza señalando los elementos más importantes del sistema neumático que hacen posible su funcionamiento:



**Figura IV.14: Mecanismo MHQG-40D**

**Tabla IV.5: Mecanismo MHQG-40D**

Lista de componentes			
Nº	Descripción	Nº	Descripción
1	Cuerpo	12	Rodillo en aguja
2	Émbolo	13	Pasador cilíndrico
3	Palanca	14	Anillo de cierre
4	Guía	15	Restricción de escape A
5	Dedo	16	Silencioso de escape A
6	Tope de rodillo	17	Muelle
7	Eje pivote	18	Muelle
8	Tapa posterior	19	Junta de vástago
9	Tope elástico	20	Junta de émbolo
10	Imán	21	Junta de estanqueidad
11	Bolas de acero		

#### 4.2.2 Garra neumática.

Una garra neumática, en la industria, es la herramienta encargada de la manipulación de piezas o materiales, utilizando el vacío para realizar el trabajo. Están formadas por bombas de vacío y ventosas. Las bombas de vacío son los elementos encargados de producir el vacío necesario para que las ventosas absorban el material.

La garra neumática diseñada en este proyecto fin de carrera consiste en un sistema basado en garras VGS™3010 FC75P de la marca PIAB [11], las cuales se detallan a continuación.

- **Introducción.**

Se trata de un diseño de producto en el que las ventosas de alta calidad DURAFLEX® se integran con cartuchos de vacío, basados en la tecnología patentada de COAX®. La garra de vacío facilita la elección, el dimensionado y la instalación de un sistema de vacío más rentable y fiable. El VGS™3010 está indicado por ejemplo, para la manipulación de cajas de cartón corrugado, chapas de metal, cristal, madera y plástico y es adecuado para superficies aceitosas ligeramente curvas y planas, por ejemplo, chapa de acero o aluminio en procesos de prensado.

- **Descripción.**

Está formada por cuatro partes: el cuerpo, la bomba de succión, la ventosa y el kit de montaje, tal y como se puede observar en la siguiente figura:

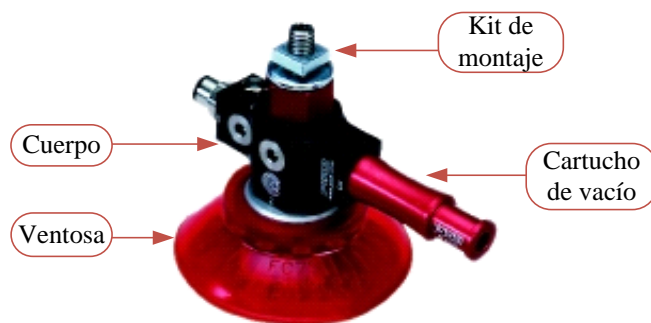
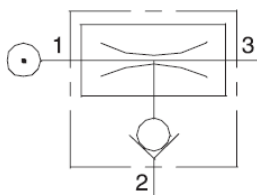


Figura IV.15: Garra VGS3010

El cuerpo, VGSTM 3010, es donde se montan todos los componentes y donde se encuentran los puertos neumáticos.

La bomba de succión consiste en un cartucho de vacío Pi12.2 con válvula anti retorno, y es el elemento encargado de generar el vacío. Dicho vacío, como se observa en la siguiente figura, es producido en el puerto (2), mediante el efecto Venturi, al suministrar aire a presión por el puerto (1).



**Figura IV.16: Bomba de succión efecto Venturi**

La ventosa es el elemento que entra en contacto con el material a manipular, y que se conecta al terminal de vacío de la bomba mediante un racor moldeado con rosca G3/8" macho. Es una ventosa plana, cóncava y con refuerzos, de 75 mm de diámetro, modelo FC75P 60° shore A. La forma ligeramente curvada y los nervios interiores proporcionan un buen agarre y el labio reforzado alargan considerablemente la vida de la ventosa. Debido a la alta fricción de la goma, las ventosas pueden soportar altas fuerzas de tensión en aceleraciones rápidas en planos horizontales, incluso en superficies aceitosas. Las ventosas DURAFLEX® están fabricadas en un material revolucionario de poliuretano que combina la suave elasticidad de la goma con la excepcional resistencia al desgaste del poliuretano. DURAFLEX® es un material que no deja marcas.

El kit de montaje es el elemento mediante el cual se fija la garra al sistema deseado. Está diseñado para fijarse a la mayoría de los perfiles extruidos comerciales. Consta de un tornillo M8 de 27 mm con montaje superior.

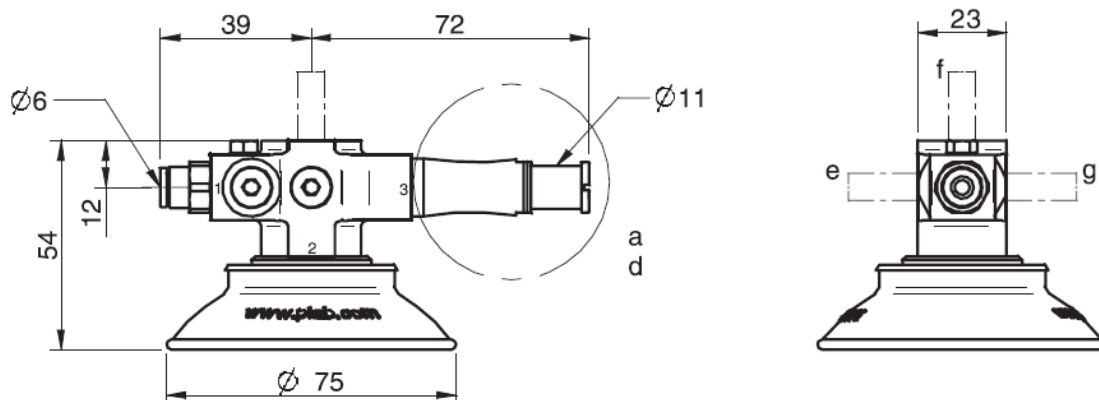
- **Características principales.**

En la siguiente tabla se muestran algunas de las características más importantes de la garra VGS3010 FC75P:

**Tabla IV.6: Características garra VGS3010.**

Descripción	Unidad	Valor
Presión de alimentación máxima	Mpa	0.7
Nivel de ruido	dBA	65-74
Temperatura de trabajo	°C	10-50
Peso	g	111-113
Material		PP, PA, NBR, AL, SS, PU

Las medidas de las garras se pueden apreciar en las dos vistas mostradas en la figura siguiente (dimensiones en mm):



**Figura IV.17: Medidas de la garra VGS3010.**

### 4.2.3 Herramienta de mecanizado.

En la actualidad se llevan a cabo muchos procesos mediante el mecanizado robotizado, teniendo todos ellos grandes resultados. Debido a las exigencias de los procesos que se desarrollan en este proyecto es necesario el uso de una herramienta de mecanizado flexible, con la que se puedan realizar diferentes trabajos. Con una herramienta de estas características se está preparado ante posibles cambios en la línea de producción. La herramienta de mecanizado diseñada en este proyecto es un elemento físico que engloba dos sistemas de PUSHCORP [12] fijados entre sí como la mostrada en la siguiente figura:

- Un **servo motor tipo brushless**, encargado de ejercer un par sobre la punta. El mecanismo elegido es el **SM3002** de **Pushcorp**. Este elemento está controlado por un controlador también suministrado por esta marca. Dicho motor es de boquilla manual, es decir, el cambio de punta se realiza mediante un operador.
- Un **sensor de fuerza**, encargado de controlar la fuerza con la que trabaja la punta, como es el **AFD71** de **Pushcorp** para una configuración vertical. Este sistema resulta imprescindible a nivel industrial para minimizar los costes de puntas de trabajo y los tiempos de cambio de herramientas.

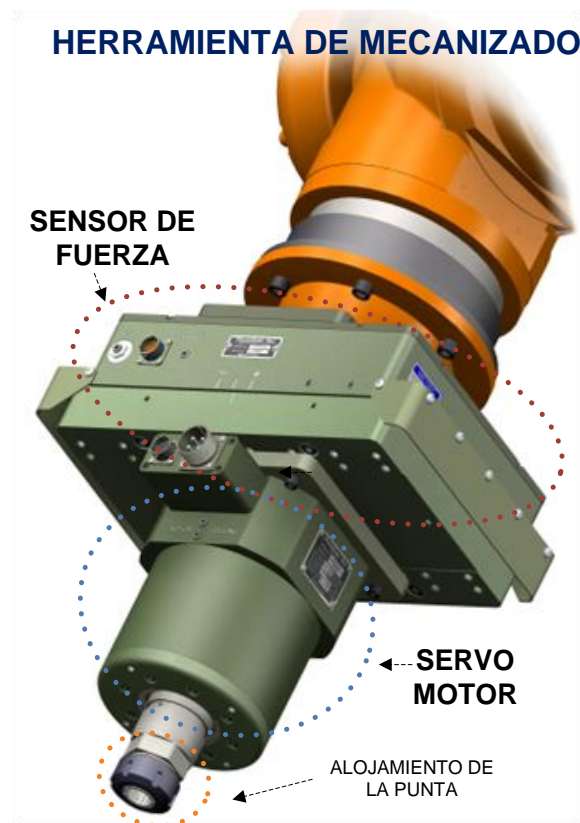


Figura IV.18: Herramienta de mecanizado



### ❖ SM3002 High Speed Servo Motor.

El SM3002 es un servo motor de gran velocidad, no en balde dispone de 2 cv de potencia (1,5 KW). Esta herramienta ha sido desarrollada como una alternativa a los motores de aire, más ineficientes y con mayores costes de mantenimiento. Esta unidad funciona hasta las 30.000 rpm de forma muy eficiente. Para ello dispone de un sistema de refrigeración por agua. Este servo motor dispone de un cuerpo muy compacto además de tener un peso muy ligero. Para el cambio de punta posee una boquilla manual tipo “ER”, que tiene la capacidad de oprimir una amplia gama de diámetros de puntas. Al ser la boquilla manual, es necesaria la intervención de un operario cuando hay que replazar la punta. Para aplicaciones donde la punta tiene una gran duración este sistema es una solución ideal. El servo motor SM3002 puede montarse fácilmente en cualquier orientación.

#### • Características.



Figura IV.19: Características SM3002

- **Funcionamiento.**

El SM3002 se trata de un motor tipo brushless, más conocido como BLDC. Como estas siglas indican es un motor de excitación mediante corriente continua. Un motor brushless es básicamente un motor síncrono trifásico que tiene un rotor con imanes permanentes. Los devanados del estator son alimentados con tensiones de manera que el imán permanente del rotor sigue los campos magnéticos creados por los devanados del estator, es decir el rotor gira “persiguiendo” los devanados excitados del estator. El SM3002 es un motor brushless trapezoidal, esto significa que la excitación de los devanados del estator se realiza mediante pulsos rectangulares de tensión. Los devanados se encuentran concentrados. El motor dispone de unos sensores Hall para saber la posición del rotor.

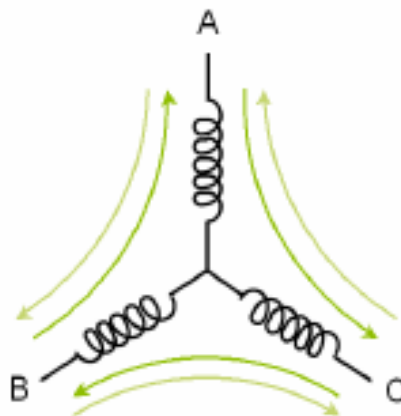


Figura IV.20 Control trapezoidal

En definitiva, sabiendo la posición del rotor mediante dichos sensores, podemos forzar la excitación de los dos devanados del estator que nos proporcionan el vector de corrientes deseado, a su vez dicho vector de corrientes induce mediante un campo magnético a que el rotor gire de la forma deseada. Esto se produce para las 6 direcciones.

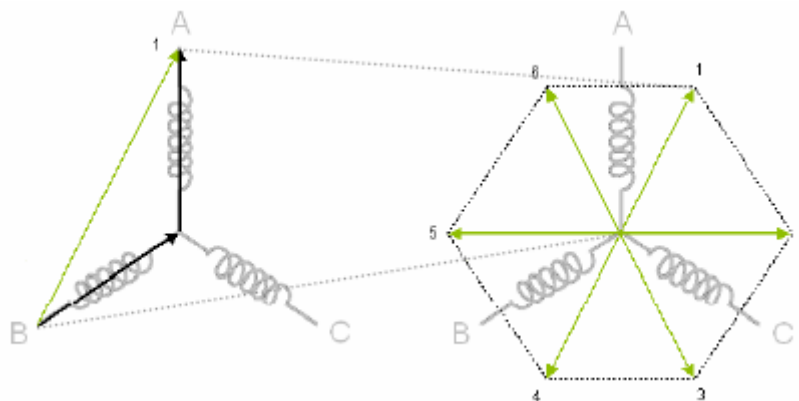


Figura IV.21: Cálculo del vector de corrientes del estator

- **Montaje.**

El SM3002 servo motor está diseñado para ser fácilmente instalado. La culata o parte trasera del motor, tiene un registro avellanado para un montaje preciso. Este avellanado tiene 25,4 mm de diámetro y 2,54 mm de profundidad. El usuario debe proporcionar un patrón de 25,4 mm en su placa o soporte para usar esta característica. También hay un orificio-registro previsto en la tapa. La figura 1 muestra las dimensiones totales del montaje, y la localización de estas características.

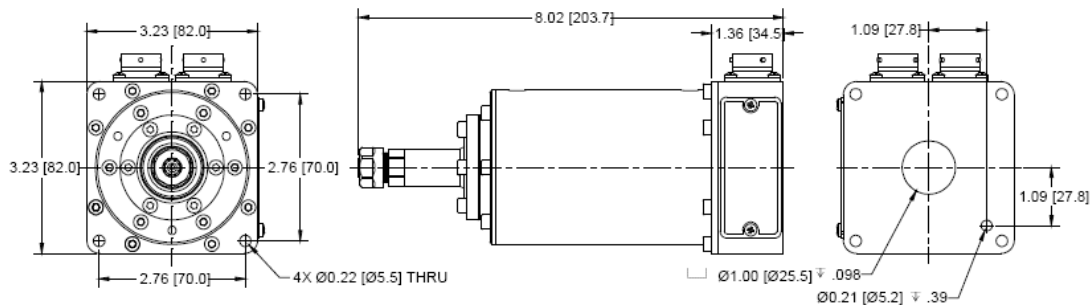


Figura IV.22: ST3002: Dimensiones del montaje

El SM3002 se puede acoplar al AFD-70 en tres posibles configuraciones; configuración paralela de los ejes, configuración de ejes cruzados (el SM3002 y el AFD-70 forman un ángulo de 90 grados) y en configuración de ejes perpendiculares (SM3002 y AFD-70 se fijan de forma perpendicular. En el caso de este proyecto se ha llevado a cabo el anclaje mediante la configuración de ejes paralelos. En la siguiente figura se muestran estas tres configuraciones:

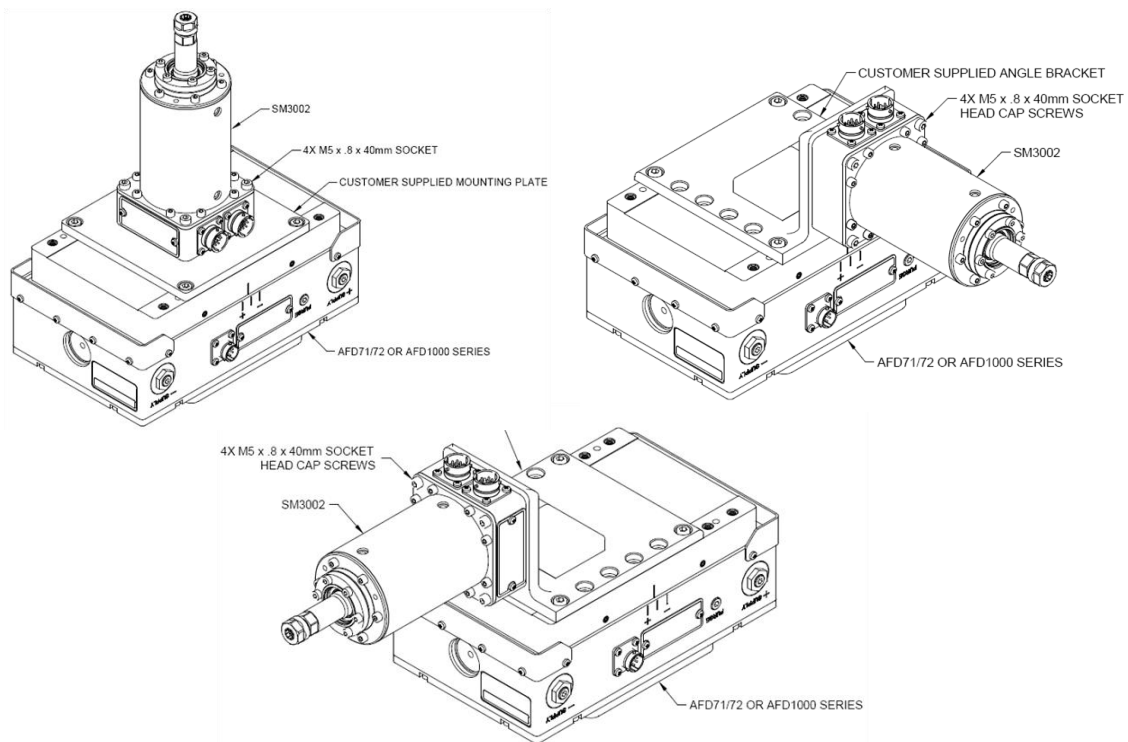


Figura IV.23: Configuración perpendicular, de ejes cruzados y de ejes paralelos.

El acoplamiento del SM3002 al AFD-71 en una configuración de ejes paralelos se produce mediante un plato-brida angulado. El plato-brida de montaje se adhiere primero a la superficie de anclaje del AFD usando un sistema de piezas fácil y rápido. Después el SM3002 se posiciona en el plato-brida de montaje y de forma segura es encajado usando 4 tornillos M5x.8x40mm de cabeza plana.

- **Conexiones eléctricas.**

El servomotor SM3002 tiene dos conectores eléctricos, la alimentación del motor (alimentación de los devanados del estator con corriente continua) y la conexión de realimentación como se muestra en la figura. Pushcorp proporciona los cables y el amplificador necesarios para que el motor se conecte fácilmente.

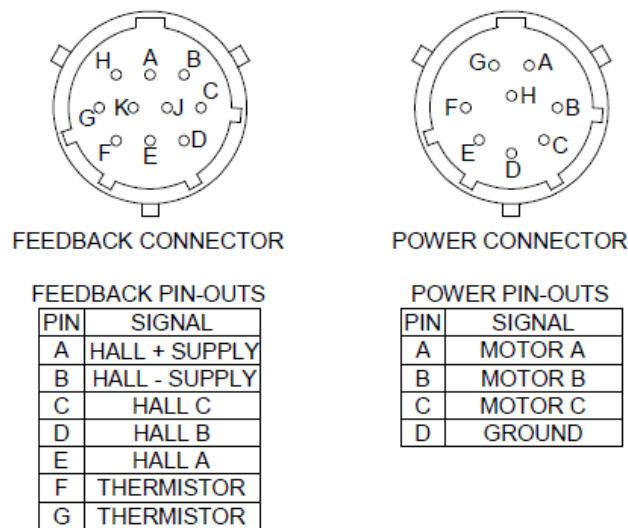


Figura IV.24: Conectores SM3002

- **Operación para el cambio de útil.**

La boquilla del SM3002 se aprieta y afloja manualmente. El eje del motor debe sujetarse por su superficie aplanada mientras se gira la tuerca de la boquilla. Al girar la tuerca de la boquilla se aprieta la boquilla al eje del motor, quedando fijada. Para aflojar, simplemente habrá que girar la tuerca de la boquilla en sentido opuesto. La boquilla o collet es una serie ER Series (DIN 6499 Forma B) de tamaño 11. El par de apriete recomendado para la tuerca de Collet depende del diámetro del cuello de la punta que se utilice. Para puntas con diámetro de 3 mm a 7 mm, el par de apriete recomendado es de 6 N.m, y no deberá exceder 27 N.m. Para diámetros de 0,5 mm a 2,5 mm, el par de apriete recomendado es de 14 N.m, y no deberá superior a 17,6 N m. La profundidad máxima a la que puede ser insertada una punta en el casquillo se muestra a continuación.

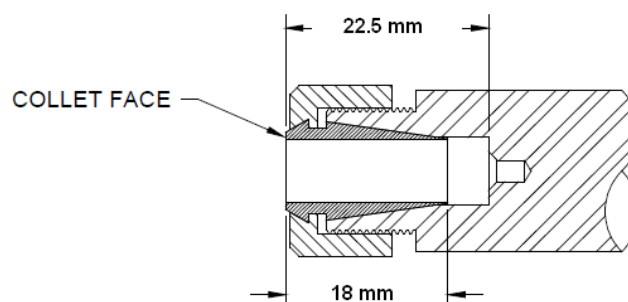


Figura IV.25: Boquilla del SM3002

También se puede cambiar el collet. Para montar el collet insertar las ranuras en el anillo excéntrico de la tuerca del collet en la marca de la parte inferior de dicha tuerca. Se presiona el collet mientras gira hasta que encaje, como se muestra en la siguiente figura. Para quitar el Collet, primero desenroscar la tuerca de collet del eje del motor. Después presionar la superficie y al mismo tiempo, empujar de lado en la parte posterior del collet hasta que se desactiva la tuerca.

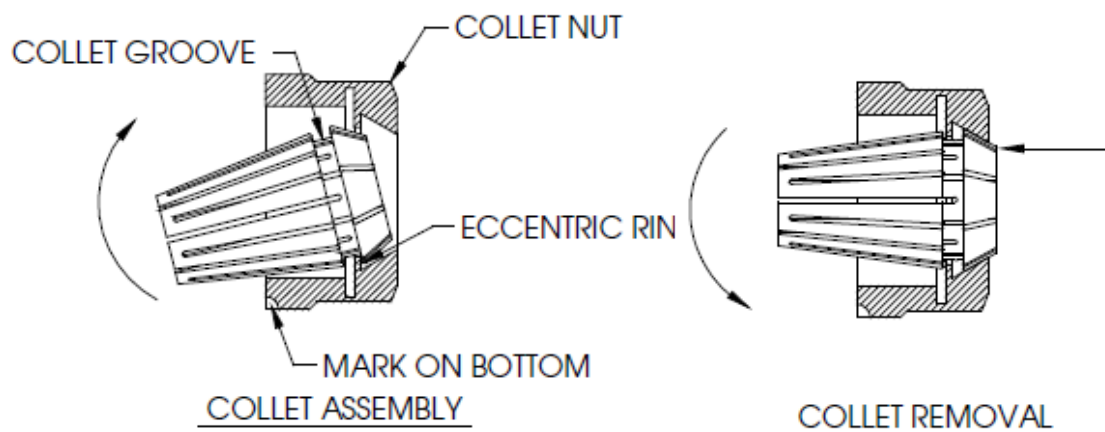


Figura IV.26: Cambio de boquilla.

- **Refrigeración.**

El SM3002 es un servo motor compacto de 1.5 kW de potencia el cual requiere liquido de refrigeración. Este servo motor de alta velocidad está diseñado para funcionar a una temperatura por debajo de 80 °C. El rango de óptimo de temperatura de funcionamiento es de entre 50-60 °C. Sin embargo es necesario tener precaución monitorizando la temperatura interna del motor durante una operación normal de producción. El SM3002 contiene conductos internos en el alojamiento del motor envolviendo el estator. Estas vías permiten una eficiente evacuación del calor. La refrigeración entra y sale del alojamiento del motor a través de dos orificios especiales como se muestra en la figura. El orificio inferior debería ser usado como el de entrada. Si se desea otro tipo de conectores, se puede remplazar el existente por otro conector sabiendo que el taladro tiene una rosca de M5x.8. Hay que asegurarse de no apretar demasiado el conector.

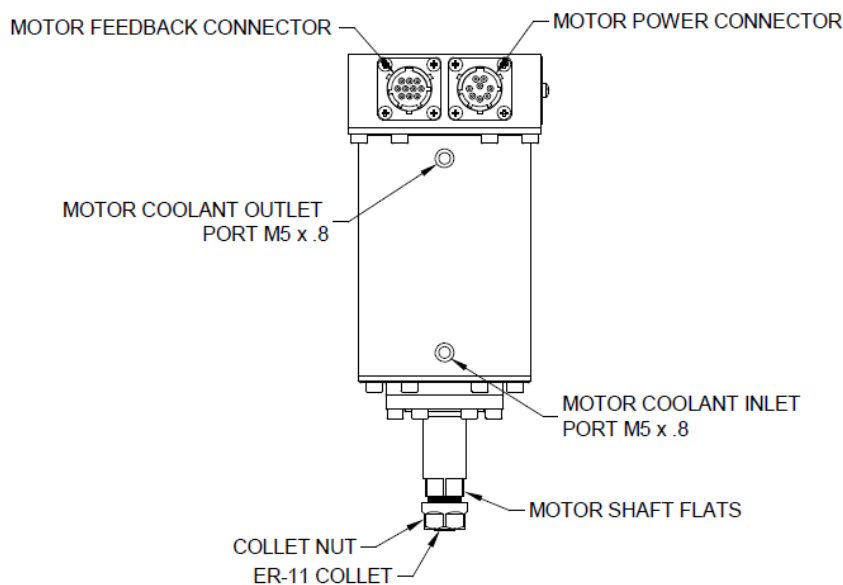


Figura IV.27: Conexiones externas del SM3002.

El agua tiene un gran poder para transferir energía. Esto significa que este líquido de refrigeración evacua calor de grandes ciclos de trabajo y de aplicaciones de gran potencia. El SM3002 requiere un sistema de circuito cerrado para el líquido de refrigeración. Un sistema de circuito cerrado requiere una unidad de refrigeración por separado para hacer circular el líquido a través del alojamiento del motor y además evacuar el calor. Todo el líquido refrigerante está circulando por el sistema, y se requiere un suministro continuo y sin fugas.

Se requiere una mezcla de agua pura destilada con un inhibidor corrosivo. Las típicas unidades de refrigeración están integradas por una bomba, agua para la evacuación del aire caliente y un ventilador. Estas unidades están comercialmente aconsejadas para trabajos exigentes. La unidad de refrigeración debería diseñarse basada en la potencia demandada por el motor (de 1.5 kW con un rendimiento medio del motor de un 90%) y en condiciones de carga de trabajo para el motor. De nuevo se recomienda un sistema de monitorización cerrada de la temperatura del motor mientras se lleve a cabo operaciones de producción para asegurarse de que no se sobrecalienta.

La vida del motor está directamente relacionada con la temperatura de funcionamiento, por lo que una refrigeración adecuada es crítica.

- **Monitorización de la temperatura.**

Como se ha señalado anteriormente, el SM3002 está diseñado para funcionar por debajo de 80 °C, y dentro de un rango optimo de entre 50-60 °C. En muchas situaciones es conveniente vigilar la temperatura interna del motor para garantizar que el valor de temperatura máxima no se excede, y que el rango optimo de temperatura se mantiene. Para facilitar esta labor, el SM3002 tiene un termistor que está instalado en los bobinados del motor. La conexión del termistor está integrada en el conector de la realimentación del motor.

La señal de la temperatura que proporciona el termistor es una función logarítmica de la resistencia de salida. El grafico mostrado en la siguiente figura muestra la temperatura interna del motor frente a la resistencia de salida del termistor. En el gráfico, una temperatura de 80 °C se corresponde con un valor de resistencia de 2000 ohm.

Si el termistor indica una resistencia por debajo de 2000 ohmios el motor debería apagarse inmediatamente antes de que se produzca cualquier daño por el sobrecalentamiento. El motor también contiene un sistema de corte por exceso de calor.

Si la temperatura excede los 100 °C el motor dejara de funcionar hasta que sea refrigerado. Esta característica no debería usarse para controlar la temperatura del motor. El sistema de temperatura de corte esta designado para operar únicamente cuando todas las demás precauciones hayan fallado.

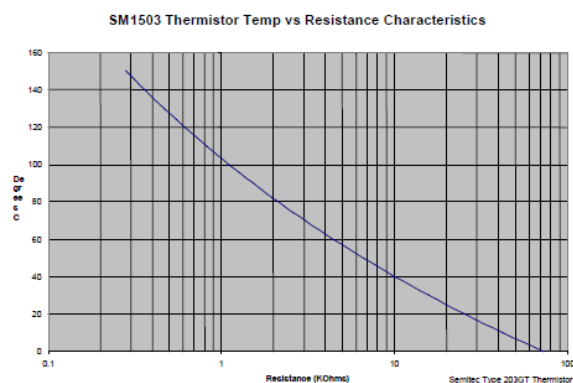


Figure 10. Thermistor Chart

**Figura IV.28: Gráfica termistor**



Pueden usarse la siguiente ecuación para calcular la temperatura del motor basada en el valor de resistencia del termistor medido:

$$T = \frac{1}{2.656 \times 10^{-3} + 2.317 \times 10^{-4} \ln(R) + 1.752 \times 10^{-7} \ln(R)^3} - 273.15$$

$R$  is resistance in Kohms

$\ln()$  is the natural logarithm function (Base  $e$ )

$T$  is temperature in °C

- **Aceleración/Deceleración Del Motor.**

Los servo motores tienen la habilidad de arrancar y parar de forma muy rápida. Mientras el motor no se sobrecaliente o el amplificador no exceda la corriente de entrada aconsejable, el motor continuara funcionando. El problema está en que el motor y el amplificador pueden experimentar un exceso de corriente puntual con una rápida aceleración y deceleración. Las herramientas o elementos con gran masa o gran diámetro (por ejemplo, un gran momento de inercia) incrementaran el pico de corriente. La cantidad de tiempo permitido para llegar a la velocidad deseada o pararlo tendrá en efecto directo sobre la vida del motor. Siempre se recomienda una aceleración/deceleración de velocidad suave, progresiva y de forma lineal con un periodo mínimo de un segundo para alcanzar la velocidad máxima o para parar totalmente el motor. El periodo mínimo de aceleración de un segundo debe incrementarse si se utiliza herramientas de gran tamaño y que proporcionan una gran inercia para prevenir fallos y evitar daños a largo plazo en el amplificador del servomotor.

- **Procedimiento de calentamiento del motor**

La alta precisión del eje doble de rodamientos que utiliza en el SM3002 requiere un periodo de calentamiento, si el motor comienza a funcionar a temperatura ambiente. Esto es debido a las pequeñas tolerancias que se producen en los rodamientos. Cuando se parte a temperatura ambiente se usa la siguiente secuencia para arrancar el motor:

Run Time	% Maximum Speed
3 Minutes	25%
3 Minutes	50%
3 Minutes	75%
2 Minutes	100%

Una vez que el motor se ha calentado (por ejemplo entre 50 y 60 °C), se puede trabajar como se desee, siguiendo un procedimiento normal de aceleración/deceleración según las directrices dadas en el apartado anterior.

#### ❖ AFD70 Series Passive Compliance Force Device

La serie 70 de los sensores pasivos AFD ha sido diseñada como una alternativa de bajo coste para la serie 1000 de sensores activos de fuerza. Siendo una unidad más básica, también incluye varias características innovadoras, tales como reducir la fricción de funcionamiento y aumentar la precisión de la fuerza medida. Utiliza cilindros neumáticos de vidrio con pistones de grafito, y rodamientos lineales de esferas. Incorpora un potenciómetro lineal interno que permite la monitorización de la posición durante la operación. Tiene dos posibles formas de montaje sobre el robot, vertical (AFD71), horizontal (AFD72). Además se puede anclar a cualquier elemento con superficie plana de sobremesa (AFD73). El AFD71 solo podrá percibir fuerzas positivas, mientras que el AFD72 percibirá tanto fuerzas positivas como negativas. Dependiendo de la configuración elegida el sistema AFD monta un bastidor diferente.



Figura IV.29: Diferentes configuraciones del AFD70.

La serie 70 requiere que el usuario proporcione al menos un regulador de presión para controlar la fuerza de salida que se ejerce. Si es un AFD72, se requiere dos reguladores. Este dispositivo, con componentes de baja fricción, consigue que la resolución y repetitividad de la fuerza de salida sea alta, y depende de la precisión del regulador. El regulador puede ser ajustado de forma manual o eléctrica basándose en los requerimientos de la aplicación. Si solo se requiere 1 nivel de fuerza y la orientación del AFD no cambia, un regulador manual es suficiente. Si la fuerza y/o orientación cambia durante el proceso, se requiere un regulador proporcional eléctricamente controlado.

En algunos casos el peso de los componentes se debe tener en cuenta para que pueda aplicarse una fuerza constante independientemente de la orientación. Esta situación requiere el cálculo del regulador de presión teniendo en cuenta el peso y la orientación. Para monitorizar la posición de la herramienta se debe conectar el AFD-70 a una señal de potencia de corriente continua y a una entrada analógica. Todas estas características se combinan para hacer de la Serie 70 de PushCorp un dispositivo regulable muy robusto, y un dispositivo muy fiable capaz de ofrecer resultados estables en un gran número de aplicaciones industriales.

- **Características.**

*CARACTERÍSTICAS AFD70-1*

Sensor de fuerza en una dirección  
Sensor de posición del sistema.  
Cartucho de filtro de aire integrado  
Diseño mecánico rígido y poco pesado  
Recorrido lineal de 20 mm  
Bajo coste  
Necesita un regulador de presión  
Máxima fuerza aplicable: 222 N  
Resolución de fuerza: 45.2 N/bar  
Peso AFD70-1: 7.7 kg  
Carga útil máxima: 23 Kg

Suministro de aire: seco, filtrado (5 $\mu$ m), no lubricado  
Presión máxima: 5,5 bar

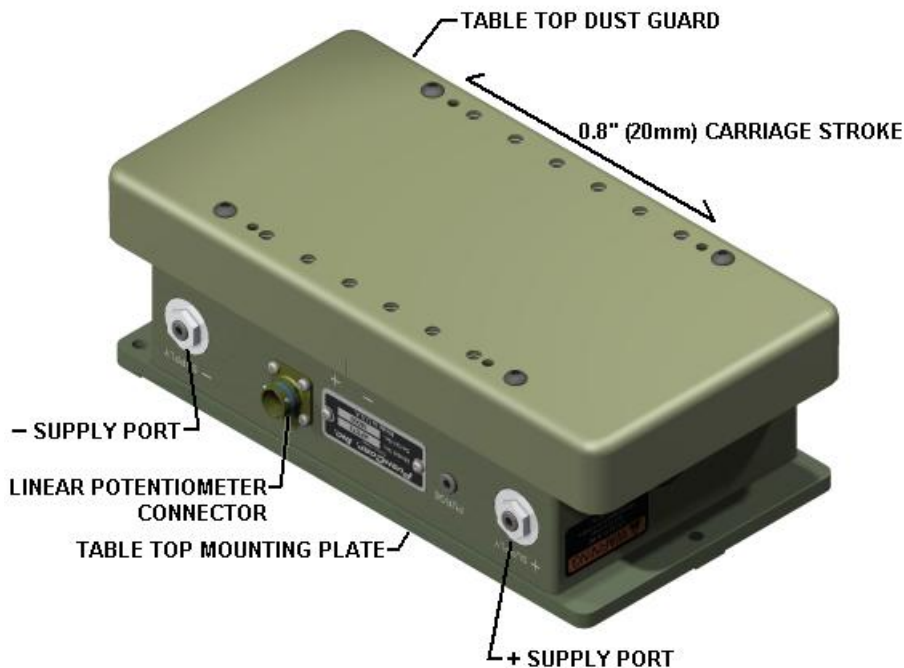


Figura IV.30: Características AFD.

- **Fijación.**

El sensor de fuerza AFD70 puede acomodar diferentes tipos de equipos para muchos procesos. El AFD puede orientarse de forma paralela o perpendicular a la brida de montaje del manipulador, sin embargo, es importante señalar que el AFD solo puede aplicar fuerza en dirección a la translación de la montura (parte móvil del sensor en la que se ancla la herramienta). En el proceso de montaje de la herramienta a la montura se deberá tener sumamente cuidado en el diseño e instalación de los soportes. Unos soportes correctamente diseñados incrementara la rigidez en el anclaje, siendo una única estructura. Si el diseño de los anclajes resulta incorrecto se deformara la montura causando un error interno de desalineación en el raíl lineal lo que a conlleva la inconsistencia al proceso. Un síntoma de estas deformaciones es que la montura se sobrepase.

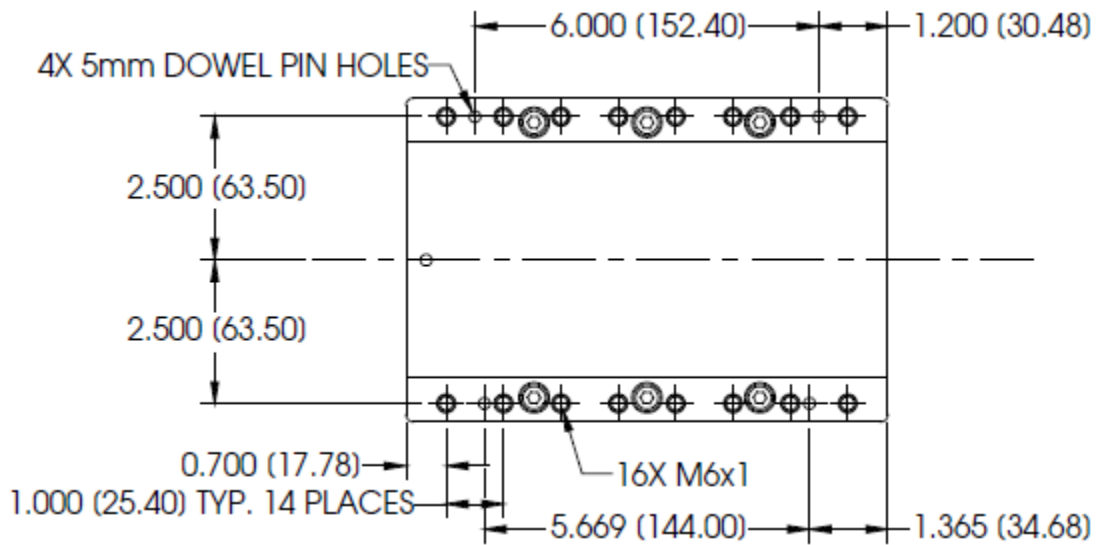


Figura IV.31: Diseño de la montura del Sensor AFD70.

La configuración básica del sensor de fuerza AFD-71 permite una fijación a accesorios estáticos o a un robot. Las bridas de montaje para el robot dispone de placas de adaptación o "cambio rápido". El AFD70-1 tiene una brida estándar para el anclaje al robot como se muestra en la siguiente figura. Se deberán utilizar un mínimo de tres registros para un montaje seguro al robot.

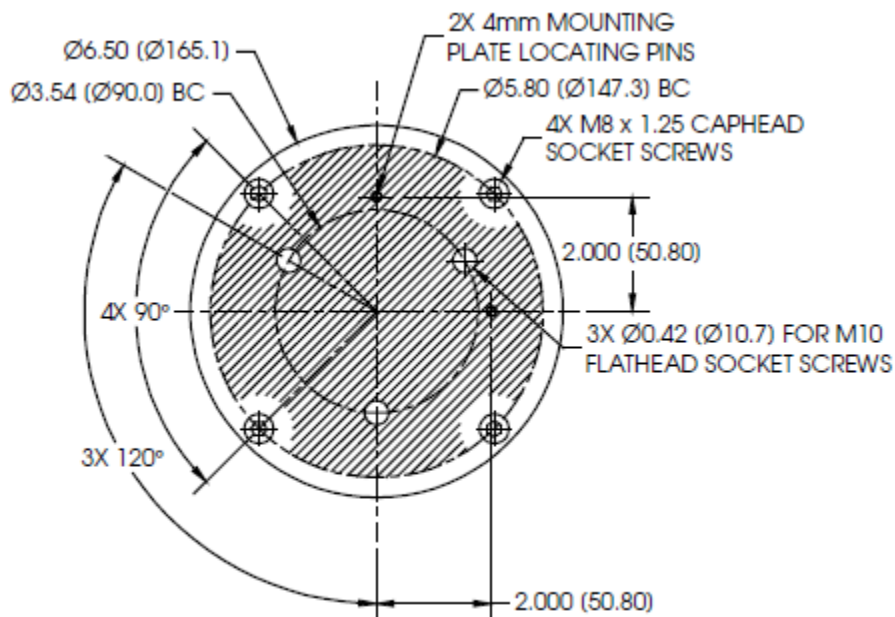


Figura IV.32: Diseño de la brida estándar del sensor.

- **Calculo de la carga máxima de la montura.**

El raíl de rodamientos que sostiene la montura ha sido empleado por su capacidad, tamaño y baja fricción. Con el fin de garantizar un rendimiento óptimo es muy importante no sobrecargar estos rodamientos. Con las siguientes ecuaciones se puede comprobar si se produce una carga excesiva. Se introducen la fuerza máxima que se puede registrar, el peso y las distancias de la carga para obtener la carga de los rodamientos. Esta debe ser menor al valor máximo aconsejable. Sobrepasar este valor reduce la vida y operatividad del sensor. En el caso de este PFC la carga de los rodamientos se puede aproximar como el siguiente esquema:

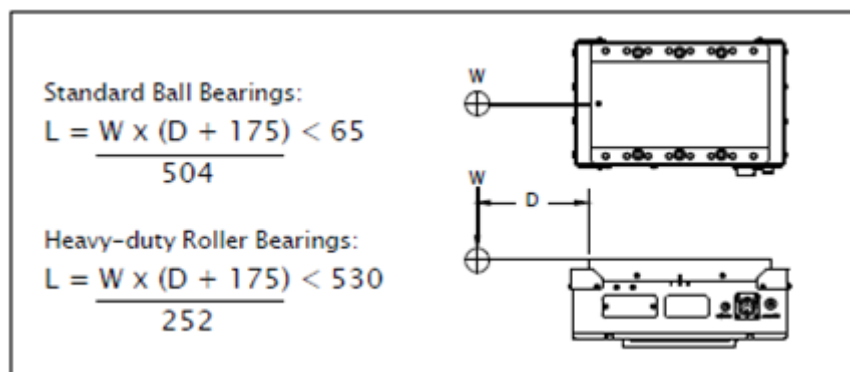


Figura IV.33: Carga rodamientos ADF70.

Donde:

W =Fuerza máxima, incluido el peso.(Kg)

L = Carga de los rodamientos (Kg)

D = Distancia de la carga neta (mm)

⊕ = Posición de la carga neta

- **Conexiones eléctricas.**

**+V:** Tensión de alimentación- La alimentación debería regularse bien en un +/- 10%. La resistencia de carga es 1500 ohmios +/- 30%. La tensión de alimentación no debería exceder 24 VDC. Cuando la fuente proporcione 12 VDC la señal a la salida estará entre 0 y 10 VDC.

**COM:** Toma común- Debería estar conectada al terminal común de la fuente al igual que a la tierra de la señal de posición analógica.

**SHLD:** Cable coaxial. La toma para el blindaje del cable. Conectar este cable al punto de toma de la instalación.

**POSN:** Señal de posición. Es la señal de salida del potenciómetro. Esta señal de voltaje representa la posición del transportador. El dispositivo conectado a esta salida debería tener una impedancia de entrada igual o mayor a 100kohmios. La linealidad de la señal del potenciómetro no viene calibrada de fabrica pero es lineal en un +/- 1%.

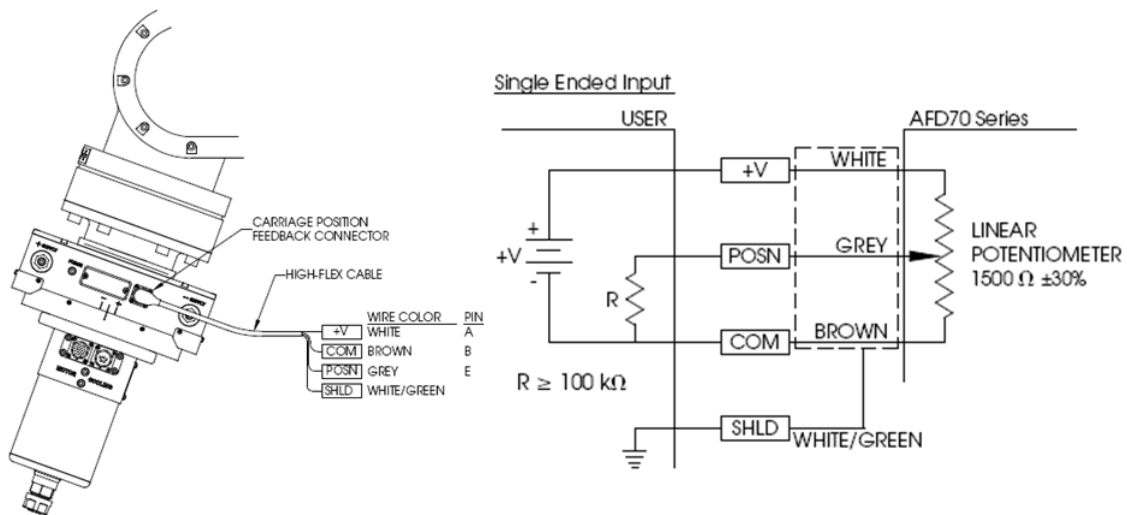


Figura IV.34: Conexión de la señal lineal del potenciómetro.

- **Calibración sistema.**

El AFD70 viene equipado con un potenciómetro interno que proporciona una señal de voltaje basada en el movimiento lineal del portador de la herramienta. La señal de voltaje es mínima cuando el portador está en la máxima posición del eje negativo posible, y máxima cuando el transporte está en la máxima posición positiva.

Se usa un cable de gran flexibilidad para conectar la fuente de corriente continua y las señales analógicas al sensor de fuerza. El conector esta específicamente diseñado para minimizar la tensión del cable. El enchufe y el zócalo están diseñados para que resulte imposible conectar ambos incorrectamente.

La señal de la posición lineal debe ser ajustada para cada aplicación. Realizar esta calibración resulta sencillo siguiendo los siguientes pasos:

1. Se conecta el cable, o bus, de gran flexibilidad al conector del sensor.
2. Conectar los cables del interior del bus como se muestra en la Figura x.
3. Mover el transportador a la posición más negativa.
4. Leer la señal de voltaje en el pin de salida. Este voltaje es una futura referencia. Esta señal será conocida como Vneg.
5. Se mueve el transportador a la posición más positiva.
6. Leer la señal de voltaje del transportador en el pin de salida. Este voltaje es una futura referencia. Esta señal la conoceremos como Vpos.
7. La posición del transportador puede determinarse ahora midiendo el actuar voltaje en el pin de salida introduciendo el valor en la siguiente ecuación.

$$p = 20 \text{ mm} \times \left( \frac{V_m - V_{neg}}{V_{pos} - V_{neg}} \right)$$

Donde:

p = Posición del transportador (mm)

V<sub>m</sub> = voltaje medido en pin de salida del cable.

V<sub>neg</sub> = voltaje de calibración medido en la posición más negativa del transportador, 0 mm.

V<sub>pos</sub> = voltaje de calibración medido en la posición más positiva del transportador, 20 mm.



- **Control de Fuerza.**

El AFD70 es un dispositivo pasivo de fuerza que requiere que se suministre aire a presión al actuador neumático. La presión en actuador se traduce en una fuerza de salida en el transportador. Si el AFD está siempre en posición horizontal o no cambia la orientación, lograr la fuerza deseada a la salida es sencillo. Sin embargo, si el AFD cambia de orientación la presión debe cambiarse a lo largo de la trayectoria del robot. Se debe conocer dos sistemas para lograr la fuerza de salida deseada: el peso que sostiene el AFD y el ángulo del transportador con respecto a la gravedad, sentido perpendicular. El ángulo del transportador se requiere para que el peso pueda ser compensado. El peso es la suma del equipo bajo el AFD y del propio sensor. Este valor puede calcularse mediante el área y la presión en el actuador neumático. El mejor método para determinar el peso es con una célula de carga. El ángulo formado entre el transportador y vector gravedad queda definido como se muestra a continuación:

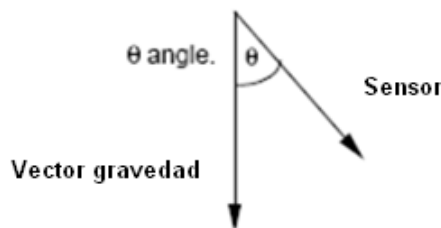


Figura IV.35: Ángulo para el control de fuerza.

La AFD71 tiene un actuador neumático individual, por lo que solo se pueden medir fuerzas positivas. El área de los cilindros es 67,74 mm<sup>2</sup>, por lo que para 0.07 bar de presión de suministro el AFD aplica 3.1 N de fuerza. Por esta razón la serie 70 resulta muy fácil de instalar. Para aplicar una fuerza de 89 N, por ejemplo, solo habrá que ajustar la presión de suministro del AFD a 2 bar. Esto, sin embargo, hace que requiera al usuario para suministrar la presión un regulador de precisión para ajustar con exactitud la fuerza aplicada. El regulador de presión puede ser de carácter manual o eléctricamente controlado mediante un regulador proporcional. La repetitividad y la resolución de la fuerza de salida están directamente relacionadas con la exactitud del regulador neumático. La siguiente ecuación define la fuerza aplicada de cada uno de los posibles dispositivos de la Serie 70-1:

$$F = (0.7 \times P) + 9.81 \times (W + 1.6) \cos (\theta); \quad \text{Donde:}$$

F = Fuerza neta aplicada por el AFD (N)

P = Suministro de presión (bar)

W = Peso (Kg)

$\theta$  = Angulo del sensor relativo a la gravedad

- **Características suministro de aire.**

- Aire seco no lubricado
- Con filtro de 5 micras
- AFD requiere un filtro de aire para prevenir el interior del componente de materiales extraños.
- Presión de suministro menor de 5,5 bar
- No operar según las especificaciones descritas puede empeorar el rendimiento y anularía cualquier garantía en relación con la reparación de los componentes neumáticos.
- El sistema de suministro neumático debería ser configurado como se muestra en la siguiente figura:

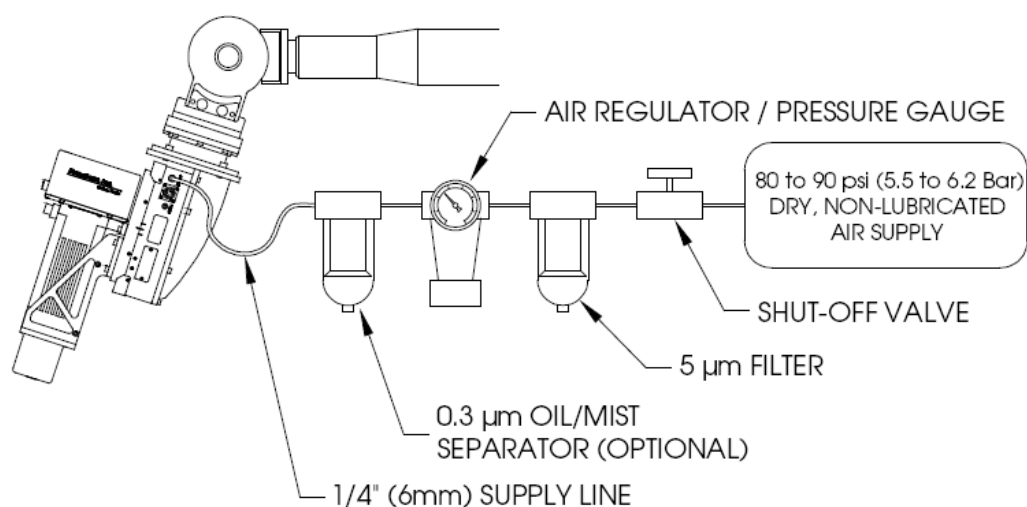


Figura IV.36: Configuración neumática.

- Si la condensación del agua es un problema en el sistema de suministro un dispositivo de secado es muy recomendable. La solución ideal es un enfriador industrial en seco capaz de reducir el punto de rocío por debajo de 0 °C.
- La humedad dentro del dispositivo de fuerza causara errores prematuros.
- Para aplicar fuerza en sentido positivo, la línea de alimentación debe conectarse al puerto positivo de suministro de aire y viceversa si se quiere conectar en sentido negativo.
- En aplicaciones donde el ambiente contiene gran cantidad de partículas suspendidas en el aire debe usarse un purificador para asegurarse que el interior del AFD se mantiene limpio de elementos exteriores.
- El sistema AFD viene provisto de un puerto para el purificador de aire en el suministro de aire. El puerto utiliza métrica R1/8 cónica en la instalación neumática.

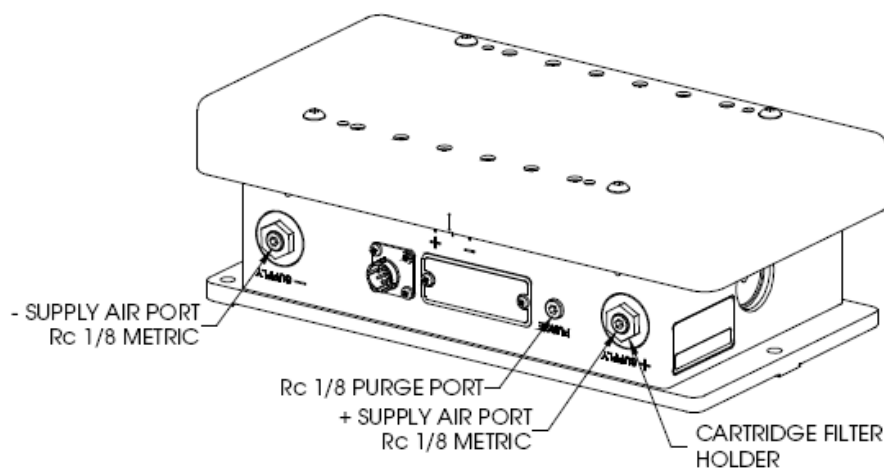


Figura IV.37: Conexiones de aire del sensor.

- La presión de entrada en el purificador puede estar entre 0.7 y 4.1 bar con un caudal de entre 14 – 56 l/min dependiendo de la aplicación. El purificador debe ser seco y no lubricado, sin embargo solo es necesario filtrar 20 micras.
- La línea de suministro y de purificación de servicio deberían ser de 6mm de diámetro, flexible y con tubos de poliuretano.
- Los tubos deberían estar comunicados con el AFD de tal forma que no haya torceduras y teniendo la suficiente holgura para permitir movimientos del manipulador.

○ *Montaje*

- Antes de conectar la línea de abastecimiento y la de purificación en sus respectivos dispositivos hay que abrir el cierre de la válvula para liberar cualquier contaminante que pueda estar en el interior. Entonces el tubo ya puede ser instalado en el lado del AFD libre de bloqueos. Se cargan las válvulas con aire y se verifica que no hay fugas de aire.
- Es más recomendable utilizar tubos de poliuretano flexible que de nylon, ya que los tubos de nylon tienden a bloquearse cuando se doblan. Esto limita severamente la llegada de aire.
- Para quitar la línea de suministro, primero descargar toda la presión de aire del sistema, luego mientras se empuja hacia dentro el puerto del anillo de plástico, simultáneamente tirar del tubo hacia fuera. Cubra o conecte el montaje de bloqueo, en cualquier momento el sistema de suministro de aire o el purificador no estarán conectados. Esto mantendrá los contaminantes sin entrar en el AFD.

○ *Cartucho interior del filtro del aire:*

La serie 70 contiene un cartucho como filtro en la base de su alojamiento. Este cartucho-filtro está designado para ser la última línea de defensa para proteger el sistema AFD de la contaminación. No está designado para ser el único medio para el filtrado de aire. Si el filtro llegase a obstruirse, la herramienta no llegaría a funcionar correctamente. La sustitución de estos cartuchos puede hacerse adquiriéndolos de PushCorp (el proveedor de la herramienta) o directamente del fabricante, Parker S.A.

Para quitar el cartucho de filtrado aflojar el elemento en el que reposa, que se encuentra encima de la base de su alojamiento, ver Figura 2. Quitar el cartucho y realizar una inspección visual. La condición en la que se encuentra el cartucho de filtrado nos dará una idea de la calidad del sistema de suministro de aire.

Colocar un nuevo cartucho de filtrado en su soporte correspondiente e insertar ambos a la base del alojamiento del AFD. Apretar el elemento donde reposa el filtro a un par de 10 N.m.

### 4.3 Sistema de cambio automático de herramienta.

#### 4.3.1 Introducción.

Este sistema es el que hace que el robot pueda cambiar de herramienta, por tanto, es el elemento que hace más flexible a la célula. Se trata del modelo SWS-071 de la marca SCHUNK [13], equipado con un conector eléctrico R19 y un conector hidráulico FG2. Estos tres componentes de los que consta dicho sistema, así como su funcionamiento, serán descritos más adelante.

El sistema de cambio de herramienta consiste en dos partes primarias: el plato maestro y el plato herramienta como se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura IV.38: Sistema de cambio de herramienta SWS-071.

El plato maestro se fija a la muñeca del robot, mientras que las herramientas, tales como pinzas, pistolas de soldadura, motores etc. son fijadas cada una en un su plato de herramienta correspondiente.

En dichas uniones se han de diseñar las interfaces de acoplamiento siguientes: RIP (Robot Interface Plate) para fijar el robot al plato maestro y TIP (Tool Interface Plate), para fijar el plato de herramienta a cada herramienta. En la siguiente figura se puede ver un esquema del sistema completo:

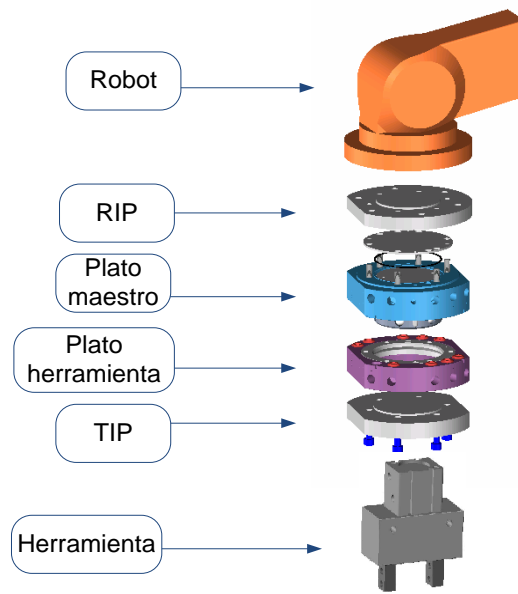


Figura IV.39: Ejemplo de montaje.

Este sistema de cambio de herramienta permite el paso de señales neumáticas del plato maestro al plato de herramienta, además mediante accesorios puede permitir el paso de señales hidráulicas y eléctricas.

En operación, el robot debe ser programado para que seleccione la herramienta a utilizar acoplando el plato maestro con el plato de herramienta correspondiente.

El cambiador de herramienta mejora la flexibilidad y la fiabilidad de una célula robotizada. Se utiliza sobre todo en cambios de herramienta automático, pero también puede ser empleado en cambios de herramienta manual. Este cambiador de herramienta ha sido diseñado para proporcionar una larga vida, con poco o ningún mantenimiento.

#### 4.3.2 Mecanismo y secuencia de acoplo y desacoplo.

El acoplamiento entre el plato maestro y el plato de herramienta se consigue a través de un mecanismo patentado de alta resistencia de acero inoxidable. El

mecanismo, situado en el plato maestro, consiste en un cilindro de doble efecto que empuja mediante un vástago unas bolas que atrapan al plato de herramienta. La secuencia de acoplamiento es la siguiente:

**Paso1:** Cuando el plato maestro es situado encima del palto de herramienta con una separación entre ambos menor a la llamada separación máxima de cierre sin contacto, es en este momento en el que el sistema está preparado para acoplarse, estando en contacto la bola con la primera superficie cónica del vástago.

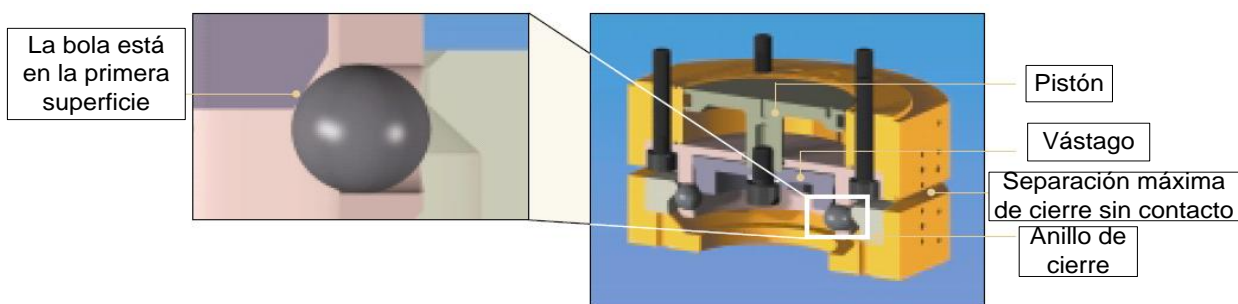


Figura IV.40: Secuencia de acople (Paso1)

**Paso2:** Si se suministra aire a la cámara de cierre del sistema del cilindro, el pistón y el vástago son empujados hacia abajo. Éste último, mediante su primera superficie cónica desplaza las bolas hacia el exterior, dejándolas atrapadas entre la segunda superficie y el anillo de cierre perteneciente al plato de herramienta. De esta manera quedan acoplados los dos platos que constituyen el sistema de cambio de herramienta.

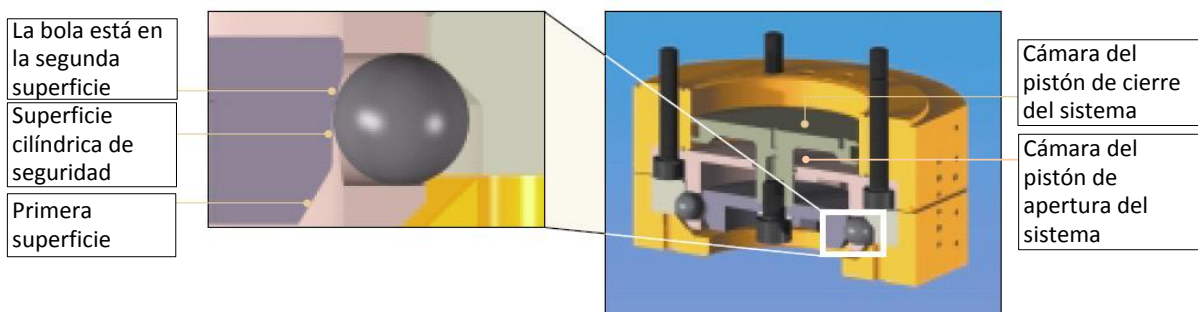


Figura IV.41: Secuencia de acople (Paso2)

**Sistema de seguridad:** En caso de fallo en el sistema que suministra el aire, gracias a la superficie cilíndrica de seguridad, el vástago no se moverá a no ser que se aplique aire a presión en la cámara de apertura, de esta manera se evita que la herramienta se caiga de forma accidental.

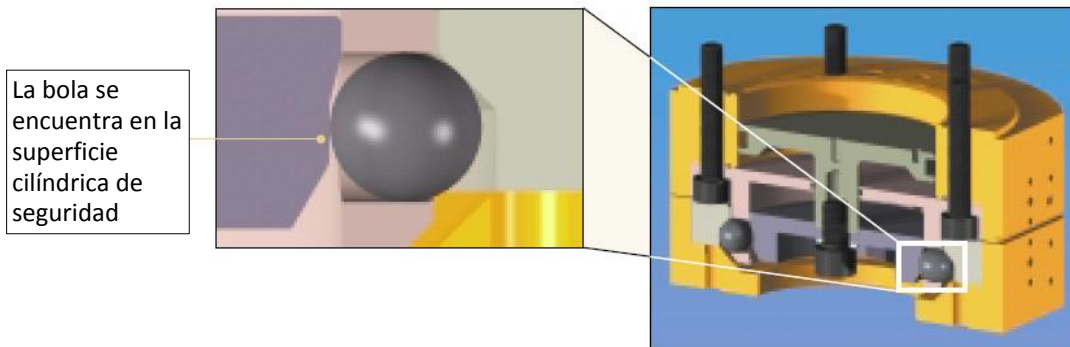


Figura IV.42: Sistema de seguridad.

La secuencia de desacople del sistema es similar a la de acople, solo que en este caso el aire debe ser suministrado a la cámara de apertura del sistema, liberando las bolas y permitiendo la separación entre ambos platos.

#### 4.3.3 Componentes del cambio de herramienta.

El sistema de cambio de herramienta, como ya se ha comentado, está formado por dos platos que se unen mediante un sistema mecánico accionado neumáticamente. En este apartado se van a describir las partes de las que está compuesto cada plato.

El elemento principal del plato es el cuerpo, el cual da cabida tanto al mecanismo de acoplamiento como a los elementos de unión con el robot o con la herramienta según el plato del que se trate. Dicho cuerpo, como ya se comentó, permite el paso de señales neumáticas a través de él. En el caso de requerir señales de otro tipo, se añaden distintos accesorios al cuerpo según las necesidades. En nuestro caso, los accesorios, son un conector eléctrico (R19) y otro hidráulico (FG2).

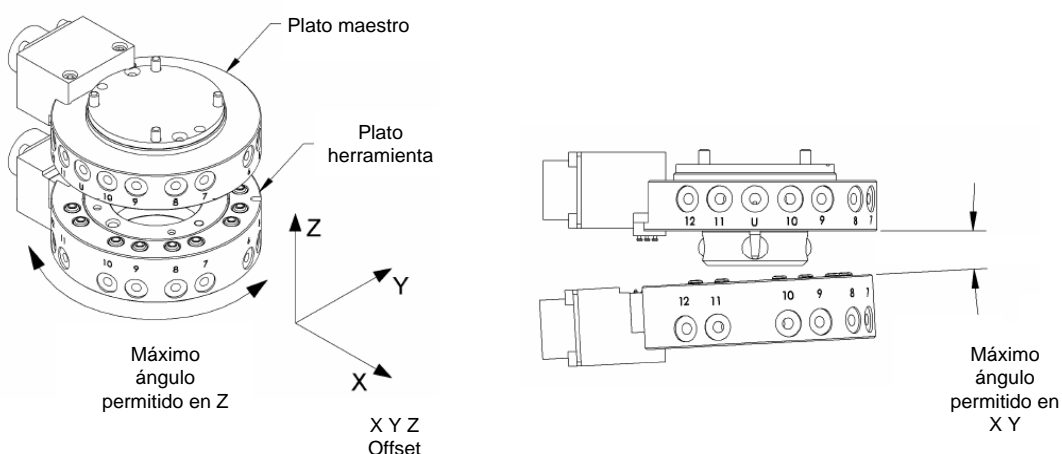




Algunas de las características más importantes se resumen el siguiente cuadro:

**Tabla IV.7: Características sistema cambio herramienta.**

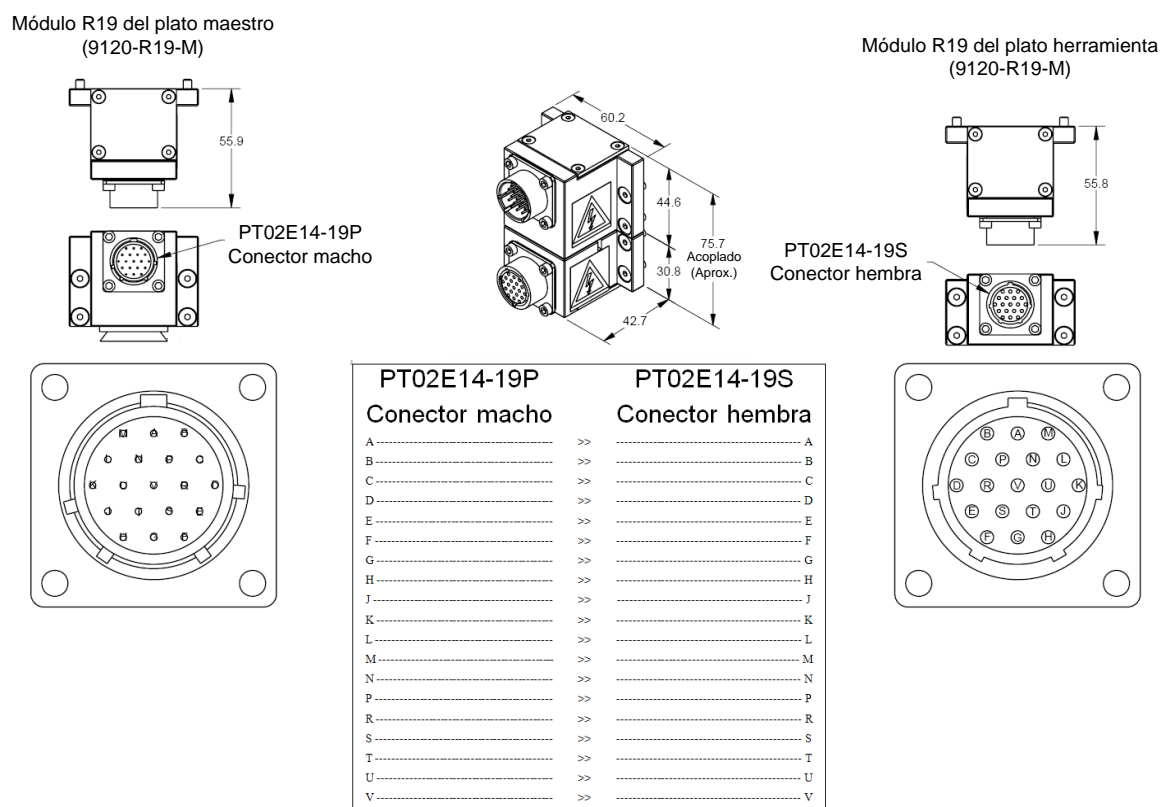
Propiedad	Valor	Comentario
Dureza	58 Rc.	Componentes de acero inoxidable
Carga máxima	79 kg	Elevadas cargas son posibles con menores momentos
Fuerza de bloqueo (a 6 bar)	8075 N	En caso de elevadas fuerzas de tracción, el sistema cae en la posición de auto bloqueo
Repetitividad de la posición	0.015 mm	Probado en 1millon de ciclos
Peso	3.1 kg	1.8 kg plato maestro y 1.3 kg plato herramienta
Transmisiones neumáticas	8 x G1/4"	Máximo 7 bar
Máxima distancia en el bloqueo	5 mm	Separación máxima de cierre sin contacto (ver diagrama de offset)
Máximo offset en XY permitido	$\pm 2$ mm	Máximo desplazamiento en el plano XY durante el cierre (ver diagrama de offset)
Máximo ángulo de offset permitido en Z	$\pm 1^\circ$	Máximo ángulo de desfase en el eje Z durante el cierre (ver diagrama de offset)
Máximo ángulo de offset permitido en XY	$\pm 0.6^\circ$	Máximo ángulo de desfase en el eje X e Y durante el cierre (ver diagrama de offset)



**Figura IV.44: Offset**

- **Conector eléctrico R19.**

Este conector se empleará para pasar las señales eléctricas necesarias a las herramientas. Al igual que el cuerpo, consta de dos elementos, uno acoplado al plato maestro, y otro al plato de herramienta. Tiene un total de diecinueve pines distribuidos por un conector circular como se observa en la siguiente figura:



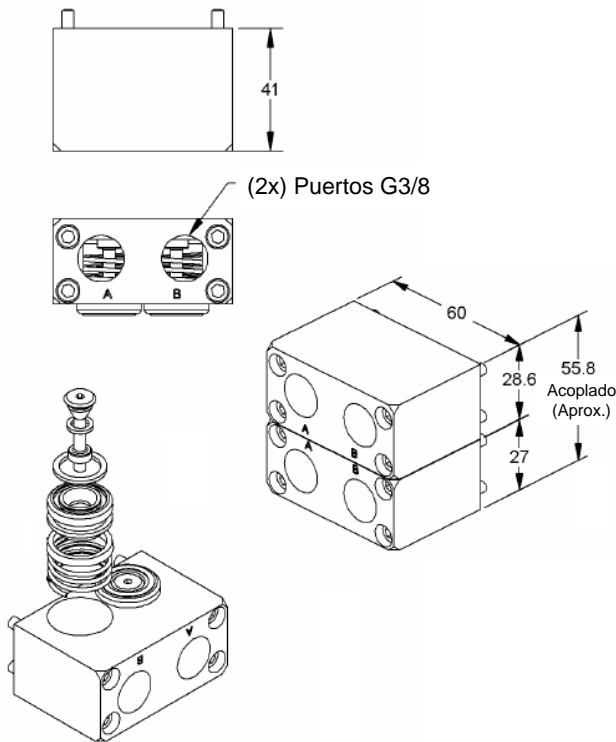
**Figura IV.45: Conector eléctrico R19.**

Se recomienda utilizar el pin central (V) como toma de tierra debido a que es el último en conectarse y el primero en desconectarse durante el proceso de acople y desacople respectivamente ya que es ligeramente más largo que el resto.

- **Conector hidráulico FG2.**

Este conector se emplea para el paso de señales hidráulicas a las herramientas. En nuestro caso, como se verá más adelante, es empleado únicamente para el paso del refrigerante a la herramienta de mecanizado. En la siguiente figura podemos ver que, al igual que sucedía con el conector R19, consta de dos elementos, uno acoplado al plato maestro, y otro al plato de herramienta.

Módulo FG2 del plato maestro  
(9120-FG2-M)



Módulo FG2 del plato herramienta  
(9120-FG2-T)

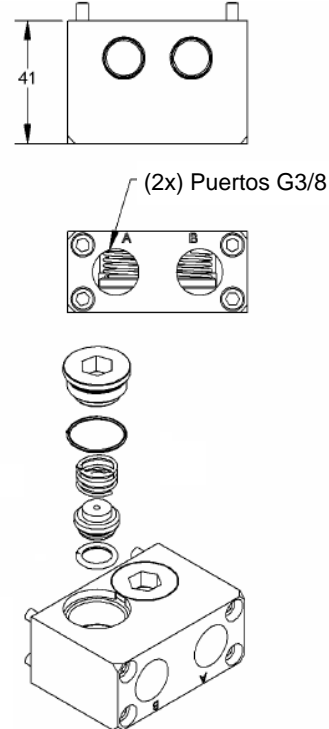


Figura IV.46: Conector hidráulico FG2.

#### 4.3.4 Instalación.

- **Diseño y montaje de las bridas de unión.**

Como vimos en la introducción de este sistema, han de ser diseñadas una brida robot por cada robot, y una brida herramienta por cada herramienta. Todas las bridas de unión, ya sea con el robot o con la herramienta deben ser diseñadas usando unos registros de posicionamiento, para lograr una mayor precisión al fijar las dos partes a unir vistos en la Figura IV.43.

Las bridas de acoplo entre el plato herramienta y la herramienta correspondiente debe ser diseñada utilizando el diámetro interno ( $\text{Ø}50\text{H}7$ ) del plato herramienta y un pin de fijación ( $\text{Ø}8\text{H}7$ ). Además la fijación se realiza mediante seis tornillos métrica ocho.

La bridas de acoplo entre el robot y el plato maestro deben utilizar el diámetro externo ( $\text{Ø}100\text{H}7$ ) del cuerpo del plato maestro y uno u opcionalmente dos pines de fijación ( $\text{Ø}6\text{H}7$ ). En este caso la fijación se realiza mediante seis tornillos métrica seis.

Además, la brida del robot debe cumplir otro requisito de diseño. Debe ser correctamente diseñada para proporcionar un montaje rígido manteniendo una separación entre la brida y el cuerpo del plato maestro, tal y como se muestra en la siguiente figura:

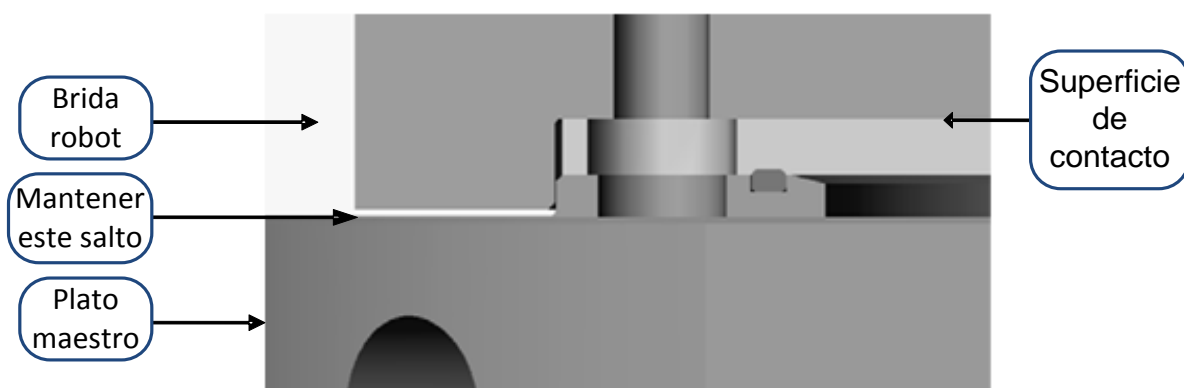


Figura IV.47: Requisito de diseño para brida robot.

- **Válvulas y conectores del cierre neumático.**

Como ya se vio en el apartado de mecanismo y secuencia de acoplo y desacoplo, para cerrar el sistema de cambio de herramienta debe suministrarse aire a la cámara de cierre, mientras que para desacoplarlo hay que suministrar aire a la cámara de apertura. Dichas cámaras del cilindro son accesibles por medio de los puertos lock y unlock respectivamente.

**Requerimientos del aire:** Para un correcto funcionamiento del cambio de herramienta se debe proporcionar al plato maestro aire limpio, seco, no lubricado, entre 4.5 y 6.9 Bar, y filtrado a 20micras.

**Requerimientos de las válvulas y conexiones:** Se recomienda usar una válvula de 4 vías o más para controlar el mecanismo de cierre del cambio de herramienta. Esto es necesario, ya que, mientras se suministra aire por un puerto, el otro, debe ser abierto a la atmósfera. Un ejemplo de configuración se muestra en la figura siguiente:

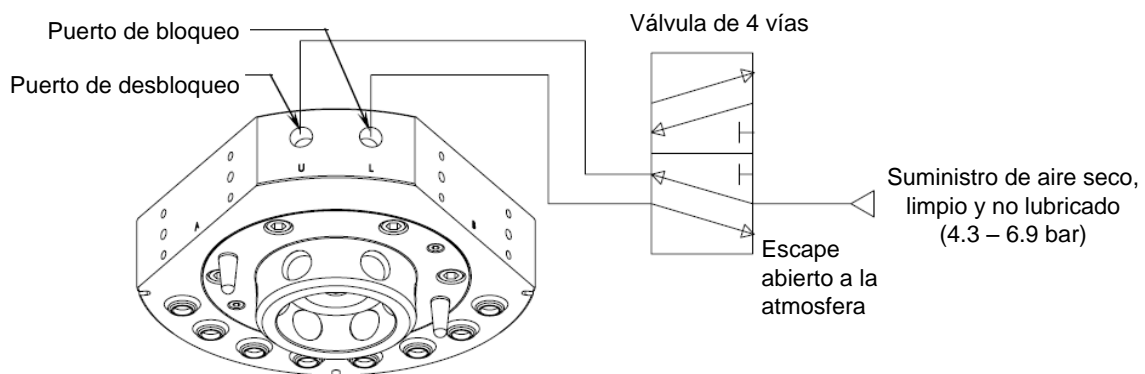


Figura IV.48: Control mecanismo de cambio

- **Diseño de una estantería de herramientas.**

Las herramientas mientras no estén siendo utilizadas por el robot, deben de reposar sobre una estantería de herramientas. Durante el acoplo, o el desacoplo, la estantería debe permitir un cierto movimiento en el plano paralelo (x-y) y perpendicular (z), a las superficies de contacto entre el plato maestro y el plato de herramienta. Un pequeño desajuste entre los platos en el momento del acople, si no se permite flotar al plato de herramienta, puede generar elevadas fuerzas provocando un desgaste excesivo del sistema de cambio de herramienta.

El grado de flotación requerido depende de la exactitud del robot y de su repetitividad a la hora de ubicarse en la estantería de herramientas. El sistema de cambio de herramienta permite cierto offset a la hora de acoplarse. En algunos casos, un elevado offset puede ser permitido, pero aumentará el desgaste. La estantería de herramientas debe estar diseñada para reducir al mínimo la desalineación durante el acoplamiento y desacoplamiento.

Idealmente, la herramienta debe ser colgada verticalmente en la estantería de modo que la gravedad ayude a desacoplar el sistema. Es posible diseñar la estantería para la colocación de las herramientas en posición horizontal, pero se debe tener cuidado de que se realiza bien el proceso de acoplo y desacoplo. En general, la estantería en "posición horizontal" causa más desgaste tanto en la estantería como en el sistema de cambio de herramienta.

El acoplo, debe ocurrir con el plato maestro en la zona de cierre sin contacto, es decir, sin tocar el palto de herramienta. Cuando se produce el bloqueo, el palto maestro debería colocar el plato herramienta en la posición adecuada, gracias a la flotación permitida por la estantería.

Además, tanto la estantería de herramientas como la herramienta, deben constar con pines de localización, para que las herramientas siempre se posicionen correctamente sobre la estantería disminuyendo los desajustes antes mencionados, y por tanto, disminuyendo el desgaste de los elementos.

#### 4.3.5 Mantenimiento.

- **General.**

En condiciones normales, no es necesario un mantenimiento especial, sin embargo se recomienda que se lleven a cabo inspecciones periódicas para asegurar a largo plazo el rendimiento y para asegurar que los daños inesperados no se produzcan. Los siguientes artículos deben ser inspeccionados visualmente a intervalos regulares:

- Bolas del mecanismo de acoplo.
- Los contactos eléctricos y los módulos
- Juntas de goma.
- Pines de alineación.

**Pines de alineamiento:** Son los pines cónicos situados en el plato maestro, y que sirven de guía para el acoplo del sistema de cambio de herramienta. En algunas aplicaciones duras, debido al desgaste, puede ser necesario remplazarlos.

**Juntas de caucho:** Son las juntas que hacen posible el paso de señales neumáticas a través del sistema de cambio de herramienta. Si alguna resulta dañada u obstruida, debe ser remplazada para el correcto funcionamiento de dichas señales.

- **Lubricación:**

El sistema de cambio de herramienta viene lubricado de fábrica. Para muchas aplicaciones, esta es la lubricación suficiente para la vida del producto. En algunas aplicaciones de alto ciclo de trabajo, o aplicaciones sujetas a la humedad, el desgaste del mecanismo de bloqueo y la oxidación puede reducirse mediante la aplicación de una fina capa grasa a las bolas, el vástago y al anillo de cierre a intervalos periódicos (por ejemplo, cada 250000 ciclos. En algunas aplicaciones muy sucias el mecanismo de bloqueo de las bolas puede recoger arena y escombros si la grasa está presente. En estos casos se recomienda que el mecanismo de cierre sea cubierto, y/o trasladó a un lugar menos sucio cuando la herramienta no se esté utilizando. Además, la eliminación de la grasa es una posible solución en estos casos.



- **Mantenimiento preventivo.**

El sistema de cambio de herramienta y sus accesorios han sido diseñados para proporcionar una larga vida con un mantenimiento regular. Se recomienda un programa de inspección visual y un mantenimiento preventivo, según la aplicación y según la frecuencia de cambio, tal y como se muestra en la siguiente tabla

**Tabla IV.8: Mantenimiento preventivo del sistema de cambio de herramienta.**

Aplicaciones	Frecuencia de cambio de herramienta	Programa de inspección
Uso general	>1 por minuto	Semanalmente
Manejo de materiales	<1 por minuto	Mensualmente
Operaciones de mecanizado, fundición, soldadura... (Ambientes sucios)	Cualquiera	Semanalmente
Listado de componentes a revisar: Bolas, Pines de alineamiento, bridas de interface, juntas de caucho, conexiones eléctricas etc.		

#### 4.4 Sistemas auxiliares.

##### 4.4.1 Componentes estructurales.

Dentro de los componentes estructurales o mecánicos utilizados, destacamos los perfiles de aluminio de la marca NIKAI [14], ya que se utilizan en muchos diseños hardware que se explicaran en el siguiente capítulo. Entre las ventajas que se destacan:

- La facilidad, rapidez y limpieza del montaje.
- La versatilidad que ofrece en el diseño de estructuras.
- Utilizable en todo tipo de utilidades.
- Compatibilidad con otros sistemas existentes en el mercado.
- Suministro: cortado y mecanizado a la medida solicitada, en kit o en barras.

En la siguiente figura se muestran algunos de los perfiles suministrados por dicha marca:

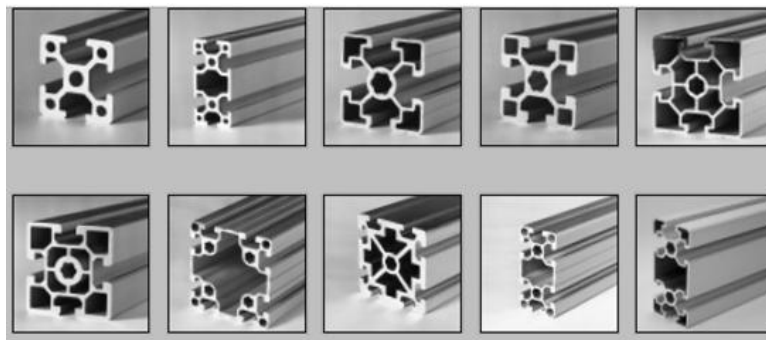


Figura IV.49: Diferentes tipos de perfil de la marca Nikai.

Los perfiles utilizados se muestran en la siguiente figura (dimensiones en mm):

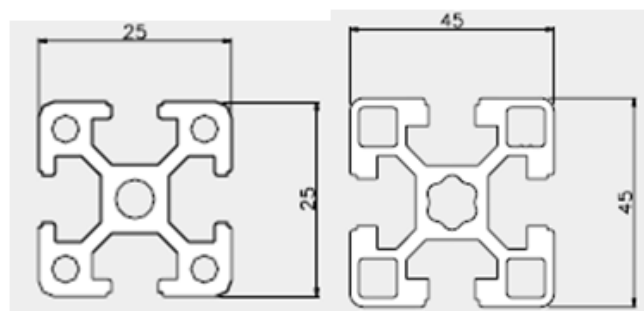


Figura IV.50: Nikai empleado.

#### 4.4.2 Componentes eléctricos.

Algunos de los elementos eléctricos y electrónicos más importantes utilizados en la célula se detallan a continuación:

- *Interruptores automáticos y diferenciales.*

Para el control de los diferentes dispositivos eléctricos de elevada potencia se ha procedido a la instalación de interruptores automáticos y diferenciales. De esta forma se asegura el correcto funcionamiento de cualquier equipo y la seguridad en la célula de fabricación robotizada.

- Interruptor automático magneto-térmico Merlin-Gerin C60N de 10A y 5-XS1 Siemens de 4A. Es un aparato capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que por él circula excede de un determinado valor o, en el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de no causar daños a los equipos eléctricos. El interruptor automático puede ser rearmado una vez localizado y reparado el daño que causó el disparo o desactivación automática.

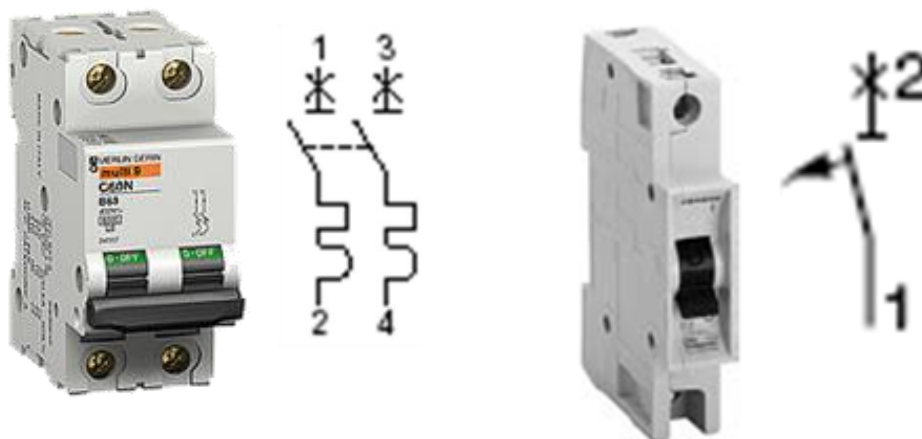


Figura IV.51: Interruptor automático.

- Rele **40.31 Finder** enchufable. Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Mediante relés se puede activar/desactivar las fases de las señales de potencia con señales de baja intensidad. Las características principales son:

- Reticulado 3.5 mm
- 1 contacto 10 A
- Bobina DC (estándar o sensible) y bobina AC
- Contactos sin Cadmio
- 8 mm, 6 kV (1.2/50  $\mu$ s) entre bobina y contactos
- UL Listing (combinaciones relé/zócalo)
- Estanco al flux: RT II estándar,
- Zócalos serie 95
- Módulos de señalización y protección CEM
- Módulos temporizados serie 86

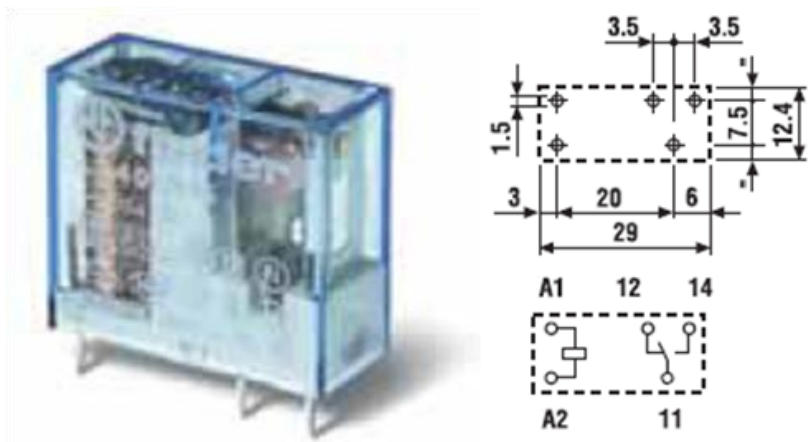


Figura IV.52: Relé

- **Convertor digital analógico (DAC).**

Este dispositivo convierte una entrada digital (generalmente binaria) a una señal analógica (generalmente voltaje). Los conversores digital-analógico son interfaces entre el mundo abstracto digital y la vida real analógica. Mediante una suma ponderada de los dígitos de valor 1 se consigue un convertor digital-analógico rápido; la ponderación puede hacerse con una serie de resistencias en progresión geométrica (cada una mitad de la anterior), lo cual obliga a utilizar un amplio rango de resistencias, o bien mediante una red R-2R que efectúa sucesivas divisiones por 2.

Para el PFC se ha utilizado un convertidor digital analógico **KR-12BIN/10-0** de la marca **Krenel** [15]. Este DAC dispone de 12 bits y proporciona una salida de entre 0/10 voltios. De esta forma convierte una señal digital de 12 bits en código binario, a una señal analógica de tensión o intensidad, con 4096 puntos de resolución,  $2^{12}$ . Se presentan en configuración modular estrecha para encajarse en perfiles de raíl DIN, con bornes enchufables por tornillos, de reducido espacio y consumo.

ENTRADA		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
- Entrada 12 bits optoacopladas		- Resolución	12 bits < 0,025 %
- Transistor PNP ó NPN (24V) y TTL		- Temperatura de trabajo	-10° ... +55° C
SALIDA 4 / 20 mA		- Tensión de alimentación	24 VDC (+/- 10%)
- Resistencia de carga ( <i>tensión</i> )	mín 1K Ohm	- Consumo máximo sin entradas	40 mA
- Resistencia de carga ( <i>corriente</i> )	máx 600 Ohm	- Absorción de corriente máxima por cada entrada digital	10 mA
- Intensidad máx. de salida ( <i>tensión</i> )	25 mA	- Protección contra cortocircuitos en la salida	
- Intensidad máx. de salida ( <i>corriente</i> )	10 mA	- Ajuste de OFFSET y SPAN exterior	
		CARACT. MECÁNICAS	
		Protección:	IP 20
		Cable conexión:	<2,5mm , 12 AWG
		Caja:	Poliamida UL94. V2
		Peso:	max. 105 gr.
		Sujeción a raíl:	EN 50035, EN 50022

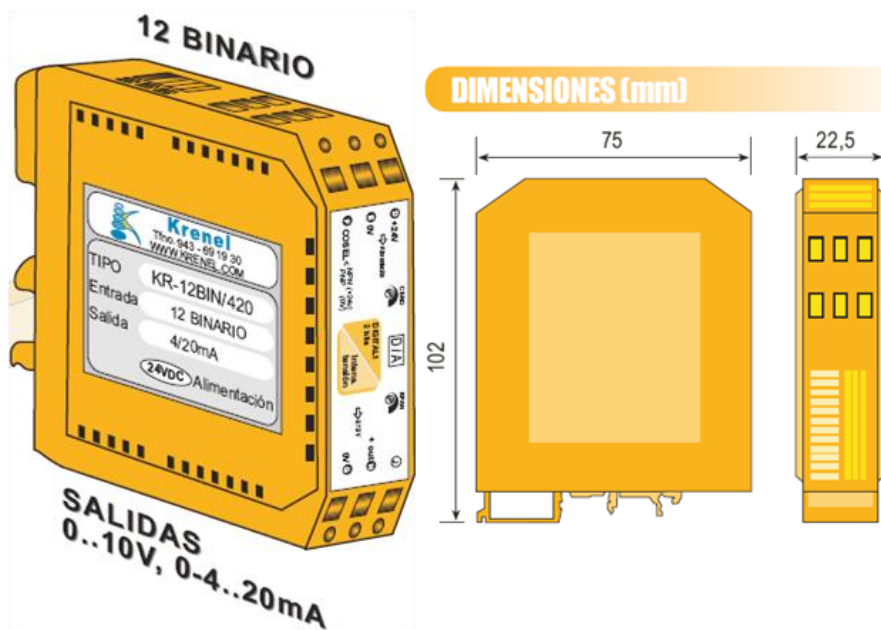


Figura IV.53: Datos técnicos del DAC de Krenel.

- *Controlador analógico para servomotor.*

Para el uso adecuado del servo-motor SM3002 anteriormente descrito es necesario un sistema de control. Para ello se utiliza el **B30A40AC** de la marca **ADVANCED Motion Controls** [16]. El B30A40AC es un controlador analógico, mediante señales PWM, diseñado para el manejo de un servomotor brushless de corriente continua a altas velocidades de conmutación. Mediante un LED se puede observar el estado operativo, rojo/verde. El control está totalmente protegido frente a sobre tensión, sobre corriente sobre calentamientos y frente a cortocircuitos entre el motor, masa y conductores de potencia. Además la unidad puede interactuar con controladores digitales o ser usada de forma autónoma requiriendo únicamente un suministro de alimentación no controlado de corriente alterna. La ganancia en lazo cerrado, el límite de corriente, la ganancia de entrada y el offset se pueden ajustar usando potenciómetros. El offset, ajustado mediante un potenciómetro, puede también utilizarse como una señal de entrada para probar los efectos que conlleva. En definitiva esta unidad, conociendo el estado de giro del motor (sensores Hall) proporciona la secuencia de señales adecuadas a los bobinados del estator para un giro adecuado.

Tabla IV.9: Rango de funcionamiento del controlador analógico.



Figura IV.54: Controlador B30A40AC.

Rango de Potencia	
Máxima corriente de pico de entrada	30 A
Máxima Corriente continua de salida	15 A
Tensión de alimentación	45-270 VAC

Tabla IV.10: Características Controlador analógico.

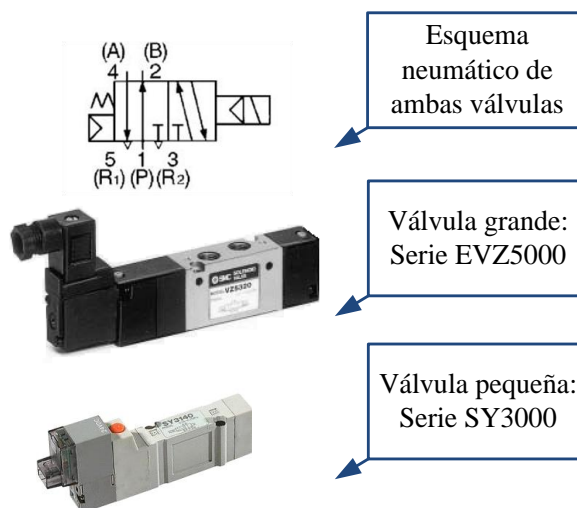
Características	
Funcionamiento regenerativo en cuatro cuadrantes	Ajuste del offset mediante potenciómetro
Ajuste del límite de corriente	120/60 fase de conmutación de los Hall
Habilitado/deshabilitado de forma lógica	Control de velocidad mediante Hall
Contiene un regulador de derivación	Control de velocidad mediante Encoders
Con terminales externos del regulador de derivación	Realimentación diferencial de los encoder
Potenciómetro para ensayos	Inhibición de señales fuera de límites

#### 4.4.3 Componentes neumáticos e hidráulicos.

En este apartado se describen todos los sistemas neumáticos auxiliares que forman parte de la célula robotizada:

- **Válvulas.**

Las válvulas utilizadas en la célula robotizada son de dos tipos distintos ambos de la marca SMC con cinco vías y dos posiciones accionadas. El empleo de una u otra se debe únicamente al tamaño ocupado, debido al reducido espacio disponible en algunos casos. En la siguiente figura podemos ver ambos modelos con su esquema neumático seguido de una tabla que resume las principales características de ambas:



**Figura IV.55: Válvulas neumáticas.**

**Tabla IV.11: Características válvulas.**

Atributo	Valor	
	EVZ5000	SY3000
Presión de funcionamiento (bar)	1.5-7	1.5-7
Tiempo de respuesta (ms)	20	12
Frecuencia máxima de operación (Hz)	10	10
Voltaje de solenoide (V <sub>dc</sub> )	24	24
Consumo (W)	1.8	0.35
Peso (g)	120	57



- **Ventosas.**

Estas ventosas son empleadas en las áreas de almacén y trabajo de la célula robotizada para el agarre de distintos elementos. Consisten en el modelo más simple de ventosa de la marca PIAB, apta para manipulación de objetos planos o ligeramente curvos.

En la siguiente figura se puede ver las ventosas empleadas, así como un dibujo con sus medidas:

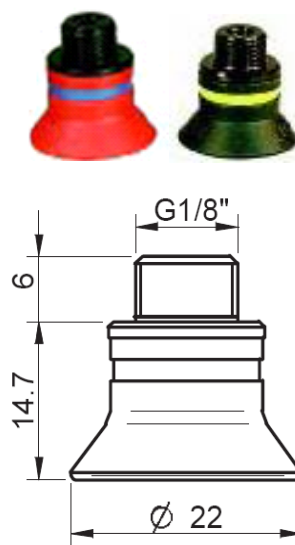


Figura IV.56: Ventosas.

Sus características principales son:

Tabla IV.12: Características ventosas.

Atributo	Valor
Diámetro ventosa (mm)	20
Radio de curva mínimo (mm)	8
Movimiento vertical máximo (mm)	4.5
Peso (g)	2.2
Dureza goma (°shore A)	50

- **Bombas de vacío.**

Se trata de un generador de vacío ZH10B de SMC que combina la sencillez de diseño con un alto rendimiento. En la figura siguiente, mediante el suministro de aire comprimido por el puerto P se logra generar vacío en el puerto V por efecto venturi:

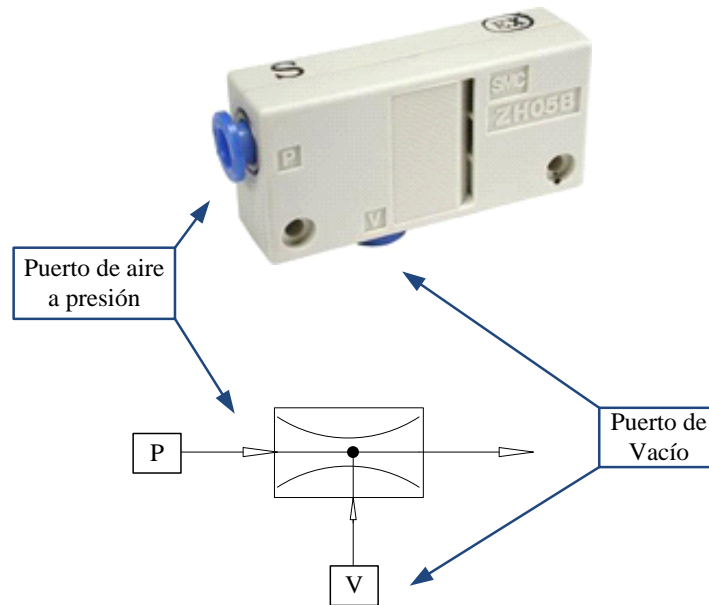


Figura IV.57: Bomba de vacío.

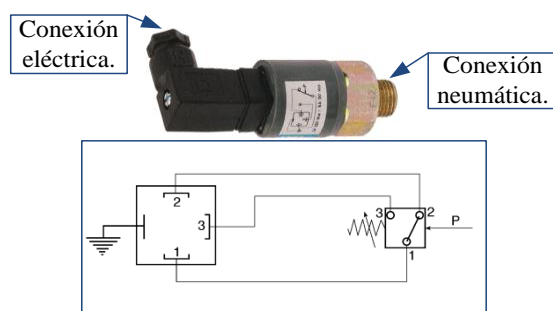
Estos generadores son a menudo más pequeños y más ligeros que los voluminosos generadores centrales de vacío, además de proporcionar una respuesta más rápida. Un silenciador colocado en el escape mantiene el ruido al mínimo. En la siguiente tabla se resumen algunas de sus características principales:

Tabla IV.13: Características bombas de vacío.

Atributo	Valor
Diámetro boquilla (mm)	1.0
Tipo caja	Con silenciador
Depresión máxima (kPa)	-48
Caudal máximo de succión (l/min)	34
Consumo de aire (l/min)	46
Peso (gr)	33

- **Interruptores de presión.**

Se trata de un modelo de interruptor de presión ajustable de la serie F4 de la marca FOX basado en un microinterruptor que se acciona cuando se alcanza la presión preconfigurada mediante un tornillo localizado en el centro del interruptor. En la siguiente figura se observa el interruptor destacando los dos tipos de conexiones: las patillas numeradas del uno al tres corresponden con señales eléctricas mientras que la señal P corresponde con la señal neumática.



**Figura IV.58: Interruptor de presión.**

La patilla 1 se conecta con la 3 cuando se alcanza el valor de presión configurado, permaneciendo conectada a la patilla 2 en caso contrario. De esta manera se consigue cambiar el valor de la señal eléctrica 1 mediante una señal neumática P. En la siguiente tabla se resumen algunas de sus características más importantes del interruptor de presión:

**Tabla IV.14: Características interruptor de presión**

Atributo	Valor
Gama de ajuste de presión	0.2 - 2.5bar
Conexión	1/4 in. BSP
Peso	50 gr
Contacto nominal DC	0.15A 110 V(dc)
Contacto nominal AC	0.5A 250 V(ac)
Presión de funcionamiento	25bar
Frecuencia máxima de	60ciclos/min
Método de ajuste	Roscada
Precisión	±4% of Set Pressure

- **Regulador de presión.**

Se trata de un regulador de Legris de la serie LF3000 montado en un cilindro que reduce la presión de de alimentación en una dirección de movimiento. Optimiza el rendimiento del sistema al mismo tiempo que conserva la valiosa energía del aire comprimido. Para simplificar la configuración consta de un tornillo calibrado de ajuste de presión como se puede observar en la siguiente imagen:



**Figura IV.59: Regulador de presión.**

En la tabla siguiente se muestran algunas de sus características principales:

**Tabla IV.15: Características regulador de presión.**

Atributo	Valor
Presión de entrada máxima	16bar
Presión de salida	1 to 8bar
Puerto de entrada de suministro	G 1/8
Tamaño de puerto de salida	4mm
Montaje en panel	No
Peso	38 gr

- **Sistema de refrigeración.**

Como se comentó anteriormente en la descripción del motor brushless, es necesario un sistema para la refrigeración de los devanados del estator del motor. Hay que mantener la temperatura en un rango óptimo de funcionamiento entre 50° y 60°, controlando que nunca se excedan los 80°. Para ellos se ha escogido el sistema de refrigeración **Coolmates 3** de la marca **Miller**, recomendado por PushCorp, fabricante del servomotor brushless.

- Diseño compacto horizontal que permite su apilamiento y un montaje conveniente.
- Refrigerador de tamaño mediano, pesa 18kg vacío.
- Dispone de interruptor de encendido y apagado, paleta indicadora del flujo de refrigerante, filtro y orificio de llenado del depósito, todo en la parte frontal.
- Depósito de refrigerante de polietileno moldeado, ventilador y boquilla de llenado inoxidable.
- Eficientes tubos y aletas intercambiadores de calor.



Figura IV.60: CoolMate 3

- Motor HP ¼ protegido frente a sobrecalentamientos.
- Bastidor es de latón, y dispone de una bomba de paletas rotativa que proporciona el desplazamiento coherente del flujo refrigerante con la presión esperada.

Tabla IV.16: Características sistema refrigerador.

Voltaje de entrada 50/60 Hz	Corriente máxima 50/60Hz	Capacidad máxima de refrigeración	Media de refrigeración	Capacidad del depósito	Dimensiones (mm)	Peso neto
230 VAC	2,5A/3,0A	3,82 KW 4 L/min	1,42 KW 1 L/min	11,4 L	Largo: 584 Ancho: 311 Alto: 337	20 Kg

#### **4.5 Descripción de los productos de la célula robotizada.**

Como se ha comentado en diversas ocasiones, la célula diseñada en este proyecto tiene como fin la ejecución de distintos procesos de mecanizado y de ensamblado del sector de la construcción.

Como ejemplo de aplicación, se han realizado procesos consistentes en el ensamblado de un módulo de aguas, y diferentes mecanizados a baldosas.

En este apartado, se va a realizar una descripción tanto de los materiales de construcción como de los productos de salida de la célula, para ambos procesos.

##### **4.5.1 Ensamblado del módulo de aguas.**

El módulo de aguas ensamblado en esta célula robotizada, es un ejemplo del Service Core diseñado en el proyecto Manubuild. Está formado por un bastidor y por un sistema de saneamiento.

El bastidor está formado por barras de aluminio unidas mediante racores de poliamida, formando una estructura rígida que da soporte al sistema de saneamiento. Igualmente, el sistema de saneamiento está compuesto por tuberías y los racores que las unen, formando el circuito deseado.

Como ya se definió con anterioridad, todo módulo ServiceCore contiene un sistema de canalización de aguas. En nuestro caso, se ha procedido a la realización de un sistema distribuidor de aguas genérico, el cual pudiera ser válido tanto para conductos de desagüe como para conductos de canalización de agua fría y caliente sanitaria, la única diferencia estriba en el uso de un determinado material.

Como muestra general se va a llevar a cabo la construcción de dos diferentes ServiceCore que mostraran su utilidad. En cada uno de ellos habrá una configuración diferente de canalizado de aguas, y estarán diseñados para su posterior ensamblaje. Mediante el sistema de saneamiento se produce el suministro de agua y la bajada de las mismas.

En la siguiente figura podemos ver un ejemplo de sistema de saneamiento constituido por dos módulos de agua conectados, donde se pueden apreciar claramente los sistemas que lo componen:

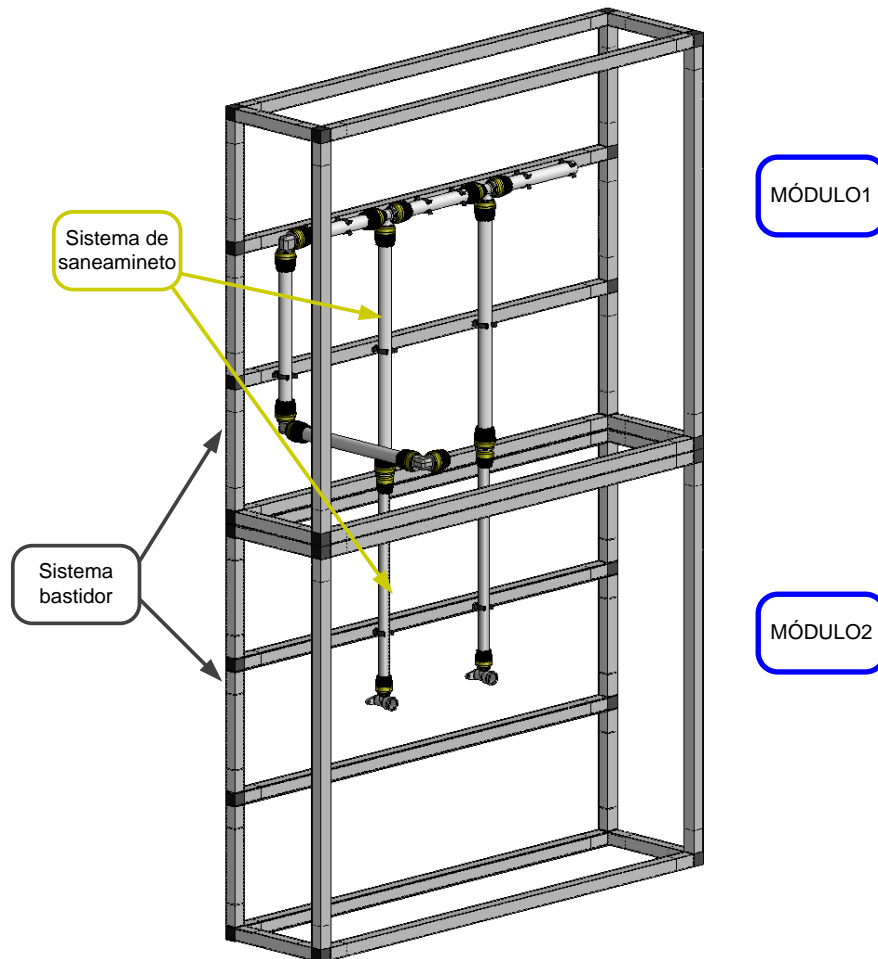


Figura IV.61: Ejemplo de sistema de saneamiento.

- **Bastidor:**

Como ya se ha comentado el bastidor es el elemento encargado de dar soporte al sistema de saneamiento, y está formado por barras y racores.

Los racores son los elementos encargados de unir las barras de las que está compuesto el bastidor. Se trata de racores de poliamida reforzada acabados en negro de ALU-STOCK [17]. El bastidor diseñado en este proyecto cuenta con dos tipos de estos racores: racores esquinera para la unión de tres barras formando una esquina; y racores “Te” para la unión de tres barras en el plano, mostrados en la siguiente figura:

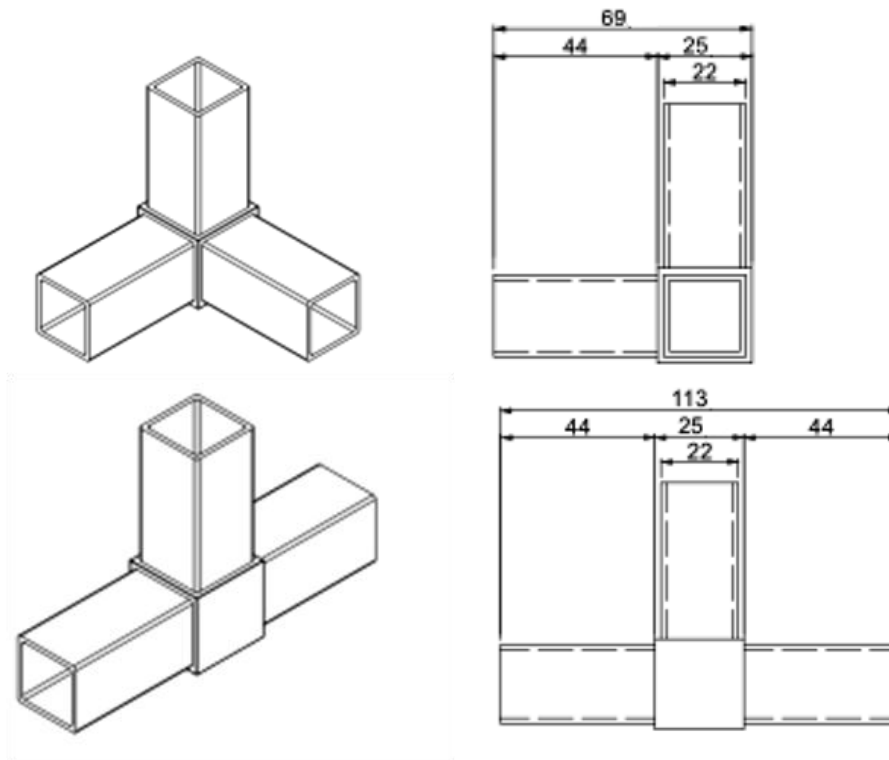
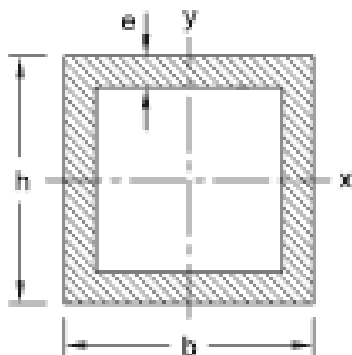


Figura IV.62: Racores bastidor.

Por otro lado, las barras consisten en perfiles regulares de aluminio extruido. Se venden en barras de 6050 mm, y su sección deja un espacio interior donde encaja a la perfección el racor correspondiente. Dicha sección es la siguiente:

Tabla IV.17: Sección barras bastidor.



$b \times h$ (mm <sup>2</sup> )	e (mm)	Peso (kg/m)
25 x 25	1.5	0.4

Figura IV.63: Sección barras bastidor.

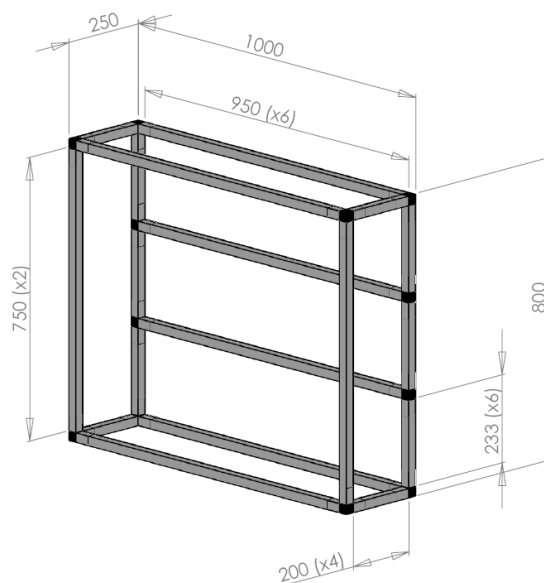


En la tabla siguiente vemos la lista de los materiales de los que está compuesto un bastidor:

**Tabla IV.18: Elementos del bastidor del módulo de aguas.**

ELEMENTO			
DESCRPCIÓN		CANTIDAD	NOMBRE
<b>Barras 25x25mm</b>	Horizontales largas (950mm)	x6	hl1 hl2 hl3 hl4 hl5 hl6
	Horizontales medianas (750mm)	x2	hm1 hm2
	Horizontales cortas (233mm)	x6	hc1 hc2 hc3 hc4 hc5 hc6
	Verticales (200mm)	x4	v1 v2 v3 v4
<b>Racores</b>	Esquinas	x8	e1 e2 e3 e4 e5 e6 e7 e8
	Tes	x4	t1 t2 t3 t4

El bastidor completo, tiene una estructura y unas medidas de 1000x800x250 mm<sup>3</sup>, tal y como se muestra en la siguiente imagen (dimensiones en mm):



**Figura IV.64: Medidas bastidor.**

- **Sistema de saneamiento:**

El material de saneamiento se ha obtenido de la marca comercial Blansol [18] y se puede dividir en dos tipos:

- *Tuberías*, son los cilindros huecos por donde circulará el líquido, siempre se trata de tramos rectos, por lo que para cambiar la dirección, sentido o magnitud en la que circula el fluido es necesario otros elementos. En el sistema se dispone de dos tipos de tubería:

- *Tubos de  $\Phi$  igual a 25mm*: Se trata de tubería rígida multicapa de PEX/Al/PEX, en las que, como su propio nombre indica, tanto la capa interior como la exterior están hechas de polietileno reticulado, mientras que la capa media está realizada por aluminio. De esta forma se le dota de rigidez a las canalizaciones. Este material, es el más adecuado para las tuberías multicapa en las que el material puede llegar a alcanzar altas temperaturas, hasta 95°C, como por ejemplo en la calefacción por radiadores. También se garantiza la compresión de la unión con racores a altas temperaturas, no existiendo riesgo de fugas.
- *Tubos de  $\Phi$  igual a 20mm*: Se trata de una tubería más flexible y deformable que la anterior. Esta realizada por material plástico de PP, Polipropileno. También tiene buenas características, pero inferiores a las de PEX Ta.



Figura IV.65: Tuberías.

• *Racores*: engloba cualquier elemento de bifurcación o unión de caudal, tal como puede ser, codos, té, llaves, codos terminales, elementos elevadores/reductores de caudal, etc.

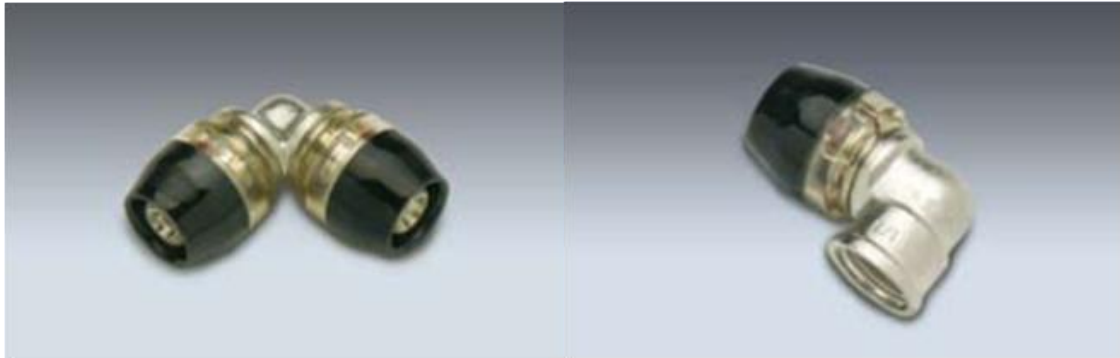


Figura IV.66: Racores saneamiento.

Los racores tienen un mecanismo para acoplarse a las tuberías bastante innovador, ya que no es necesario realizar ningún trabajo mecánico entre los elementos para ensamblarlos. Se trata del sistema IxPress que encaja perfectamente en la filosofía del proyecto, y la automatización de los procesos. Este sistema se denomina press-fitting al no ser necesario herramientas para su montaje como en los métodos tradicionales, lo que hace que también sea más seguro. Además proporciona una gran rentabilidad en otros aspectos, como rapidez de montaje, simplicidad de utilización o mayor fiabilidad. El sistema IxPress ya ha sido utilizado y probado en el mercado japonés, el más exigente en cuanto a seguridad de los accesorios, desde hace algunos años.

Físicamente, la tecnología del sistema se basa en su casquillo metálico de sujeción de la tubería, fabricado con un acero especial al que se le han aplicado unos tratamientos térmicos que le proporcionan un efecto de muelle. Esta tecnología proviene de la industria japonesa del automóvil. Tras hacer saltar el tope, al insertar la tubería, el casquillo de sujeción amarra la tubería con total seguridad, absorbiendo perfectamente las variaciones dimensionales que pudieran producirse en la tubería.

La propiedad clave del sistema de anillo de sujeción está en que su efecto muelle permite asegurar en todo momento la estanqueidad, gracias a que siempre estamos ejerciendo fuerza de apriete constante sobre la tubería, absorbiendo perfectamente la fluctuación en el diámetro que tienen las tuberías. El punto débil de todos los accesorios sin herramientas tipo push-fit, es como absorber las variaciones dimensionales que se dan en las tuberías.

En la práctica las tuberías nunca tienen las dimensiones nominales, bien por las tolerancias de fabricación que permiten las normas (hasta 3 decimas de tolerancia en el diámetro exterior y hasta otras 3 en el espesor) o por los cambios dimensionales que se producen en la tubería cuando el accesorio está trabajando a altas temperaturas. El casquillo de apriete del sistema ix-Press permite absorber dichos cambios dimensionales, garantizando en todo momento una fuerza de apriete constante y una seguridad total, ya que en los sistemas tradicionales las variaciones dimensionales en el tubo afectan a la fuerza de compresión y, por tanto, a la seguridad de la unión, corriendo un riesgo de fuga.

Como medida adicional de seguridad, el sistema dispone de un bicono que se clavaría sobre la superficie del tubo, en caso de que este tendiera a deslizarse hacia el exterior. Se usara tanto conectores para tubo de 25mm de diámetro como para tubo de 20mm de diámetro. La distancia de tubo que se introduce en el interior del racor será 25mm para tubo de 25mm de diámetro, y 22mm para tubo de 20 mm de diámetro.

En la siguiente figura se muestran los sistemas que lo componen:

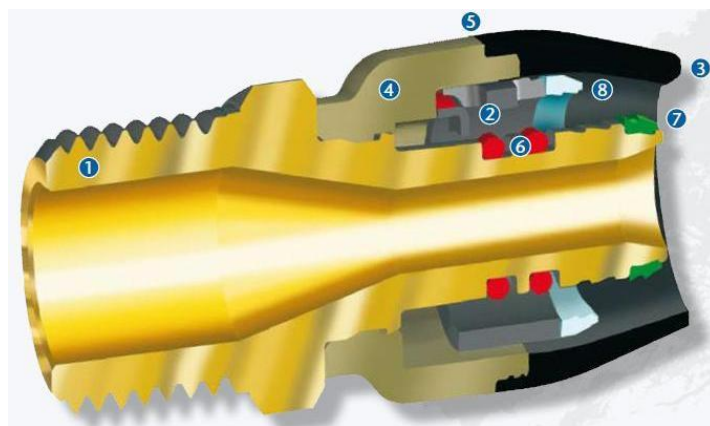


Figura IV.67: Sistema ix-Press

• *Elementos de fijación*: Son los encargados de fijar el saneamiento a la estructura del bastidor. Estos elementos deben cumplir los requisitos mínimos de automatización y flexibilidad que se le requieren al sistema, es decir deben producir sujeción sin el empleo de herramientas, ni para su colocación, ni a la hora de prender los elementos de canalizado de aguas. De esta forma se ha optado por un sistema de aprensión por presión del tubo sobre la abrazadera. Al estar realizadas por plástico rígido cederán de forma adecuada para ejercer presión sobre los elementos. Su instalación se basa en el mismo método, la abrazadera dispone de un macho anti-retroceso de plástico rígido, este al ser introducido en un agujero de dimensiones adecuadas queda incrustado. Para el montaje de ambos Service Core se utiliza abrazaderas para tubo de 20mm y 25mm de diámetro. A continuación se muestran las dimensiones y la utilidad:



Figura IV.68: Elementos de fijación

En la tabla siguiente vemos la lista de los materiales de los que está compuesto un bastidor:

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

Tabla IV.19: Elementos del sistema de saneamiento del módulo de aguas.

ELEMENTO			
DESCRIPCIÓN	LONGITUD/NOMBRE	CANTIDAD	NOMBRE
Tubos Φ 25mm	200 mm	x3	Tub200_1 Tub200_2 Tub200_3
	300 mm	x2	Tub300_1 Tub300_2
	450 mm	x2	Tub450_1 Tub450_2
Tubos Φ 20mm	400 mm	x2	Tub400_1 Tub400_2
Racores	Tés	x2	Te_1 Te_2
	Codos	x3	Codo_1 Codo_2 Codo_3 Codo_4
	Reductores	x2	Rdtr_1 Rdtr_2
	Codos terminales	x2	C_fin_1 C_fin_2
	Llave	x1	Llave
Abrazaderas	Para tubo de 25 mm	x9	Abraz_25_1....Abraz_25_9
	Para tubo de 20 mm	x4	Abraz_20_1....Abraz_20_4

Los diseños de los módulos Service-Core quedan de la siguiente forma:

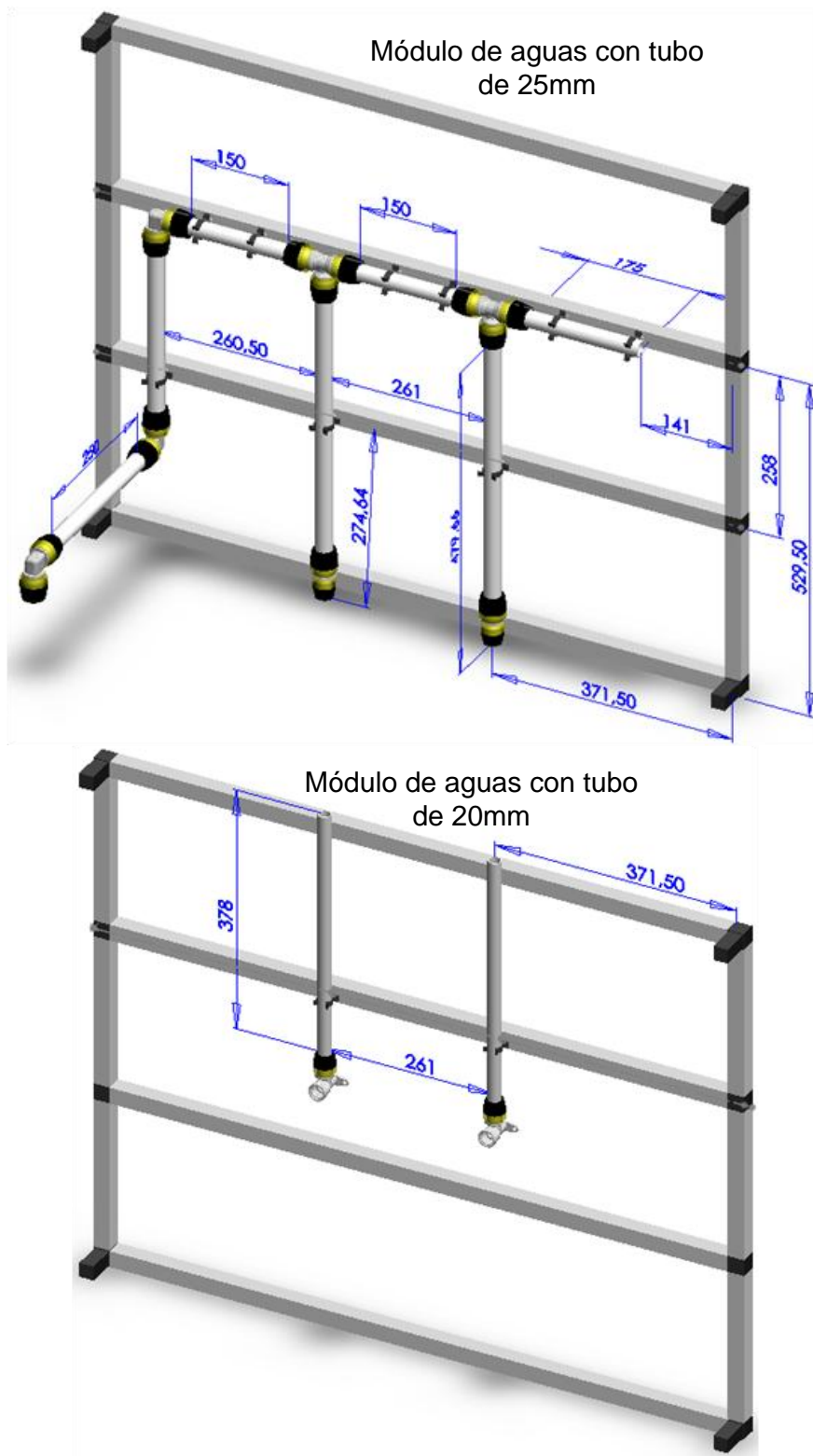


Figura IV.69: Ejemplos sistema de saneamiento.

#### 4.5.2 Mecanizado de baldosas.

Éste es el otro objetivo de la célula robotizada diseñada en este proyecto, el cual consiste en realizar diferentes mecanizados a baldosas.

Como ejemplo de aplicación se han realizado diversos cortes a baldosas cuadradas de polietileno de área 400x400 mm y de sección 6 mm. Hay que destacar que los cortes realizados son solamente para mostrar la flexibilidad que se ha logrado en la célula robotizada a la hora de realizar mecanizados en baldosas, pudiendo realizar casi cualquier corte que fuese necesario en la obra.

Los distintos cortes realizados se han dividido en dos grupos:

- **Mecanizado de piezas grandes:**

Consiste en el corte de cuatro piezas de puzle distintas, que cada una de ellas ocupa prácticamente la totalidad de la baldosa. Las cuatro piezas diseñadas se muestran en la siguiente figura, junto con un ejemplo de un puzle formado por nueve piezas:

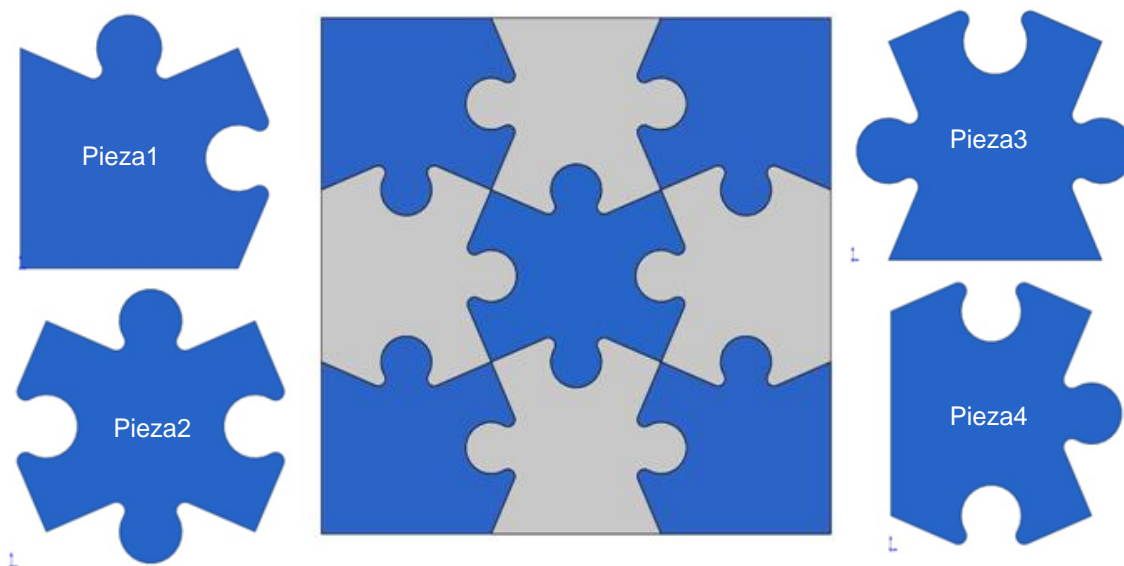


Figura IV.70: Mecanizado de piezas grandes.

:



- **Mecanizado de piezas pequeñas:**

Consiste en el corte de treinta piezas de puzle distintas, cuyo tamaño individual queda inscrito en un cuadrado de lado 200mm. Las piezas no tienen ninguna simetría en común. El objetivo inicial es el siguiente:

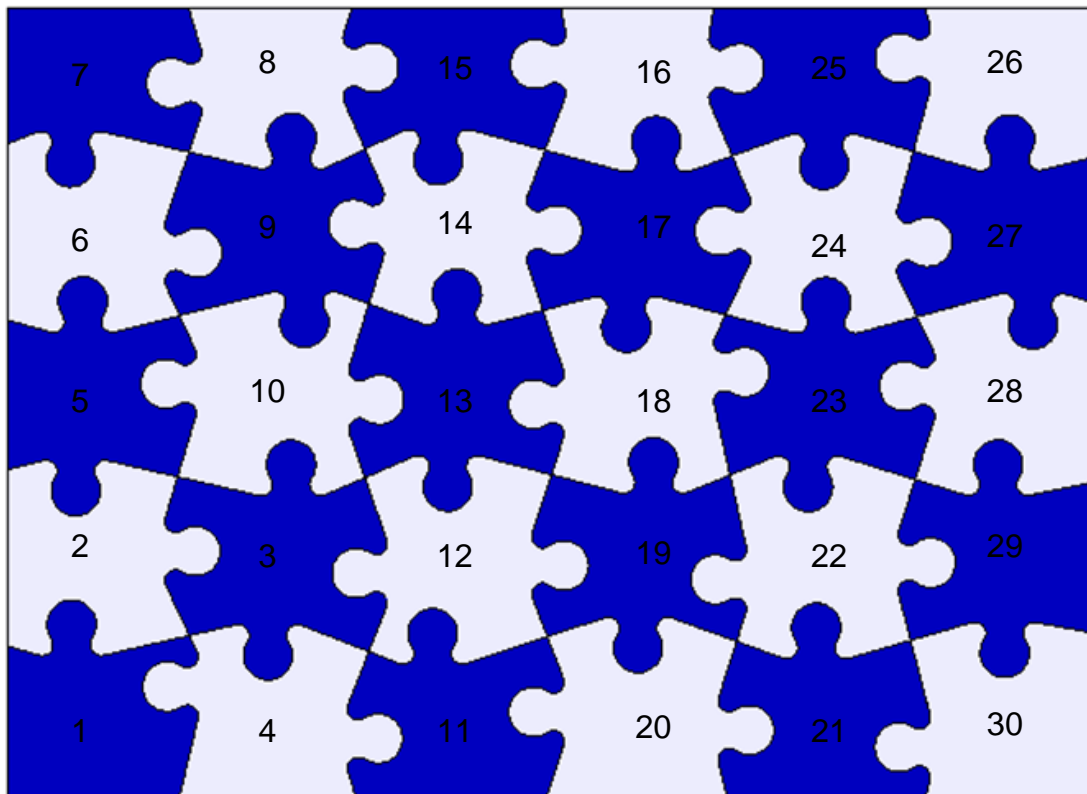


Figura IV.71: Mecanizado de piezas pequeñas.

En el capítulo de diseño software se hablara más en profundidad del diseño de las piezas en CAD para su posterior uso en el programa virtual del robot. El mecanizado del puzle en general se realizara por sectores, sacando de cada baldosa cuatro fichas individuales.



# V. DISEÑO DE LA CÉLULA ROBOTIZADA

## 5.1 Diseño hardware.

En este apartado se describirán todos los diseños físicos necesarios para la implementación de los distintos sistemas que componen las áreas descritas en el Capítulo III. Por tanto, este apartado se ha dividido en el diseño de los sistemas de cada área:

- Diseños de los sistemas del área del sistema robótico.
- Diseños de los sistemas del área de almacén.
- Diseños de los sistemas del área de trabajo.

Al comienzo del apartado para cada área, se enumerarán todos los diseños necesarios para su desarrollo completo, señalando los que están dentro del alcance de este Proyecto Fin de Carrera. El resto de diseños se encuentra en “*DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE ROBOTIZADA (II)*”

### 5.1.1 Diseño de los sistemas del área del sistema robótico.

Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, el área del sistema robótico está compuesta por el robot, las herramientas, el sistema de almacenaje de las mismas y el sistema de cambio de herramienta que hace posible que el robot pueda utilizarlas. Por tanto, los diseños realizados serán los necesarios para implementar dichos sistemas. A continuación se muestra una lista con todos los diseños realizados, destacando los que están dentro del alcance de este Proyecto Fin de Carrera:

- Diseño de la pinza mecánica.
- **Diseño de la garra neumática.**
- Diseño de la herramienta de mecanizado.
- **Diseños para la integración física del sistema de cambio de herramienta.**
- **Diseño del sistema de almacenaje de herramientas.**
- **Circuito neumático completo.**
- Circuito eléctrico completo.

### 5.1.1.1 Diseño de la garra neumática.

La garra neumática, como ya se ha comentado en capítulos anteriores, es la encargada de manipular el material por medio de la generación de vacío. En nuestra célula de fabricación flexible, es la herramienta encargada de manipular las baldosas desde su almacén hasta la zona de corte para que sean mecanizadas. Además de la generación de vacío para la manipulación de material, también es necesario que sople para la eliminación de la viruta producida por los mecanizados y una mejor liberación del material manipulado. La garra mostrada en la figura siguiente, a expensas de la integración con el sistema de cambio de herramienta, está formada por:

- Un sistema de vacío VGS3010.
- Un circuito electro-neumático para controlar sus funciones.
- Un bastidor para fijar los elementos.

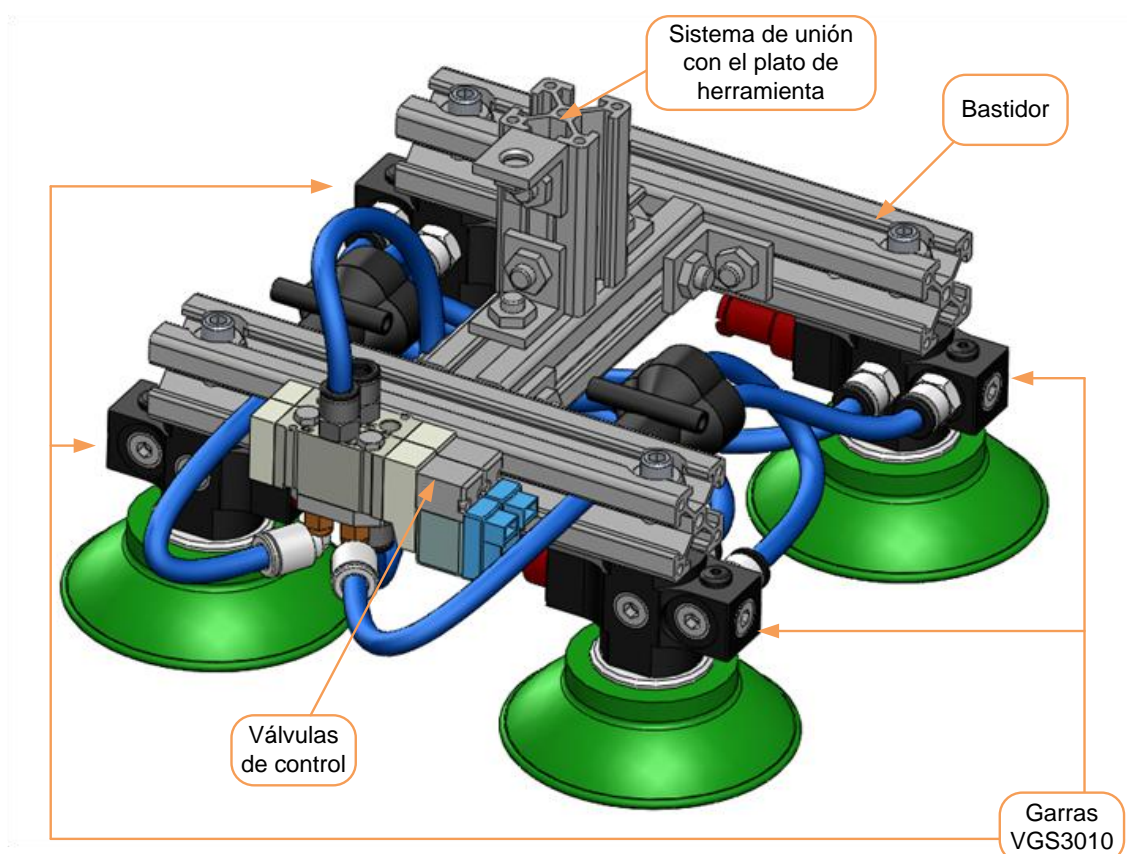


Figura V.1: Componentes garra neumática.

- **Sistema de vacío.**

El sistema de vacío de la garra neumática está basado en cuatro garras VGS3010 de la marca PIAB vistas en el Capítulo IV. En este apartado se va a realizar un cálculo teórico de la fuerza máxima de elevación (F) que poseen las cuatro garras en conjunto mediante un nivel de vacío (P). La relación matemática que nos permite calcularlo es:

$$P = \frac{F}{A_t} * t \quad (I)$$

Despejando la fuerza de la ecuación (I) se obtiene:

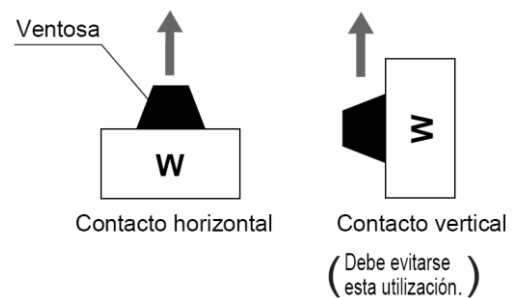
$$F = \frac{P * A_t}{t} = \frac{P * n * A}{t} = \frac{P * n * \frac{\pi * \phi_v^2}{4}}{t} \quad (II)$$

Donde:

- F: fuerza de elevación (N).
- P: nivel de vacío (Pa).
- A: área de una ventosa.
- A<sub>t</sub>: área total formada por las n ventosas.
- n: número de ventosas.
- Ø<sub>v</sub>: diámetro de una ventosa.
- t: factor de seguridad (Figura V.2):

Contacto horizontal: > 4

Contacto vertical: > 8



**Figura V.2: Factor de seguridad**

Lo primero, es por tanto, calcular dicho nivel de vacío (P) proporcionado por las garras. Como se comentó en el Capítulo IV, el elemento encargado de generar el vacío en las garras son los cartuchos Pi12-2. En la siguiente gráfica podemos ver el nivel de vacío generado para distintas presiones de alimentación.

### Vacío máximo Pi12-2/Pi12-3

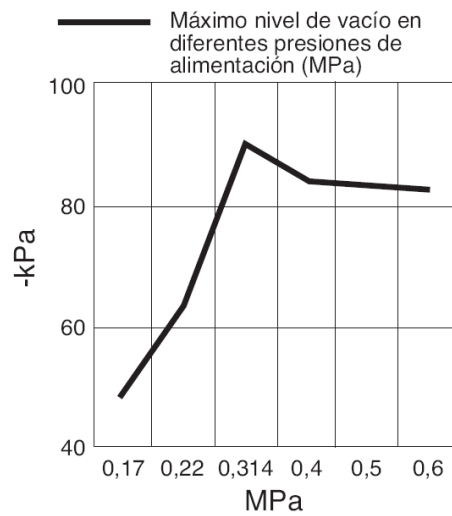


Figura V.3: Gráfica bomba de vacío.

La presión de funcionamiento normal estará entorno a los 0.6 MPa. Los cartuchos a esta presión de alimentación, proporcionan un nivel de vacío aproximado de 80 kPa.

Como el diámetro de cada una de las cuatro ventosas es de 75 mm, y el sistema trabajará con contacto horizontal ( $t=4$ ), sustituyendo todos los valores en (II) obtenemos:

$$F = \frac{P * n * \frac{\pi * \phi_v^2}{4}}{t} \sim 353.42 \text{ N}$$

De donde se obtiene el peso máximo que la garra diseñada puede soportar:

$$M = \frac{F}{g} \sim 36 \text{ Kg}$$

Cabe destacar que estos resultados obtenidos de fuerza máxima de elevación y peso máximo admitido, como hemos visto, han sido realizados con un factor de seguridad. Esto quiere decir, que la garra soporta más peso del calculado, siendo recomendado no superarlo, y si es inevitable, hacerlo en periodos cortos de tiempo y a velocidades del robot muy reducidas.

- **Circuito electro-neumático.**

Como ya se ha comentado, la garra debe cumplir dos funciones: soplado y vacío. Además de éstas, se añade una función de reposo, para que la garra no esté trabajando continuamente. Por tanto, como son necesarios tres estados distintos, la garra neumática requiere dos electroválvulas con dos posiciones controladas por dos salidas digitales del robot. El circuito neumático se muestra en la siguiente figura:

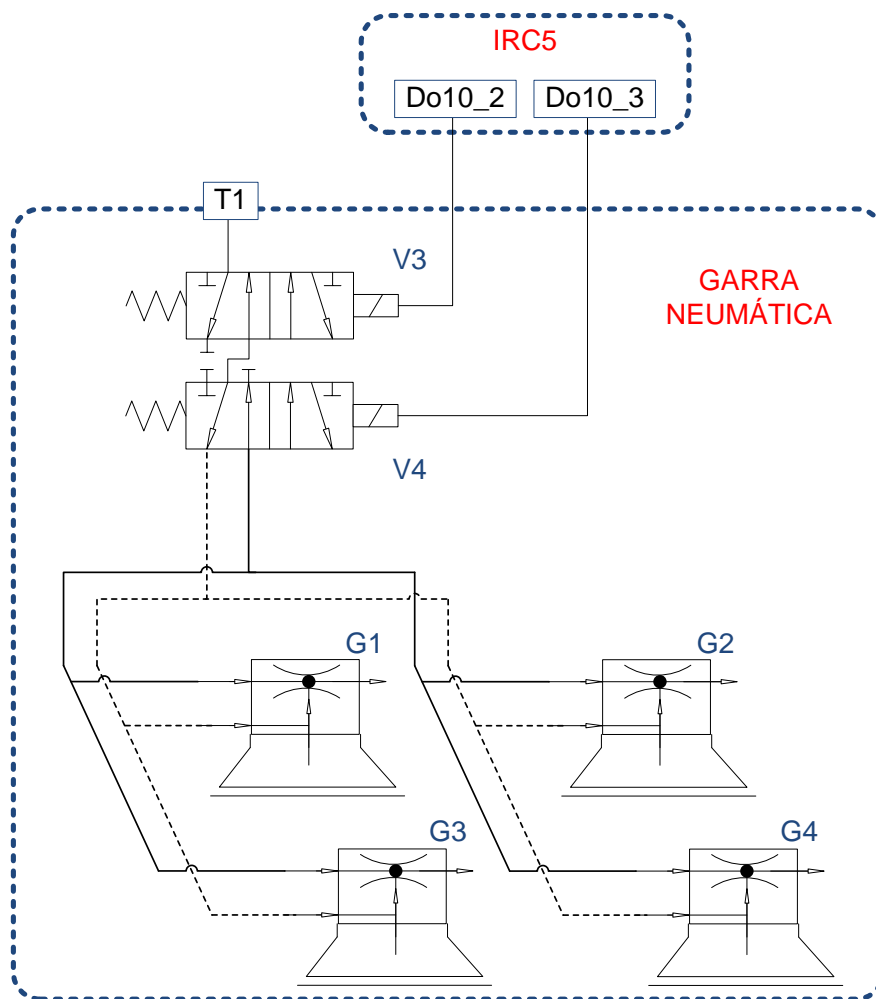


Figura V.4: Circuito neumático de la garra.

- T1: Suministro de aire comprimido a la herramienta.
- V3, V4: Válvulas 5/2 con accionamiento eléctrico.
- Do10\_2, Do10\_3: Salidas digitales del robot.
- G1, G2, G3, G4: Garras VGS3010.

Como se verá en el apartado del circuito neumático completo de esta área, cuando el robot acopla una herramienta suministra aire comprimido por el conector T1. Las tres funciones que debe realizar la garra se logran mediante dos electro-válvulas en cascada como se muestra en el circuito. La electro-válvula V3 es la que proporciona la función de reposo evitando que la presión llegue a la siguiente válvula cuando Do10\_2 es igual a “0”. De lo contrario, si Do10\_2 vale “1”, con V4 seleccionamos entre el soplado y el vacío. Si Do10\_3 vale “0”, la presión va por las líneas punteadas, dirigiéndose directamente a las ventosas. Si do10\_3 vale “1”, lo hace por la línea continua pasando por la estrangulación que genera el vacío en la ventosa. Nótese en el circuito, que V4 tiene dos de las tres entradas taponadas. De lo contrario no se lograría el vacío y el soplado sería menos intenso.

Las funciones que realiza la garra neumática dependiendo de los valores de las señales digitales del robot se resumen en la tabla siguiente:

**Tabla V.1: Funciones de la garra neumática.**

Salidas digitales		Función
Do10_2	Do10_3	
0	x	Ninguna
1	0	Soplado
1	1	Vacío

- **Diseño del bastidor.**

El bastidor de la garra es el elemento que da soporte a los elementos del circuito, posiciona las ventosas y sirve de unión con el plato correspondiente del sistema de cambio de herramienta. Está constituido por barras de perfil extruido de 25x25mm de longitudes mostradas en el plano correspondiente en el apartado 9.1 Planos. en los anexos.

En la Figura V.1 podemos observar cuatro taladros realizados para la fijación de las garras (una en cada esquina del bastidor). Además, la parte superior de la barra vertical es por donde se conecta el bastidor con su brida y con su plato de herramienta correspondiente.



### 5.1.1.2 Diseños para la integración del sistema de cambio de herramienta.

Este apartado describe los diseños necesarios para la integración física del sistema de cambio automático de herramienta tanto con el robot como con las herramientas. Dicho sistema, como ya se comentó en el Capítulo IV, consiste en un modelo SWS-071 de la marca SCHUNK formado por dos platos que se unen mediante un mecanismo mecánico accionado por un sistema neumático.

La integración física de dicho sistema, se ha llevado a cabo mediante el diseño de bridas de unión entre los distintos sistemas a unir. Como la célula cuenta con un robot y se han diseñado tres herramientas, es necesario el diseño de las cuatro bridas siguientes:

- Brida robot.
- Brida pinza mecánica.
- Brida garra neumática
- Brida herramienta de mecanizado.

Las bridas son los elementos encargados tanto de unir físicamente como de posicionar los dos sistemas unidos. Las tres últimas bridas, las de las herramientas, además de las funciones antes mencionadas de unir y posicionar, poseen un registro que posiciona de manera única la herramienta en su almacén. El diseño de cada brida, está sujeto a las especificaciones mecánicas de los sistemas a unir. A continuación se explica el diseño de cada brida, encontrándose sus planos en el anexo en el apartado 9.1 Planos.:

- **Brida robot.**

Es la encargada de la unión entre el plato maestro del sistema de cambio de herramienta y la muñeca del robot. Por tanto es necesario conocer las especificaciones mecánicas de ambos sistemas:

**Especificaciones de la muñeca del Robot:**

Cuenta con seis orificios roscados de métrica seis distribuidos a lo largo de una circunferencia de diámetro 50 mm para la fijación, y con dos registros para el posicionamiento consistentes en una circunferencia interior de diámetro 31.5 mm y una fija de diámetro 6 mm tal como se muestra en la siguiente figura (dimensiones en mm):

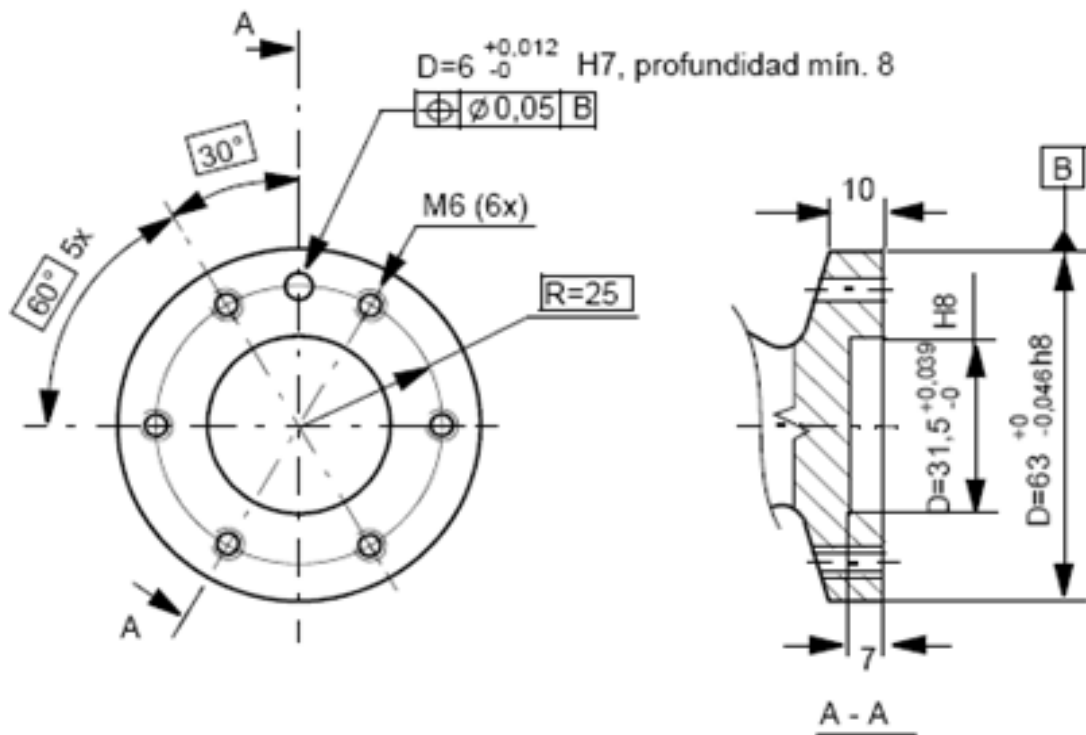


Figura V.5: Especificaciones de la muñeca del robot.

**Especificaciones del plato maestro:**

Cuenta con seis orificios pasantes de 6 mm de diámetro distribuidos a lo largo de una circunferencia de diámetro 86 mm para la fijación, y con tres registros para el posicionamiento consistentes en una circunferencia exterior de diámetro 100 mm y dos fijas de diámetro 6 mm tal como se muestra en la siguiente figura (dimensiones en mm):

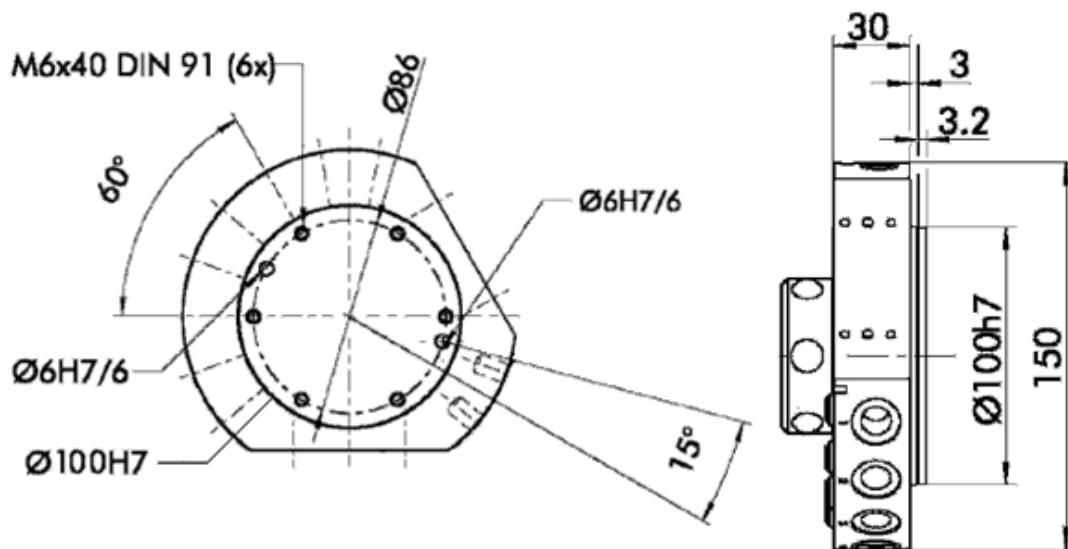


Figura V.6: Especificaciones 1 del plato maestro.

Además de estas especificaciones, el plato maestro cuenta con otra: el único contacto entre la brida y el plato maestro, debe ser la superficie interior al diámetro de 100 mm del plato maestro, tal y como se indica en la siguiente figura:

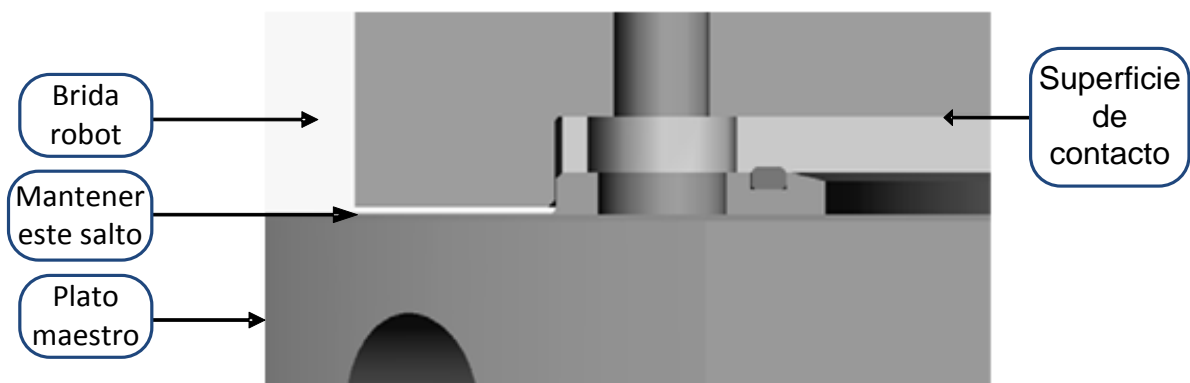


Figura V.7: Especificaciones 2 del plato maestro

Una vez descritas las especificaciones de los dos sistemas a unir, en la figura siguiente se muestra el diseño de la brida:

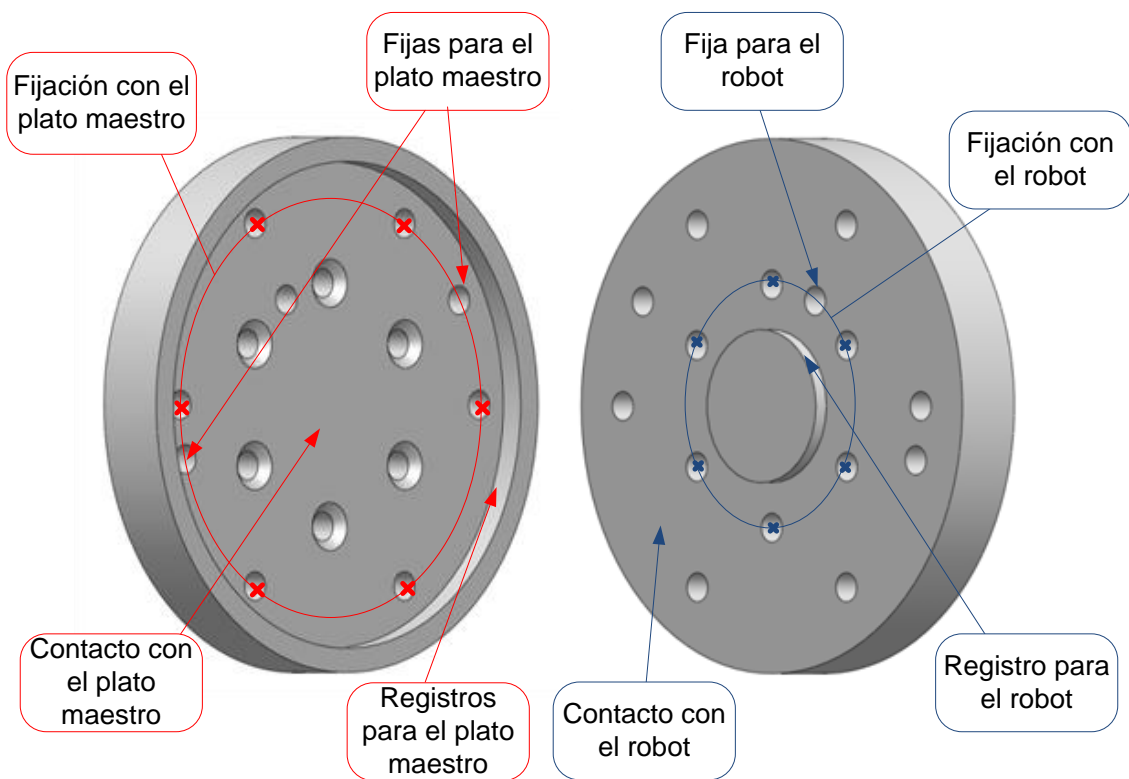


Figura V.8: Brida robot.

Para la fijación con el robot, se han realizado los orificios interiores pasantes ya que la rosca se encuentra en la muñeca del robot. Han sido avellanados para alojar las cabezas de los tornillos correspondientes, ya que sobre esa cara se debe apoyar el plato maestro como se vio en sus especificaciones. Para el posicionamiento se ha realizado un orificio pasante para la fija y el registro que encaja en la muñeca del robot.

Para la fijación con el plato maestro se han realizado los orificios exteriores roscados ya que en este caso es el plato el que los tiene pasantes. Para el posicionamiento se han realizado dos orificios pasantes para las fijas y el registro donde encaja y apoya el plato maestro.

La posición relativa que adopta el plato maestro con respecto a la muñeca del robot está impuesta por la brida diseñada. El montaje se realiza acoplando la brida al robot y después el plato maestro a la brida. En la siguiente figura podemos ver el despiece del ensamblaje y la posición relativa entre ambos sistemas:

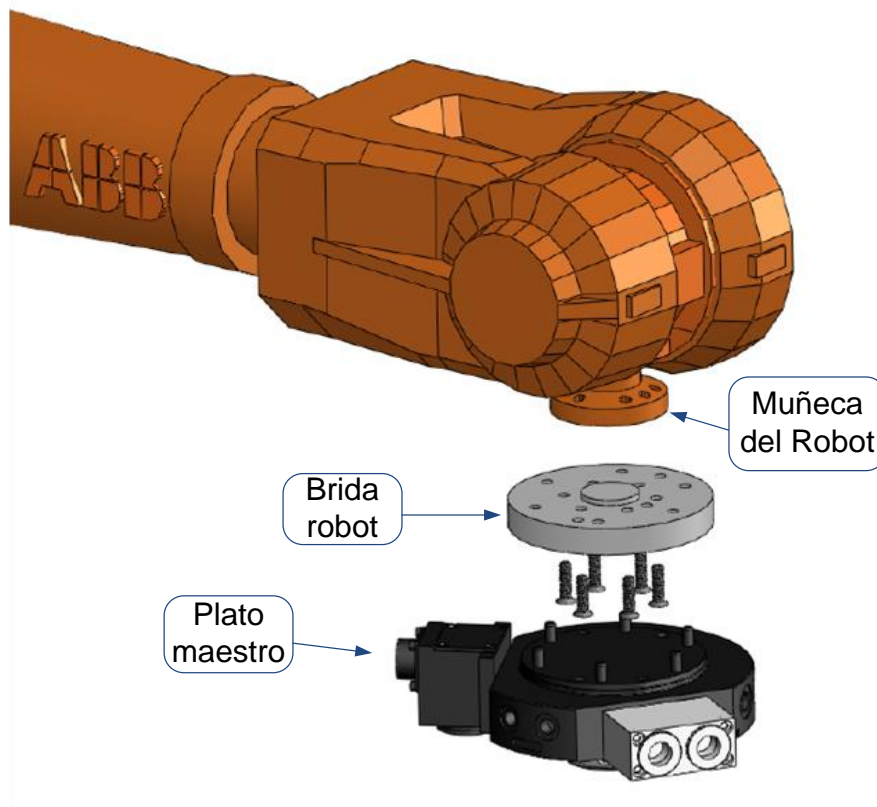


Figura V.9: Ensamblaje brida robot.

- **Brida pinza.**

Esta brida es la encargada de la unión entre la pinza MHQG2-40D de SMC y su plato de herramienta correspondiente, A continuación se detallan las especificaciones de dichos sistemas:

***Especificaciones del plato de herramienta:***

El plato de herramienta cuenta con seis orificios roscados métrica ocho distribuidos a lo largo de una circunferencia de diámetro 80mm para su fijación. Además el plato de herramienta consta de tres registros para su posicionamiento. Dichos registros consisten en una circunferencia interior de diámetro 50 mm y una fija de diámetro 8 mm. Todo esto se observa en la figura siguiente (dimensiones en mm):

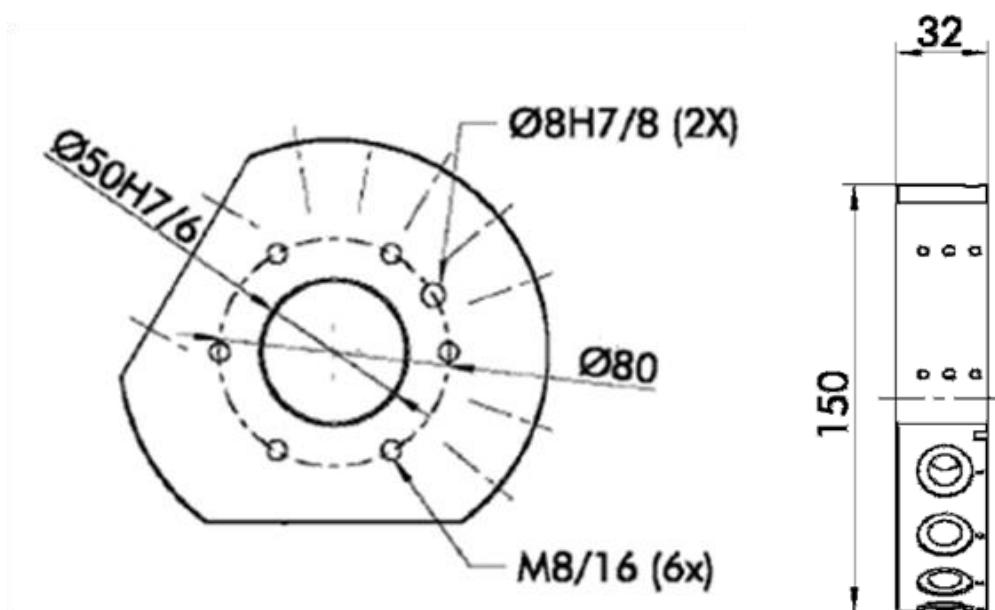


Figura V.10: Especificaciones plato de herramienta.

Estas especificaciones serán las mismas para las tres bridas de herramientas, por tanto en los dos apartados correspondientes con las otras dos herramientas no se describirán.

#### *Especificaciones de la pinza MHQG2-40D:*

La pinza cuenta con dos orificios roscados métrica ocho para la fijación, y con un registro para su posicionamiento consistente en una circunferencia interior de diámetro 42 mm tal como se muestra en la figura (dimensiones en mm):

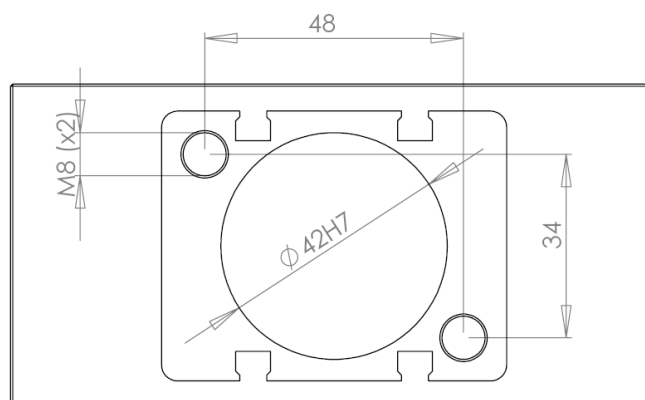


Figura V.11: Especificaciones pinza.

Como se comento con anterioridad, además de unir y posicionar la pinza con su plato correspondiente, esta brida tiene unos registros para posicionar la herramienta en el almacén. El ensamblaje del registro con la brida diseñada se muestra en la siguiente figura:

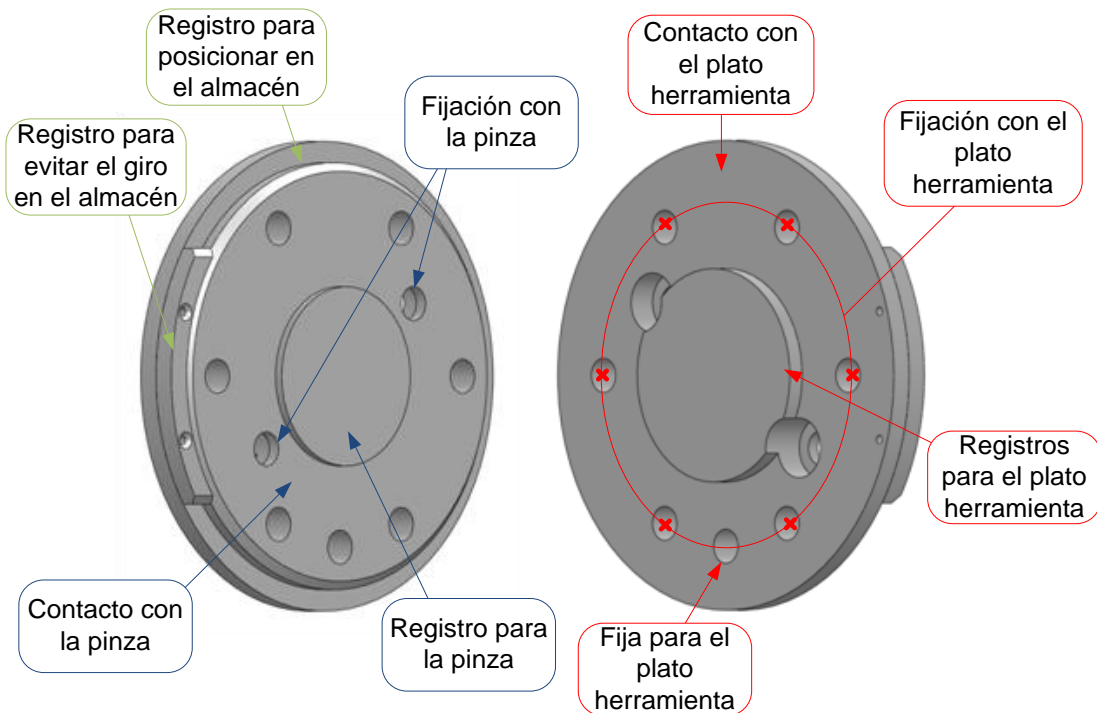


Figura V.12: Brida pinza.

Debido a que en los dos sistemas a unir tenemos orificios roscados, esta brida contará con todos sus orificios pasantes. Los exteriores, corresponden con la unión con el plato de herramienta, mientras que los dos interiores, corresponden con la unión con la pinza. Se puede observar que se ha realizado un avellanado para alojar las cabezas de los tornillos que unen la brida a la pinza.

Para el posicionamiento de la pinza, la brida cuenta con un registro que encaja en ella, mientras que para el posicionamiento del plato de herramienta se ha realizado un registro que encaja en el plato y un orificio para la fija correspondiente.

Los registros para el posicionamiento en el almacén consisten en un registro realizado sobre la brida que posiciona la herramienta en el hueco correspondiente y una pieza que se monta sobre la brida mediante dos tornillos de métrica dos, que evita que la

herramienta gire en su posición en el almacén como se verá en el diseño del sistema de almacenaje de herramientas.

El ensamblaje de la pinza y el plato de herramienta se realiza uniendo primero la brida a la pinza, y después el plato de herramienta. En la siguiente imagen se observa un despiece de dicho ensamblaje, donde también se puede apreciar la posición relativa del plato con respecto a la pinza:

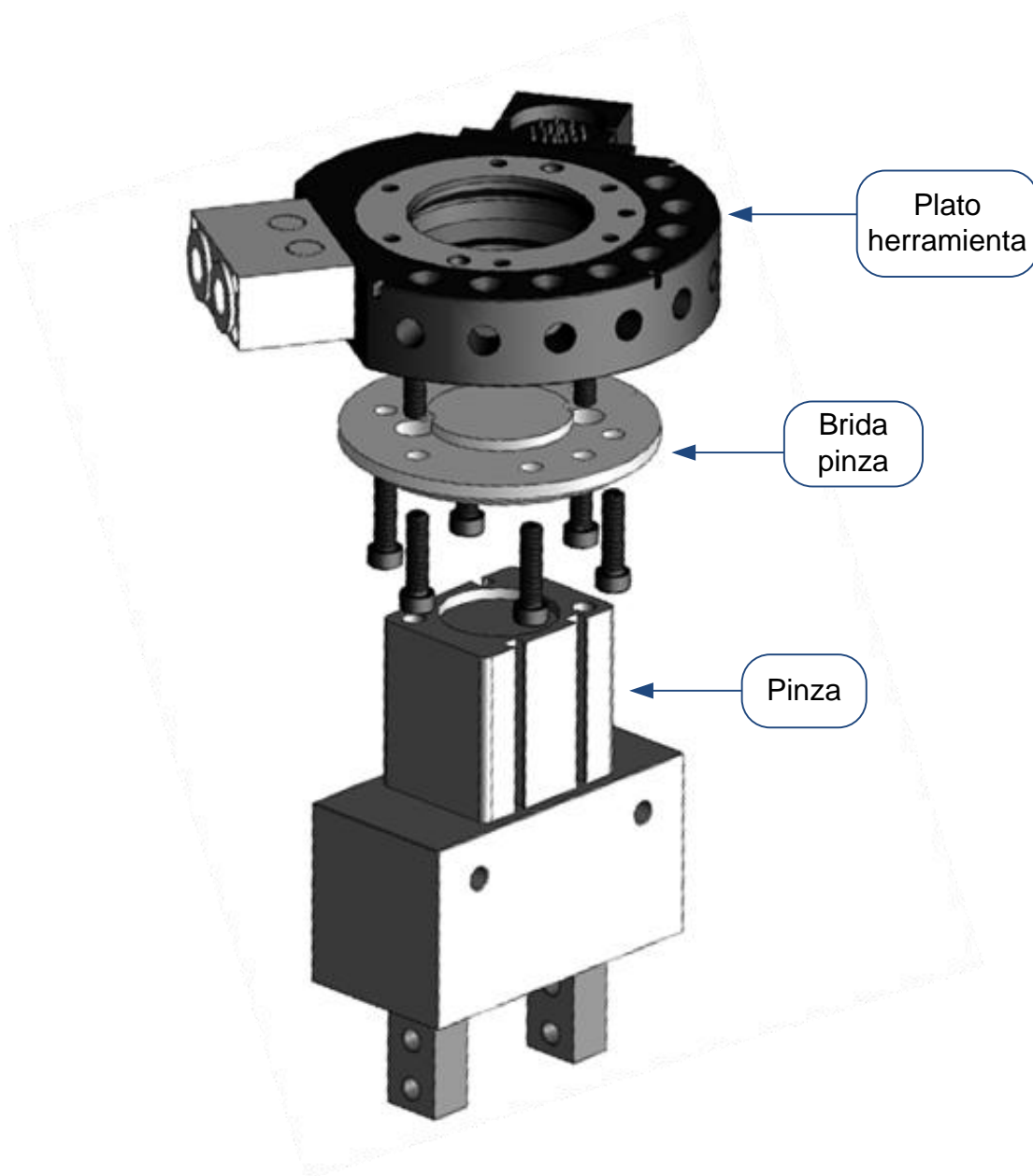


Figura V.13: Ensamblaje brida pinza.

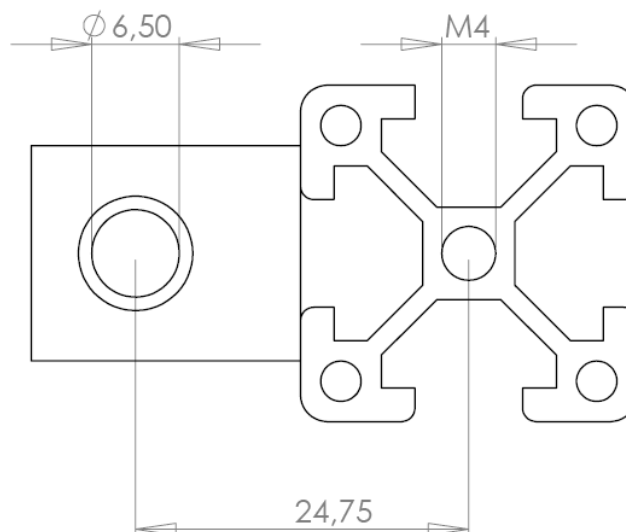


○ **Brida garra neumática.**

Esta brida es la encargada de unir la garra neumática con su plato de herramienta correspondiente, por tanto, su diseño estará restringido por las especificaciones mecánicas de dichos sistemas. Las especificaciones del plato de herramienta ya se detallaron en el apartado anterior, y las de la garra son las siguientes:

***Especificaciones de la garra neumática:***

El bastidor de la garra neumática, como se vio en el apartado correspondiente de diseño, cuenta con un orificio roscado de métrica cuatro para la fijación, y con un registro para el posicionamiento consistente en una fija tal como se muestra en la siguiente figura (dimensiones en mm):



**Figura V.14: Especificaciones garra.**

Al igual que la brida anterior, además de unir y posicionar la garra con su plato correspondiente, esta brida tiene unos registros para posicionar la herramienta en el almacén. El ensamblaje del registro con la brida diseñada se muestra en la siguiente figura:

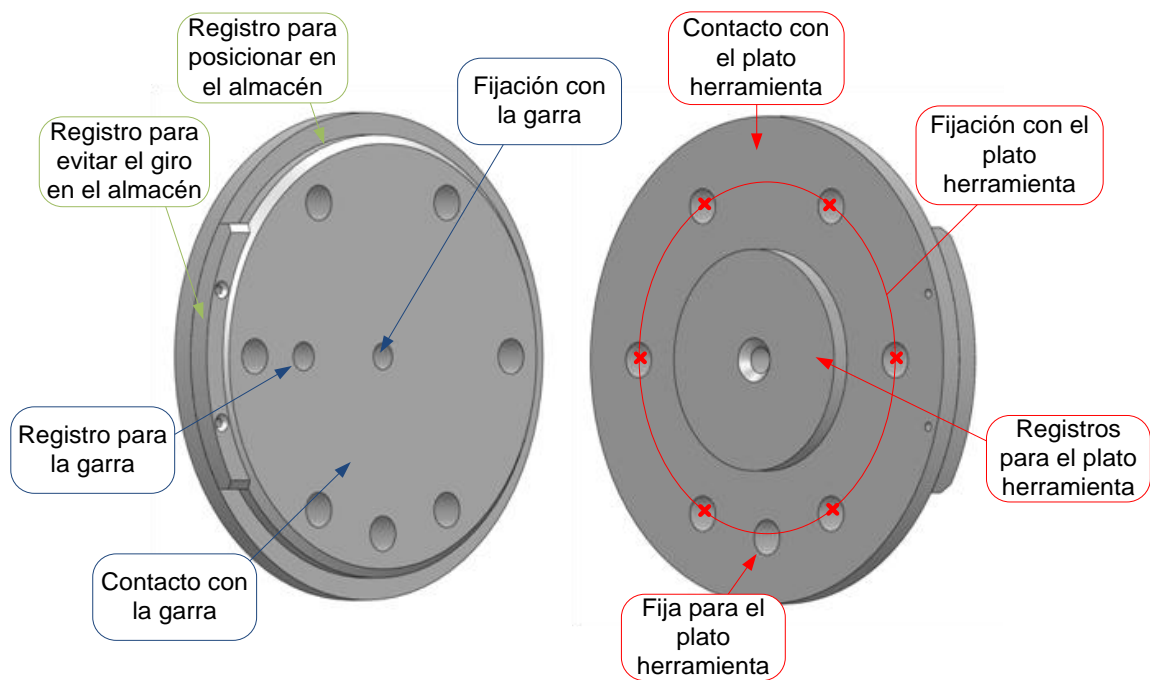


Figura V.15: Brida garra.

Si comparamos esta brida con la brida de la pinza, podemos observar que son semejantes en todo menos en lo que a la unión con la herramienta se refiere. Esto se debe a motivos de simplicidad a la hora del diseño y de la fabricación. Esta semejanza, incluye los registros para el posicionamiento en el almacén. Lo único en lo que se diferencian es en los orificios pasantes interiores tanto para la fijación como para el posicionamiento del bastidor de la garra.

En el ensamblaje de la garra y el plato de herramienta es indiferente el orden en el que se realice. En la siguiente imagen se observa el despiece de dicho ensamblaje, además de la posición relativa del plato con respecto a la garra:

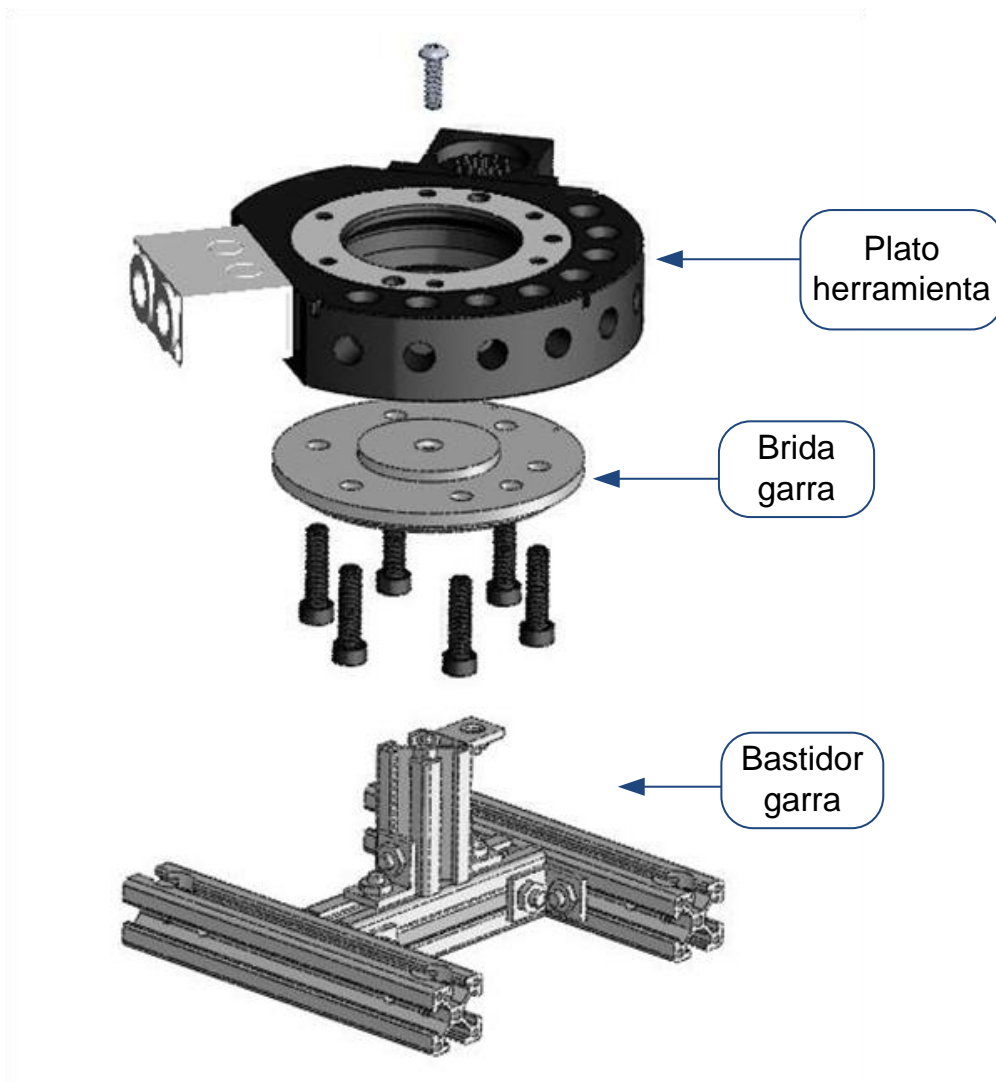


Figura V.16: Ensamblaje brida garra.

- **Brida herramienta de mecanizado.**

Esta cuarta y última brida es la que une la herramienta de mecanizado con su plato de herramienta correspondiente. Como en el resto de los casos, su diseño estará restringido por las especificaciones mecánicas de dichos sistemas. Las especificaciones del plato de herramienta ya están detalladas, y las de la herramienta de mecanizado son las siguientes:

***Especificaciones de la herramienta de mecanizado:***

El elemento de la herramienta de mecanizado que la une al plato de herramienta correspondiente mediante la brida diseñada, es el sensor ADF-71 de PUSHCORP. Dicho sensor posee cuatro orificios pasantes de diámetro ocho para la fijación, además de dos registros para el posicionamiento consistentes en dos fijas tal y como se muestra en la figura:

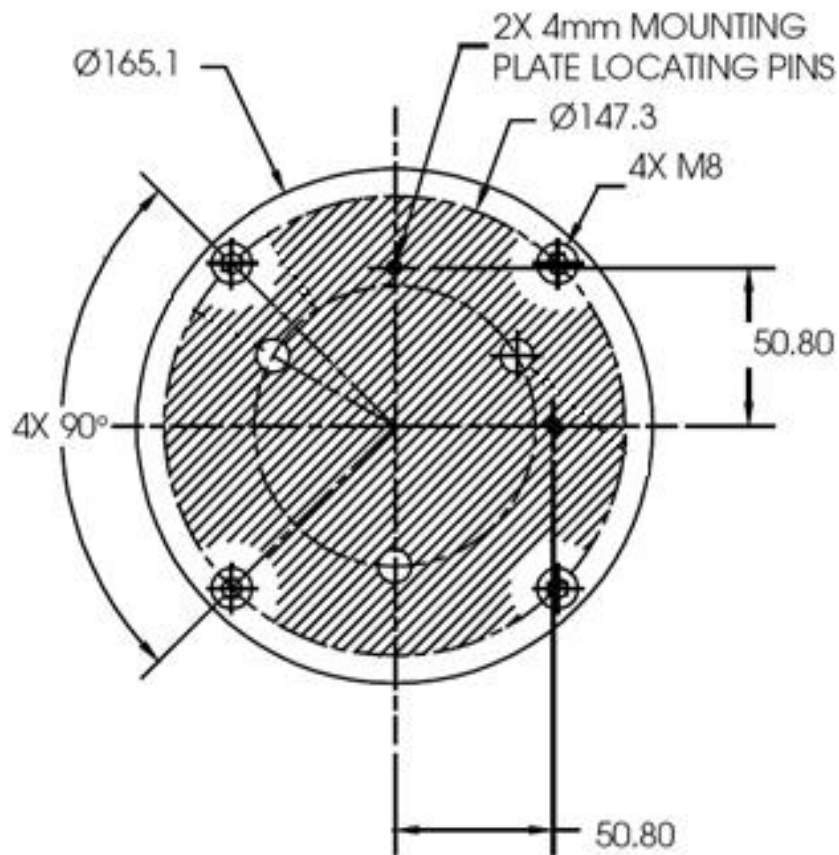


Figura V.17: Especificaciones herramienta de mecanizado.

Una vez más, además de unir y posicionar la herramienta de mecanizado con su plato correspondiente, esta brida tiene unos registros para posicionar la herramienta en el almacén. El ensamblaje del registro con la brida diseñada se muestra en la siguiente figura:

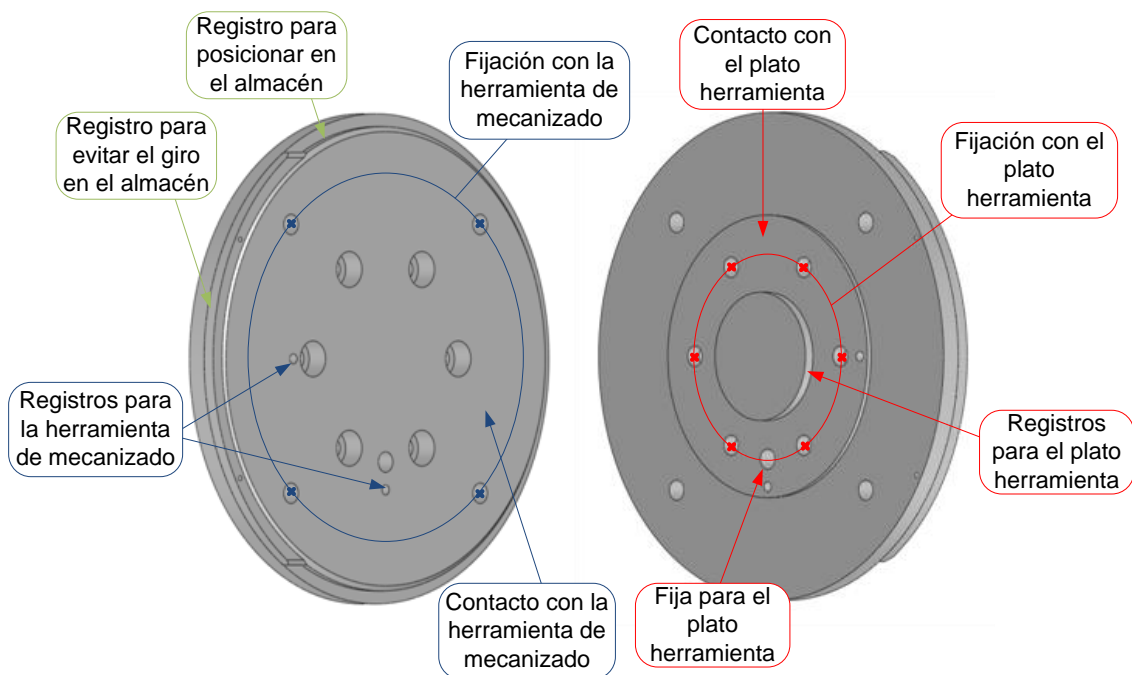


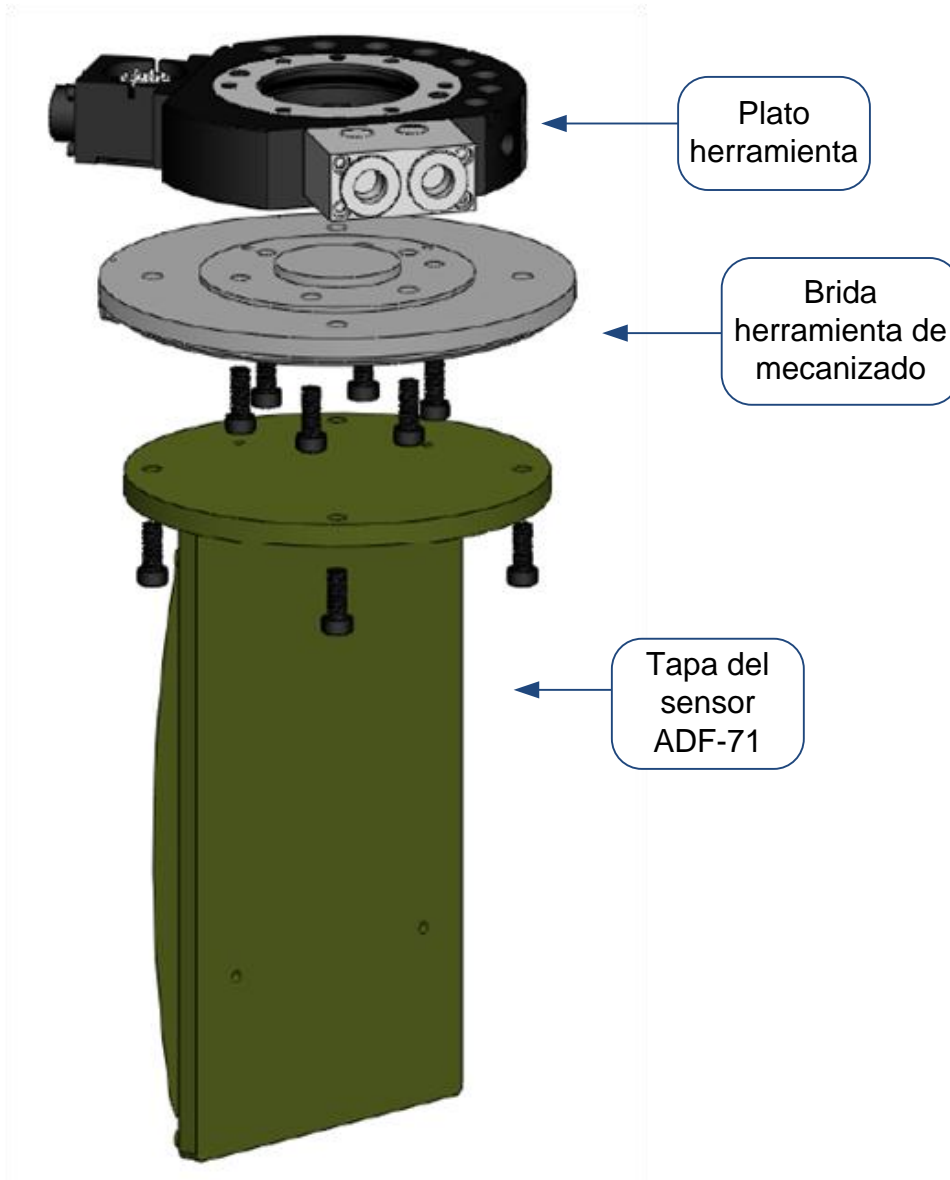
Figura V.18: Brida herramienta de mecanizado.

Todo lo que a la unión con el plato de herramienta se refiere es igual que en los casos anteriores.

Por otro lado, para la fijación de la herramienta de mecanizado la brida cuenta con los cuatro orificios roscados exteriores y para su posicionamiento cuenta con dos orificios para las dos fijas correspondientes.

Los registros para el posicionamiento en el almacén, al igual que en los casos anteriores, consisten en un registro realizado sobre la brida que posiciona la herramienta en el hueco correspondiente y una pieza que se monta sobre la brida mediante dos tornillos de métrica dos, que evita que la herramienta gire en su posición en el almacén como se verá en el diseño del sistema de almacenaje de herramientas. Este último registro es diferente al diseñado para las otras dos bridas de herramientas debido a que esta brida es más grande tanto en diámetro como en altura, ya que la herramienta es mucho más grande y pesada que las anteriores.

Para realizar el ensamblaje de la herramienta de mecanizado con su plato de herramienta correspondiente, primero se ensambla la brida al plato, y después, la tapa del sensor previamente desmontada a la brida. En la siguiente figura podemos ver el despiece del ensamblaje del elemento de unión de la herramienta de mecanizado y el plato de herramienta:



**Figura V.19: Ensamblaje brida herramienta de mecanizado.**

Una vez realizado este ensamblaje se procede a montar el resto de la herramienta de mecanizado.

### 5.1.1.3 Diseño del sistema de almacenaje de herramientas.

La mesa de herramientas es el lugar donde se depositan las herramientas cuando el robot no las está utilizando. Consiste en una estructura de perfil extruido que da soporte a una plancha metálica donde las herramientas quedan colgadas verticalmente de modo que la gravedad ayude a desacoplar el sistema. En la siguiente figura se muestra dicho sistema de almacenaje cuyos planos se encuentran en el anexo en el apartado 9.1 Planos.:

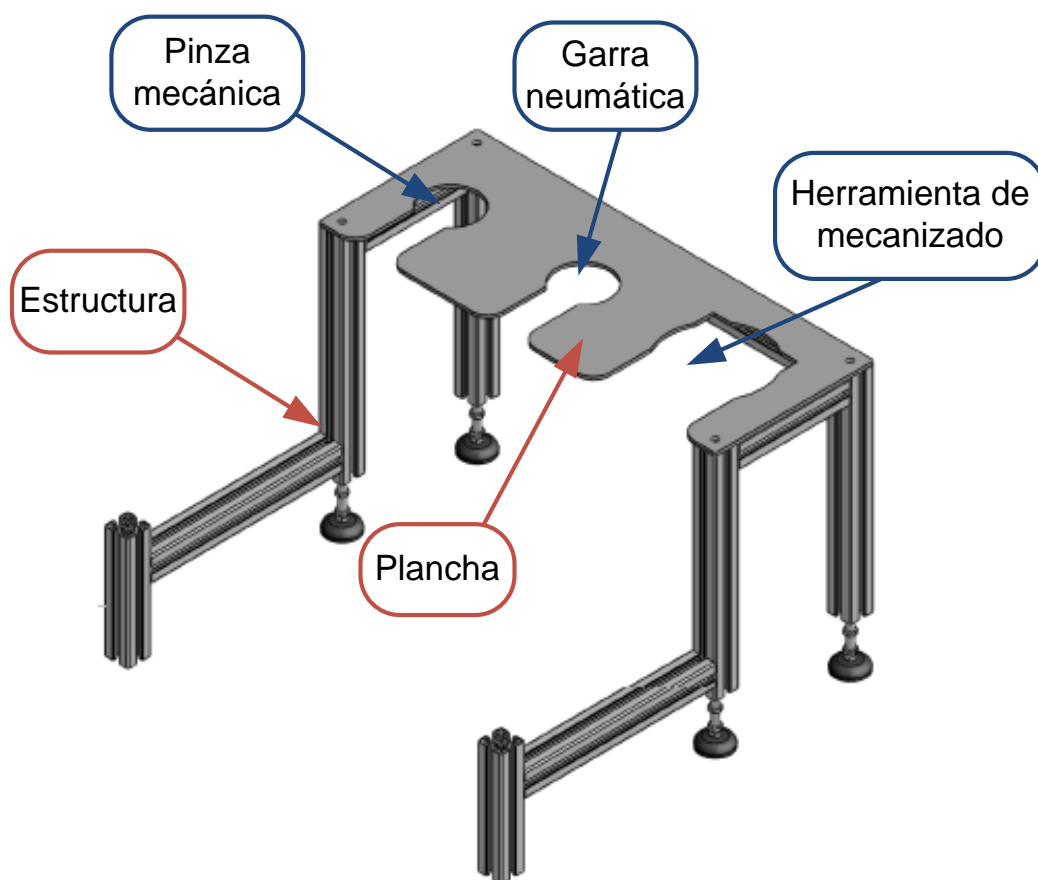


Figura V.20: Sistema de almacenaje.

El método almacenaje de las tres herramientas es similar. Consiste en un orificio circular donde encaja la brida de la herramienta correspondiente y una ranura por donde el robot introduce y extrae la herramienta del almacén.

El orificio de la izquierda y el central, correspondientes con la pinza mecánica y la garra neumática respectivamente, son idénticos debido a que las bridas de ambas

herramientas se diseñaron iguales en lo que al contacto con la mesa se refiere. No obstante, sus posiciones no son intercambiables ya que la garra neumática chocaría con la estructura del almacén si se colocara en la posición de la pinza.

Como se vio en el apartado anterior, la brida diseñada para cada herramienta tiene dos registros que hace que la herramienta permanezca inmóvil en su lugar. En la siguiente figura podemos observar como las tres bridas encajan tanto en los orificios como en las ranuras de la plancha fijando la herramienta en su posición:

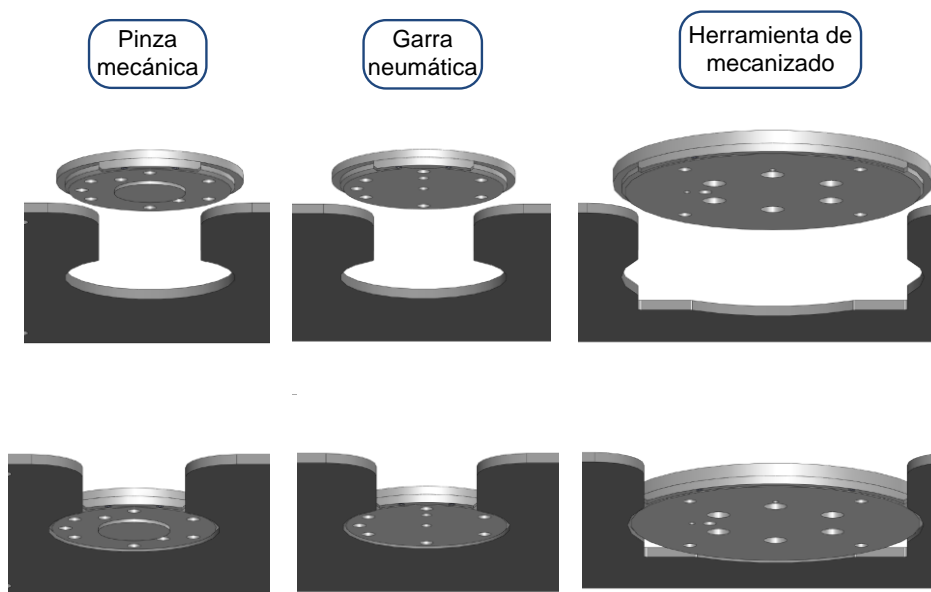


Figura V.21: Posicionamiento de las bridas en el almacén.

Una vez diseñado el almacén de herramientas hay que situarlo dentro de la célula de fabricación flexible robotizada. Mediante los elementos de unión con los que cuenta la estructura, fijamos la mesa a la base del robot, dejando la mesa de herramientas a una distancia fija de la base de coordenadas del robot. Dicha distancia, la cual se muestra en la siguiente figura medida desde el sistema de coordenadas del robot hasta un vértice de la mesa, nos servirá más adelante para definir los puntos a los que el robot debe dirigirse para acoplar y desacoplar las herramientas:



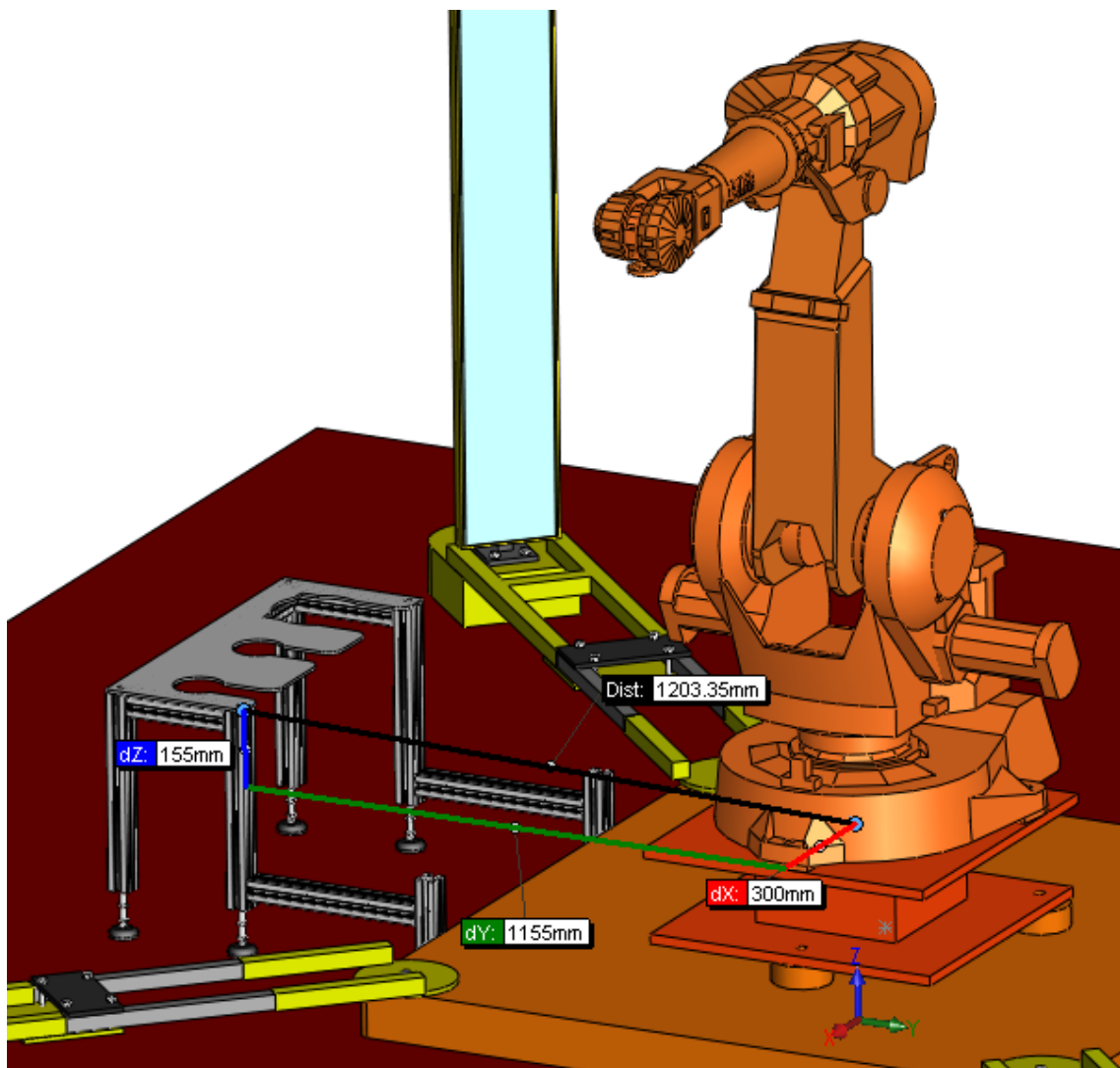


Figura V.22: Colocación Sistema de almacenaje de herramientas.

Hay que destacar que la altura total de la mesa con respecto al suelo (distancia en Z) es igual a la distancia en Z de 155 mm desde la base de coordenadas del robot hasta la mesa más la altura de la base del robot hasta el suelo de 345 mm, por tanto es igual a 500 mm. No obstante, esta altura deberá ser regulable para realizar pequeños ajustes para una mejor puesta en marcha del sistema.

#### 5.1.1.4 Circuito neumático completo.

El circuito neumático completo que requiere el área del sistema robótico se puede dividir en circuitos más pequeños para una mejor comprensión. Dichos circuitos son los siguientes:

- Un circuito que controla el mecanismo de cambio de herramienta.
- Un circuito que identifica la herramienta acoplada
- **Circuito de control.**

El circuito de control es el encargado de actuar sobre el mecanismo que acopla y desacopla la herramienta del robot. Dicho mecanismo, como se vio en el Capítulo IV, está basado en un cilindro neumático de doble efecto alojado en el plato maestro, por tanto, es necesario una electro-válvula para controlarlo por software mediante una señal digital del robot. El circuito de control es el mostrado en la siguiente figura:

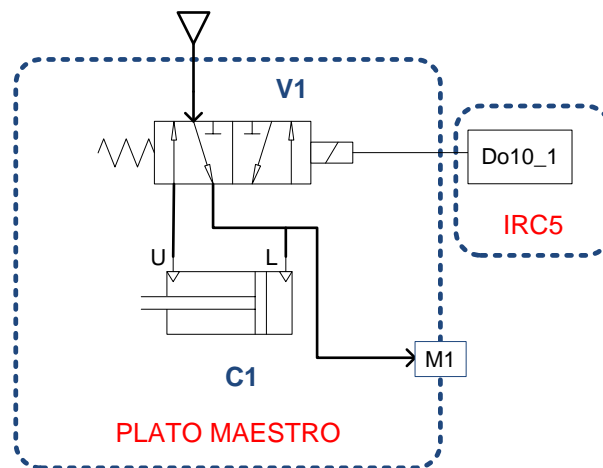


Figura V.23: Circuito de control del cambio de herramienta.

- V1: Válvula 5/2 con accionamiento eléctrico.
- C1: Cilindro de doble efecto del mecanismo del cambio de herramienta.
- Do10\_1: Señal digital del robot.
- M1: Conector de suministro de aire a las herramientas.

Mediante la señal digital Do10\_1 controlamos el cilindro C1. Si ésta vale “1” el aire entra en el conector U (unlock), haciendo retroceder el vástago desacoplando la herramienta. Si vale “0”, el aire pasa al conector L (lock) del cilindro, haciendo avanzar el vástago acoplando la herramienta. Además, como se puede observar en el circuito, cuando se suministra aire por el conector L, también se suministra aire por el conector M1 que suministra aire a la herramienta acoplada. De esta manera se consigue que cuando el robot no tenga ninguna herramienta acoplada, no esté perdiendo aire. El conector M1 es uno de los ocho conectores neumáticos con los que cuenta el sistema de cambio de herramienta.

- **Circuito de identificación de herramienta.**

Este circuito detecta si hay herramienta acoplada, y en el caso de ser detectada, identifica cual de las tres es. Esto es de vital importancia para el diseño de rutinas de error como se verá más adelante en capítulo de puesta en marcha. La identificación se realiza neumáticamente por medio de dos interruptores de presión accionados por cada herramienta de manera diferente. Dicho circuito de identificación se muestra en la figura siguiente:

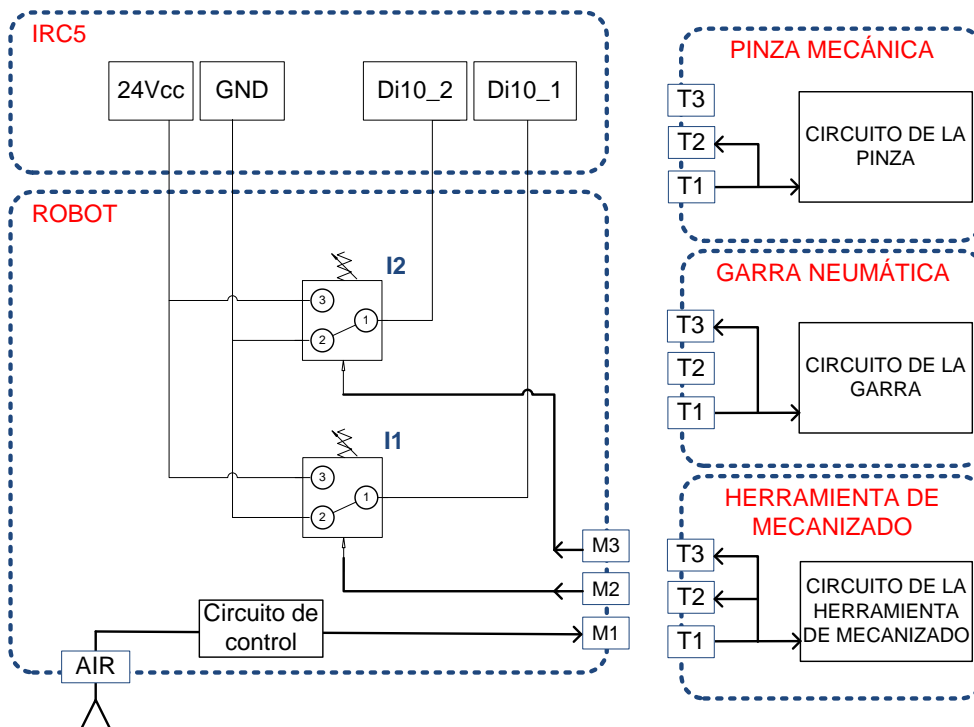


Figura V.24: Circuito de identificación de herramienta.

- I1, I2: Interruptores de presión.
- Di10\_1, Di10\_2: Entradas digitales del robot.
- M1, M2, M3: Conectores neumáticos del plato maestro.
- T1, T2, T3: conectores neumáticos de los platos de herramienta.

Cuando una herramienta está acoplada al robot, los conectores neumáticos M1, M2 y M3 se conectan con T1, T2 y T3 respectivamente. Como se vio en el circuito de control, cuando Do10\_1 es igual a “0” (herramienta acoplada), por el conector M1-T1 se suministra al aire al circuito de la herramienta visto en su apartado de diseño correspondiente. Los interruptores de presión, están configurados de tal manera que si no detectan presión, conectan la entrada digital correspondiente del robot a tierra (la ponen a “0”). De lo contrario, si detectan presión, la conectan a 24Vcc (la ponen a “1”). En la figura anterior se observa que cada herramienta realimenta de manera diferente el aire por los conectores T2 y T3, actuando de distinta manera sobre los interruptores, y por tanto sobre las entradas. Este efecto se puede apreciar también en la siguiente figura, donde se observa como la pinza realimenta la señal por T2, la garra realimenta por T3, y la herramienta de mecanizado realimenta por T3 y T2:

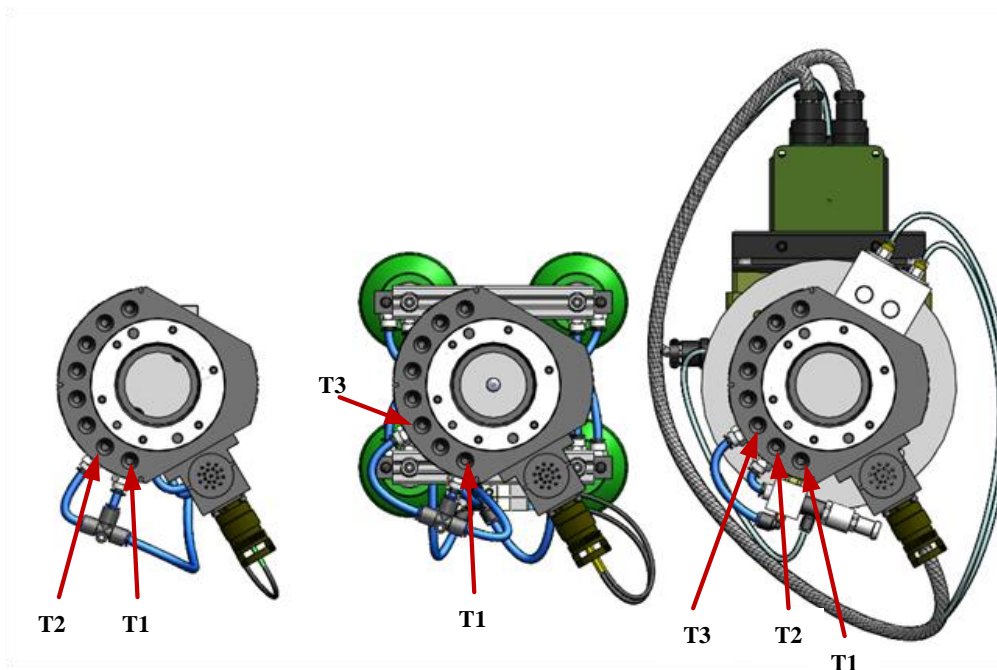


Figura V.25: Identificación de herramienta.

De esta manera se crea el código de identificación de herramienta mostrado en la tabla siguiente:

**Tabla V.2: Código de identificación de herramienta.**

Entradas digitales		Herramienta acoplada
Di10_2	Di10_1	
0	0	Ninguna
0	1	Pinza mecánica
1	0	Garra neumática
1	1	Herramienta de mecanizado

### 5.1.2 Diseño de los sistemas del área de almacén de material.

Esta área es donde se almacenan todos los materiales de construcción que se emplean en la célula para llevar a cabo los procesos de mecanizado y ensamblado, y donde se realizan ciertos subensamblajes para mejorar la productividad. Consiste en una mesa formada por una estructura de perfil extruido con una plancha metálica encima que da soporte a los distintos elementos de almacenaje y a los elementos de sujeción y guiado necesarios para realizar dichos subensamblajes. Como se vio en el Capítulo I, este Proyecto Fin de Carrera ha sido el encargado de diseñar el proceso de ensamblaje del bastidor del módulo de aguas y de realizar diversos mecanizados, por tanto los diseños realizados en esta área son los relacionados con el almacenaje de los elementos empleados en dichos procesos. A continuación se muestra una lista con todos los diseños realizados, destacando los que están dentro del alcance de este Proyecto Fin de Carrera:

- Diseño mecánico de la estructura.
- Diseño de los sistemas de almacenaje para los distintos materiales empleados:
  - Almacén de elementos del módulo de aguas.
    - **Almacén de elementos del bastidor.**
    - Almacén de elementos de saneamiento.
  - **Almacén de baldosas.**
- Diseño de el sistema de guiado y sujeción para el área de subensamblajes.
  - **Subensamblajes del bastidor.**
  - Subensamblajes del saneamiento.
- **Circuito neumático.**

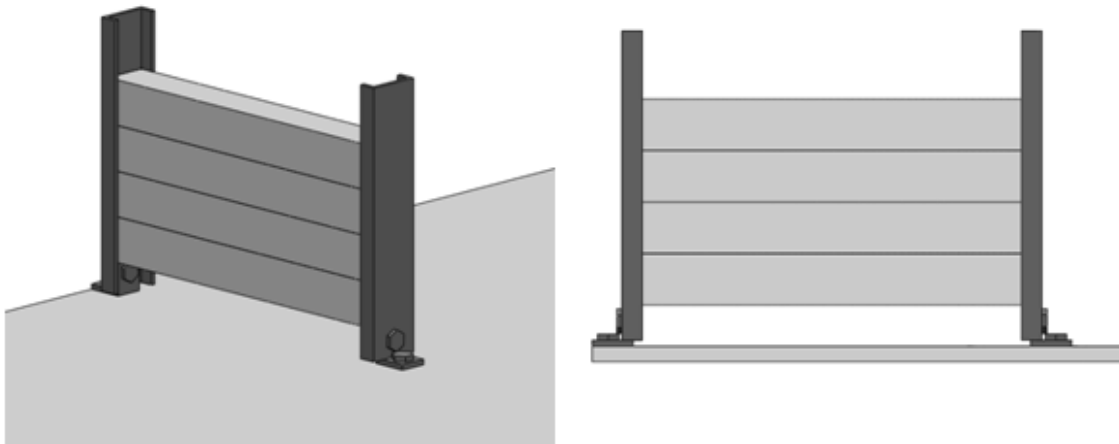
#### 5.1.2.1 Diseño del sistema de almacenaje de los elementos del bastidor.

Este es el lugar donde se almacenan las barras y racores que componen el bastidor. En la siguiente tabla ampliada que vimos en el Capítulo IV podemos ver una lista de dichos elementos y sus correspondientes almacenes:

**Tabla V.3: Almacenes de elementos del bastidor.**

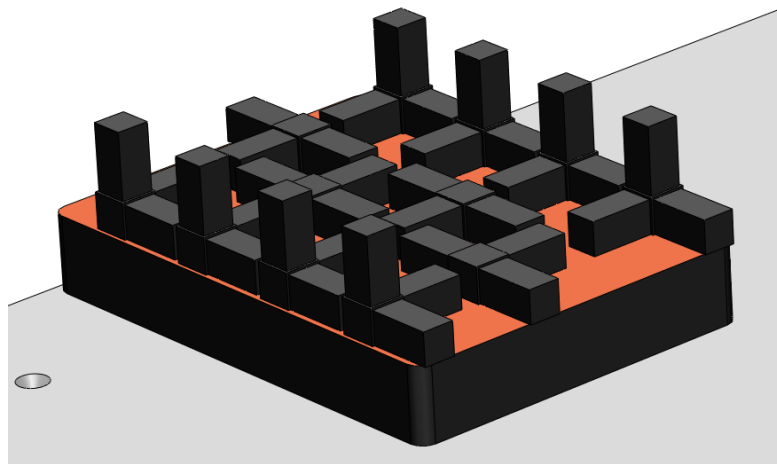
ELEMENTO				NOMBRE ALMACÉN
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NOMBRE		
<b>Barras 25x25mm</b>	Horizontales largas (950mm)	x6	h11 h12 h13 h14 h15 h16	HL
	Horizontales medianas (750mm)	x2	hm1 hm2	HM
	Horizontales cortas (233mm)	x6	hc1 hc2 hc3 hc4 hc5 hc6	HC
	Verticales (200mm)	x4	v1 v2 v3 v4	V
<b>Racores</b>	Esquinas	x8	e1 e2 e3 e4 e5 e6 e7 e8	RACORES
	Tes	x4	t1 t2 t3 t4	

De la tabla anterior podemos señalar que las barras de igual longitud se agrupan en el mismo almacén, del mismo modo que lo hacen los racores. El almacenaje de las barras se realiza de manera horizontal depositando una encima de la otra, sujetadas por un sistema consistente en dos perfiles en “U”, uno a cada lado de las barras, los cuales dejan levantada la primera barra a una distancia de 20 mm con respecto a la mesa. Dicho sistema de sujeción es idéntico para todos los almacenes de todas las barras, lo único que cambia, lógicamente, es la separación de los perfiles “U” según la longitud de la barra almacenada. Dentro de un almacén, por ejemplo el de las verticales de 200 mm, la correspondencia de nombres es de arriba abajo: v1, v2, v3 y v4, lo mismo ocurre con el resto de almacenes de barras. En la siguiente imagen podemos ver un ejemplo de este sistema de almacenamiento de barras:



**Figura V.26: Sistema de almacenaje de barras del bastidor.**

De la tabla anterior, también podemos señalar que los racores, ya sean racores esquinera o racores “T”, se almacenan en el mismo almacén. Dicho almacén consiste en una bandeja de 50x245x330 mm<sup>3</sup>, que contiene todos los racores necesarios para el ensamblaje de un bastidor, y que está depositada encima de la mesa como se muestra en la siguiente figura:



**Figura V.27: sistema de almacenaje de racores del bastidor.**

Sobre la bandeja se ha realizado una huella de 1.5mm de profundidad para la colocación de los racores. Dicha colocación, con respecto a la esquina inferior izquierda de la bandeja, y el nombre del elemento almacenado se muestra en la siguiente figura (dimensiones en mm):



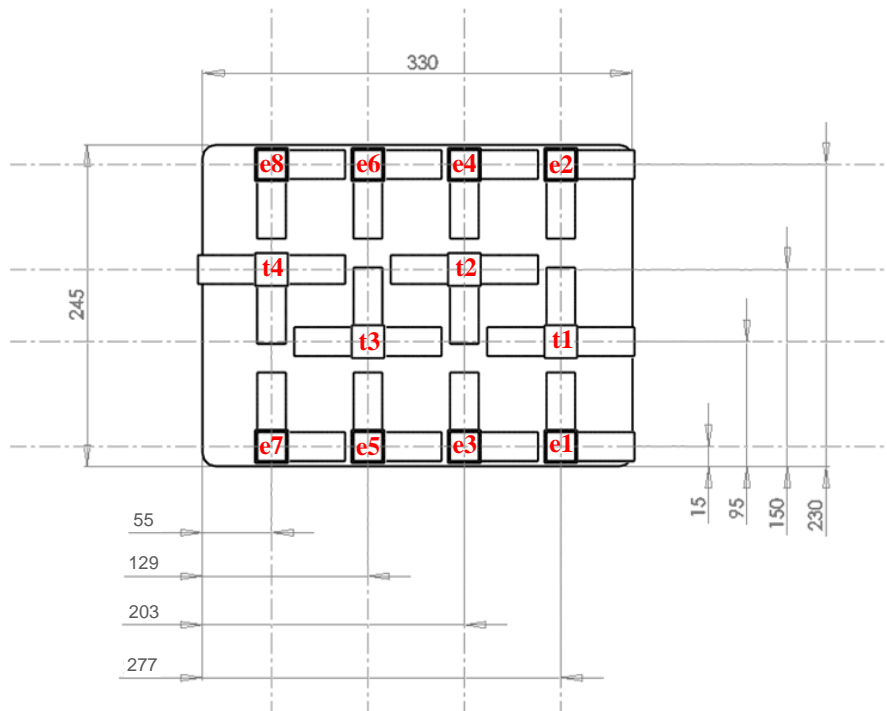


Figura V.28: Posiciones de los racores en su almacén.

En la siguiente imagen podemos ver la colocación en la mesa de los almacenes vistos hasta el momento, donde los de las barras se referencian al punto central de la barra que almacenan, y el de los racores a la esquina inferior izquierda de la bandeja (Dimensiones en mm):

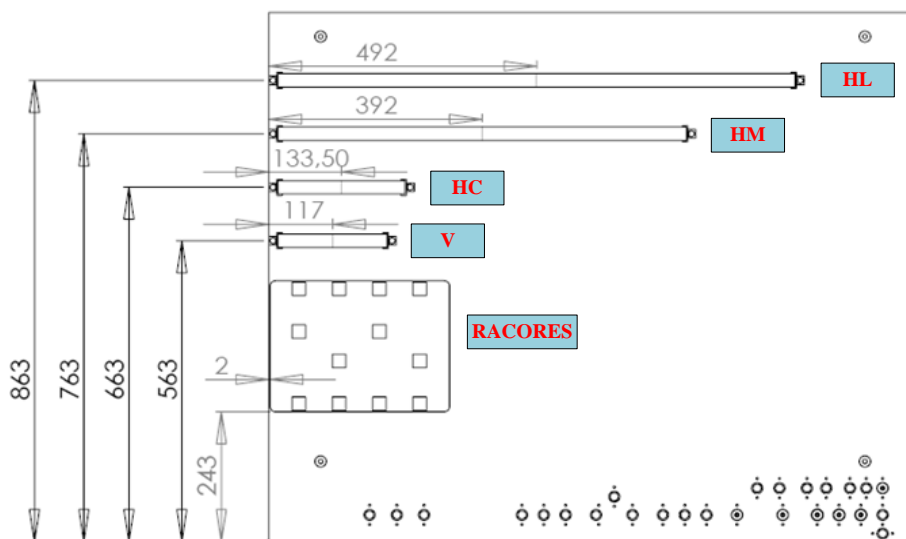


Figura V.29: Colocación de los almacenes del bastidor.

Además de estos almacenes para los componentes del bastidor, existe otro almacén auxiliar para un ensamblaje intermedio que es necesario almacenar como se verá en el proceso de ensamblado en el apartado de diseño software. Dicho almacén consiste en una estructura formada por barras de perfil extruido de 45x45 mm<sup>2</sup> de medidas mostradas en el plano correspondiente en el apartado 9.1 Planos. en el anexo.

Al contrario que el resto de los almacenes, este almacén auxiliar no está situado en la mesa debido al tamaño que ocupa la tapa del bastidor que almacena. Su posición en la célula robotizada, como podemos observar en la siguiente figura, es detrás del robot a una distancia de 1005.5 mm y con ambos ejes centrales coincidentes:

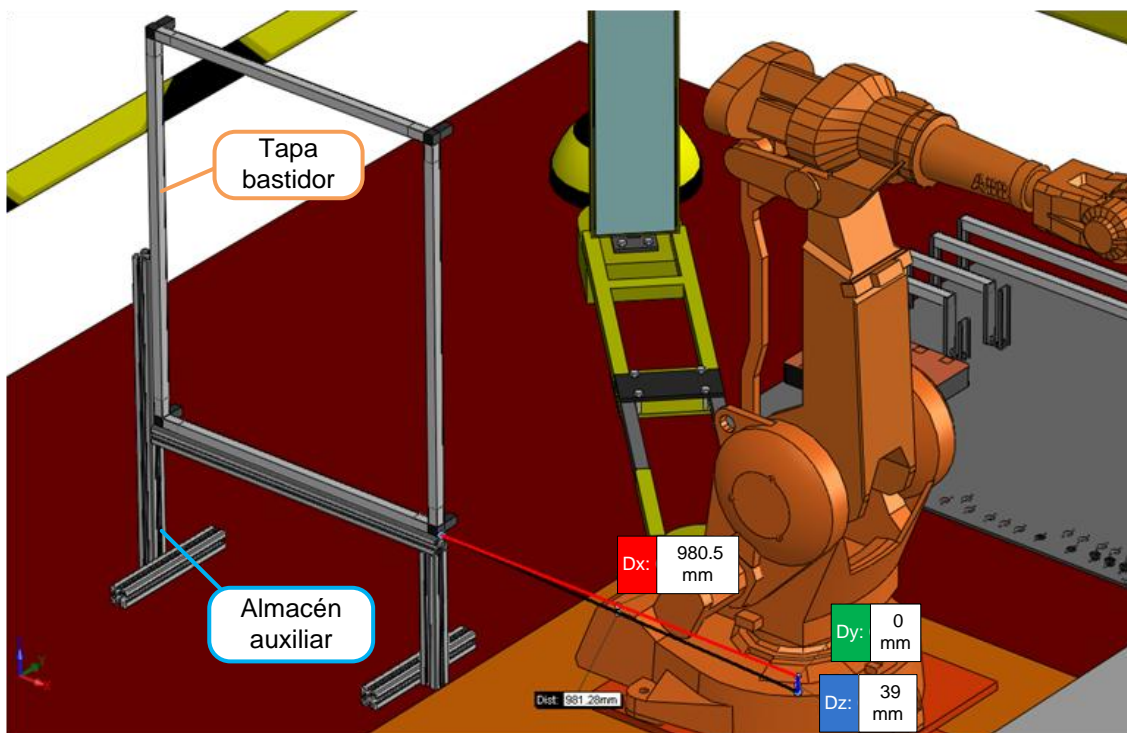


Figura V.30: Posición almacén auxiliar.

### 5.1.2.2 Diseño del sistema de almacenaje de baldosas.

Este almacén es el encargado de almacenar los elementos empleados en el otro proceso realizado por la célula robotizada. Dichos elementos como se ha comentado en diversas ocasiones son las baldosas que se quieren mecanizar. El modo de almacenaje consiste en apilar una baldosa encima de la otra. El almacén está situado, al igual que los almacenes del material del módulo de aguas, en la mesa del almacén tal y como se muestra en la siguiente figura (distancias en mm):

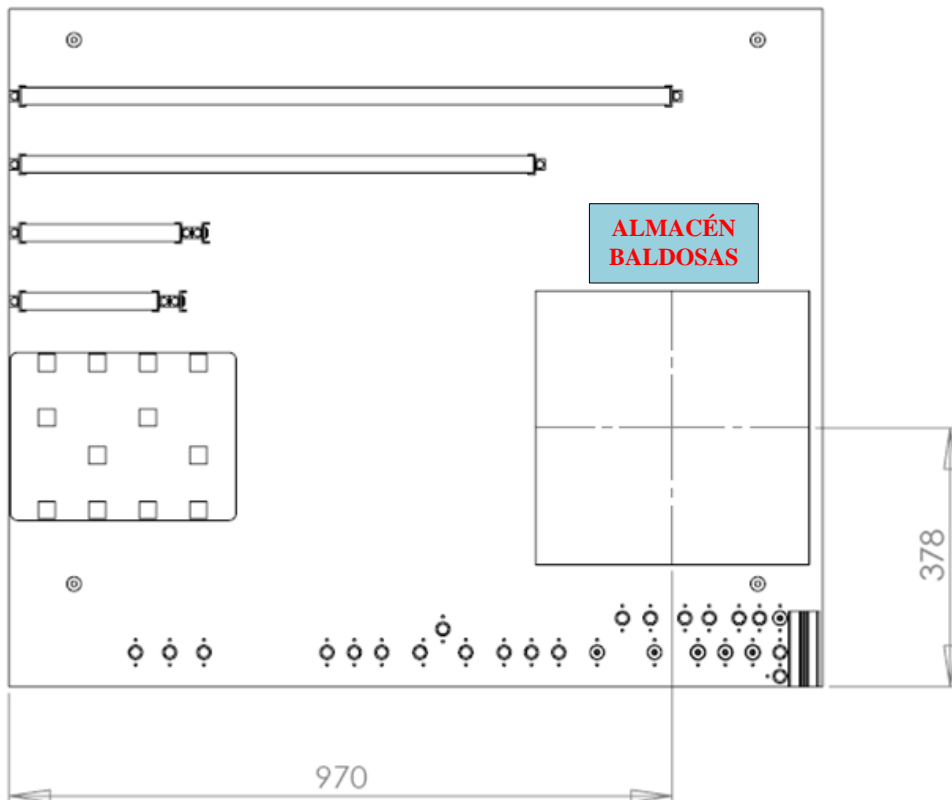


Figura V.31: Posición almacén baldosas.

### **5.1.2.3 Diseño de sistemas para el subensamblaje de elementos del bastidor.**

El área de almacén de material, como ya se ha visto, además de disponer de los elementos necesarios para el almacenaje de todos los materiales de construcción empleados en la célula robotizada, también dispone de un área donde se realizan distintos subensamblajes con el fin de reducir los tiempos de transporte de material en los procesos de ensamblado.

En esta área se realizan siempre el mismo subensamblaje consistente en ensamblar dos racores del mismo tipo en una barra horizontal larga (hl\_x). El proceso consiste en tres sencillos pasos: primero se deposita un racor sobre la mesa, segundo se ensambla una barra en dicho racor, y tercero se ensambla por el otro lado de la barra el otro racor. Este proceso se verá en detalle en el capítulo de diseño software, centrándonos en éste en el diseño de los sistemas de sujeción y guiado que hacen posible dicho subensamblaje.

Para la fijación del subensamblaje a la mesa mientras se encuentra en proceso, se dispone de un sistema de vacío consistente en una ventosa, la cual sujeta el primer elemento a la mesa. La sujeción se realiza a nivel de la mesa, con lo que la ventosa debe estar debidamente colocada.

Para el correcto ensamblaje de la barra en el racor se dispone de unos registros de guiado que corrigen posibles errores de posición de la barra, y que restringen el movimiento del subensamblaje en la mesa. En la siguiente figura se muestra la colocación en la mesa de dichos sistemas de fijación y guiado para los subensamblajes del bastidor del módulo de aguas ensamblado (dimensiones en mm):

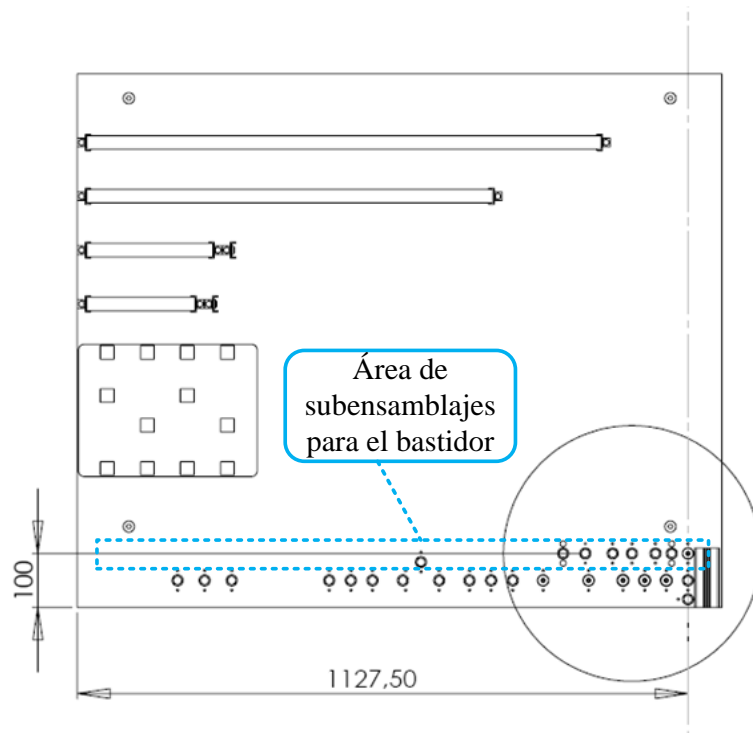


Figura V.32: Área de subensamblajes.

En la siguiente figura se puede ver en detalle los sistemas que componen el área de subensamblaje tratada en este apartado (dimensiones en mm):

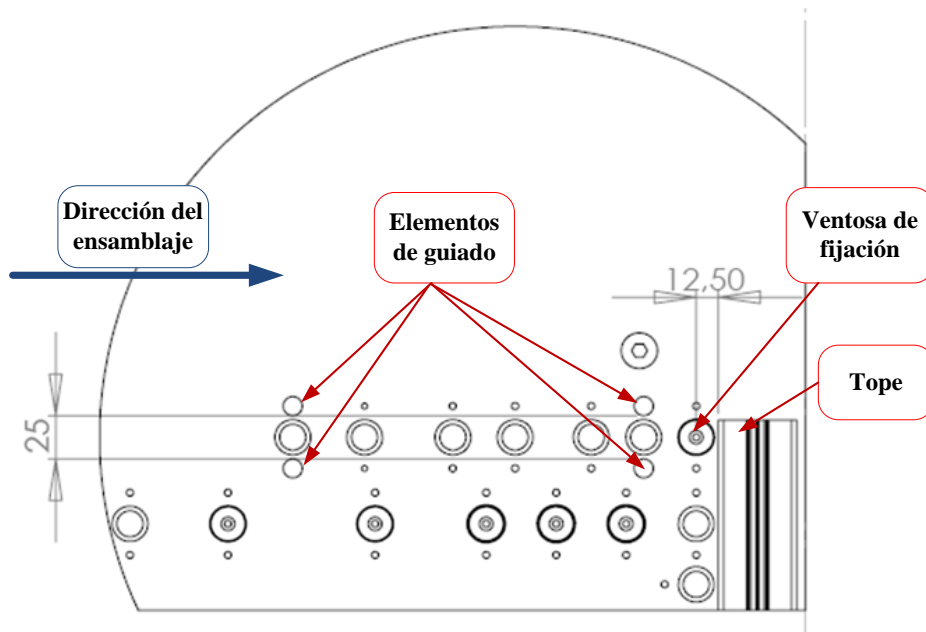


Figura V.33: Elementos del sistema para el subensamblaje del bastidor.

Como se puede comprobar en la figura anterior la distancia que dejan los registros de guiado entre si es de 25 mm, que es la anchura que poseen las barras, con lo que quedarán perfectamente sujetos. También se puede ver que la distancia desde el centro de la ventosa hasta el tope es de 12.5 mm, que es la mitad de lo que ocupa el cuerpo del racor. De esta manera depositando el racor haciendo coincidir su centro con el centro de la ventosa podremos ensamblar en la dirección indicada sin que se desplace el racor gracias al mencionado tope.

#### 5.1.2.4 Circuito neumático del almacén.

Este circuito es el encargado de generar el vacío necesario para que las ventosas del área de subensamblajes agarren el material. Por tanto estará compuesto por dichas ventosas, las bombas de vacío y las válvulas que controlan el funcionamiento. En la siguiente figura podemos ver el circuito completo del área de almacén de material:

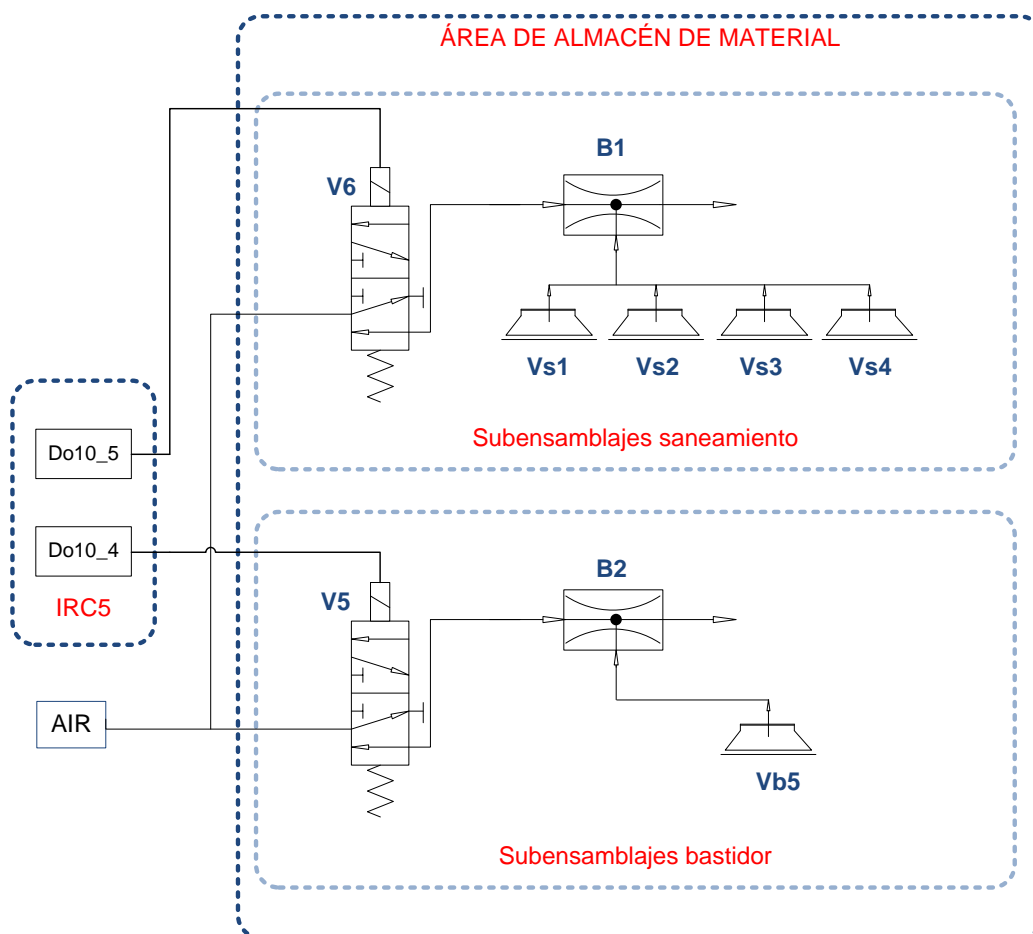


Figura V.34: Circuito neumático del área almacén.

- V5, V6: Válvulas 5/2 con accionamiento eléctrico.
- B1, B2: Bombas de vacío por efecto Venturi.
- Vs1, Vs2, Vs3, Vs4: Ventosas para sujeción del material del saneamiento.
- Vb5: Ventosas para sujeción del material del bastidor.
- Do10\_4, Do10\_5: Señales digitales del robot.

Como se observa en el circuito, existen dos circuitos independientes, uno para realizar los subensamblajes del bastidor y otro para los subensamblajes del saneamiento. Cada circuito está controlado por una señal digital del robot, de manera que cuando se activa se produce el vacío en el área correspondiente. De esta manera se consigue que el robot trabaje coordinadamente con esta área, mandando las señales oportunas en el momento preciso.

### 5.1.3 Diseño de los sistemas del área de trabajo.

Como ya se ha comentado con anterioridad, en esta área, es donde se realizarán los distintos trabajos de mecanizado y ensamblado. Al igual que el área anterior, consiste en una mesa formada por una estructura de perfil extruido con una plancha encima que da soporte a los elementos de sujeción para las piezas a mecanizar, y a los sistemas de sujeción y guiado para los ensamblajes. A continuación se muestra una lista con todos los diseños realizados, destacando los que están dentro del alcance de este Proyecto Fin de Carrera:

- Diseño mecánico de la estructura.
- **Diseño de sistemas para el ensamblaje del bastidor.**
- Diseño de los sistemas de sujeción para los elementos a mecanizar.
- **Circuito neumático.**

#### 5.1.3.1 Diseño de sistemas para el ensamblaje del bastidor.

Para el ensamblaje del módulo de guas son necesarios unos sistemas de guiado y sujeción al igual que ocurría en el área de subensamblajes del bastidor. Dichos sistemas consistían en un sistema de vacío basado en ventosas para la sujeción, y en unos registros de guiado para el correcto ensamblaje de los distintos elementos.

El sistema de sujeción consiste en seis ventosas colocadas en línea a una altura de 6 mm de la superficie de la mesa, que sujetan una única barra del bastidor.

El sistema de guiado al igual que en el área de subensamblajes consiste en unos registros cilíndricos que dejan entre sí el espacio que ocupa una barra del bastidor, pero en este caso a una altura de 6mm con respecto a la superficie de la mesa.

En la siguiente figura se puede ver el sistema de guiado y sujeción sobre la mesa (dimensiones en mm):



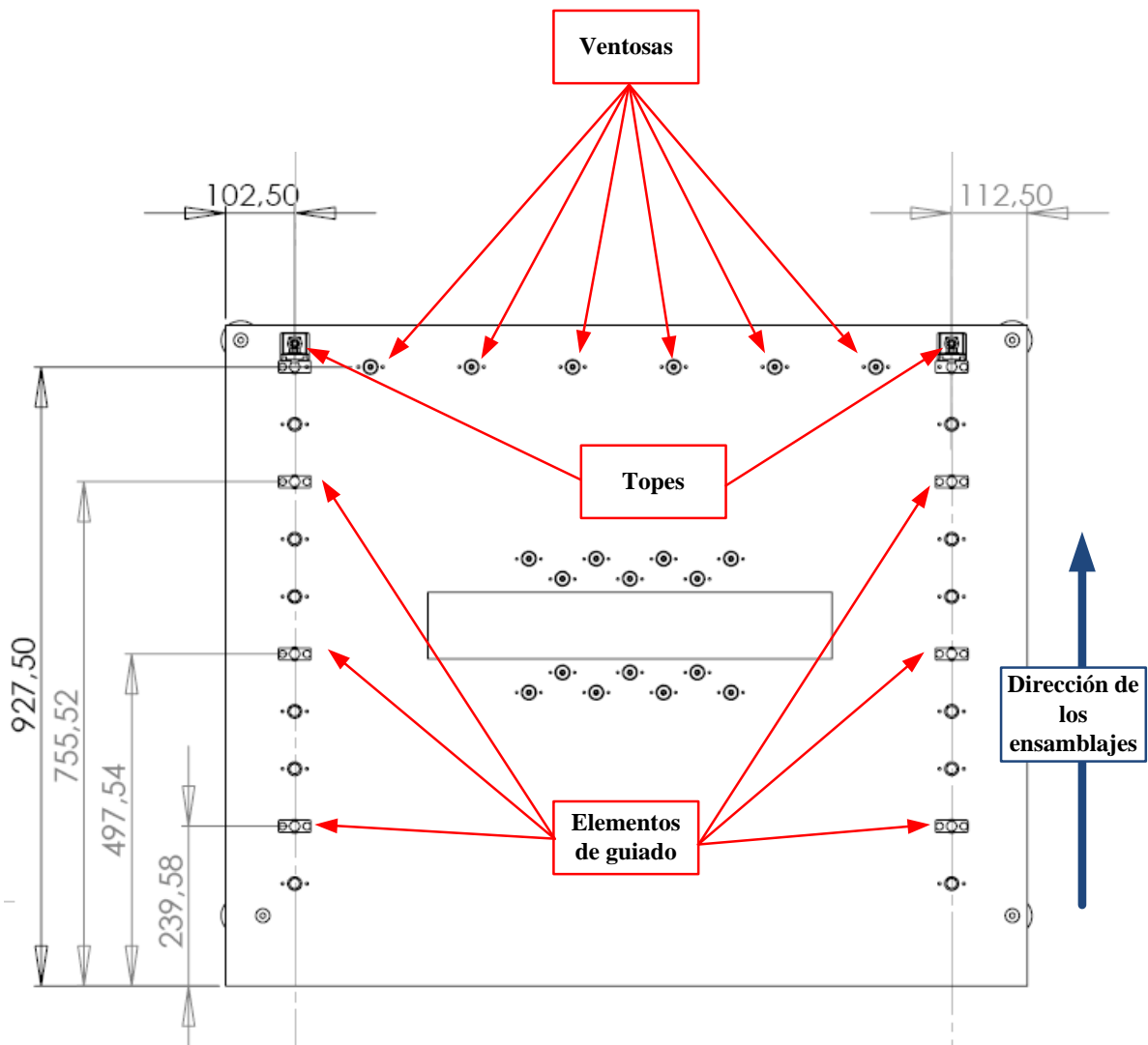


Figura V.35: Sistema de guiado y sujeción para el ensamblado del bastidor.

### 5.1.3.2 Circuito neumático del área de trabajo.

Este circuito es el encargado de generar el vacío necesario para que las ventosas tanto del área de ensamblajes como las del área de mecanizado agarren el material correspondiente. Por tanto estará compuesto por dichas ventosas, las bombas de vacío y las válvulas que controlan el funcionamiento. En la siguiente figura podemos ver el circuito completo del área de trabajo:

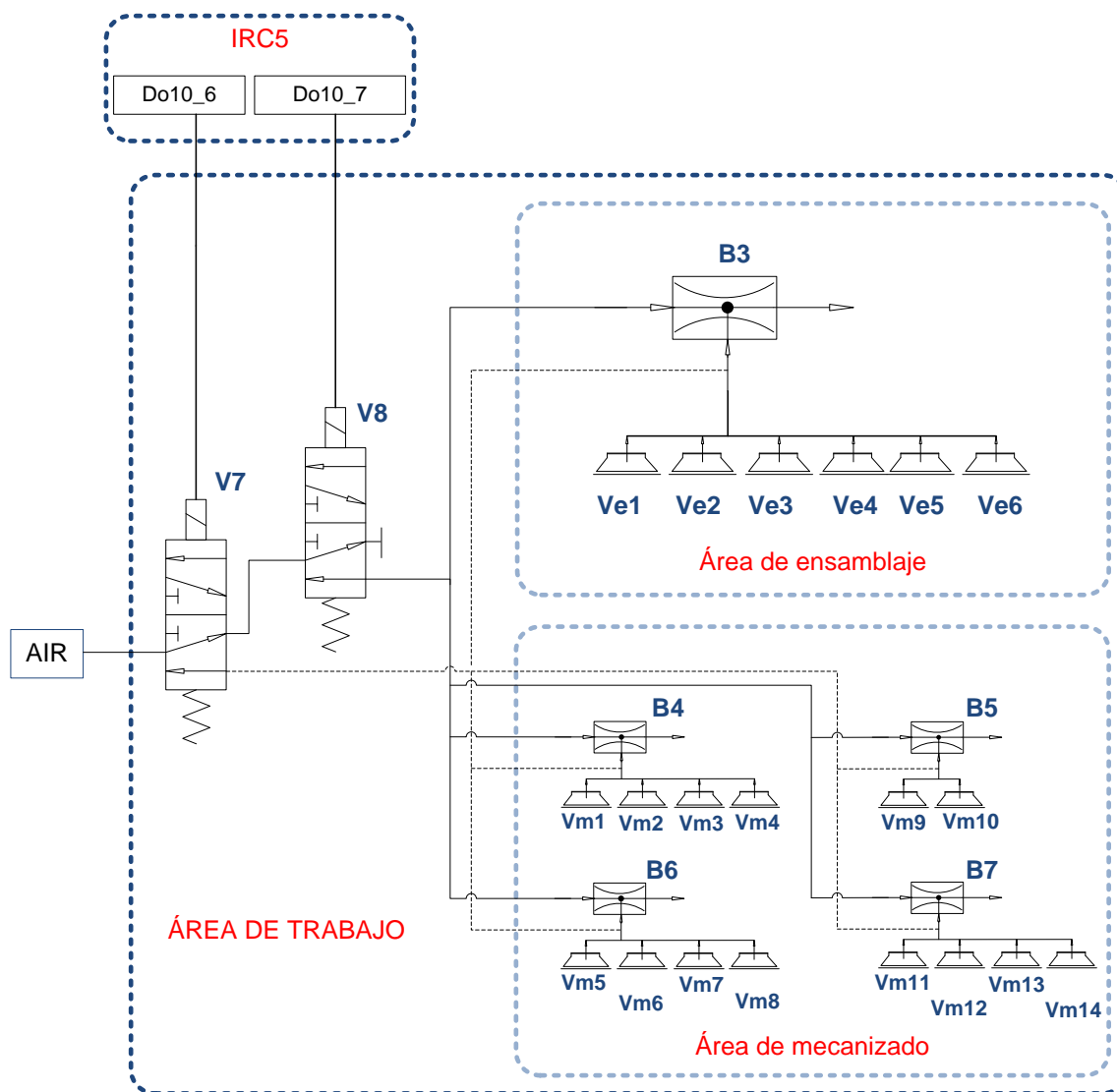


Figura V.36: Circuito neumático del área de trabajo.

- V7, V8: Válvulas 5/2 con accionamiento eléctrico para el soplado y el vacío respectivamente.
- B3, B4, B5, B6, B7: Bombas de vacío por efecto Venturi.
- Ve1, Ve2, Ve3, Ve4, Ve5, Ve6: Ventosas para sujeción del material a ensamblar.
- Vm1, Vm2 ... Vm13, Vm14: Ventosas para sujeción del material a mecanizar.
- Do10\_6, Do10\_7: Señales digitales del robot.

El funcionamiento del circuito es el siguiente: mediante la activación de la señal digital del robot Do10\_6 se hace pasar el aire por la línea punteada accediendo directamente a las ventosas, de esta manera se logra el soplado para la eliminación de viruta y una mejor liberación del material; por otro lado, mediante la activación de la señal digital Do10\_7, manteniendo la anterior desactivada, se hace pasar el aire por la línea continua, accediendo a las bombas que generan el vacío en las ventosas. Dicho funcionamiento se resume en la siguiente tabla:

**Tabla V.4: Funciones del circuito neumático del área de trabajo.**

Salidas digitales		Función
Do10_6	Do10_7	
0	0	Reposo
0	1	Vacío
1	x	Soplado

## 5.2 Diseño software.

En este apartado se describe el diseño software realizado para la creación de una célula virtual que simule los procesos necesarios para ensamblar y mecanizar los productos vistos en el Capítulo IV. A continuación se muestra una lista de dichos procesos destacando los que dentro del alcance de este Proyecto fin de Carrera:

- **Proceso auxiliar de cambio de herramienta.**
- Proceso de ensamblado del módulo de aguas.
  - **Proceso de ensamblado del bastidor.**
  - Proceso de ensamblado del sistema de saneamiento.
- Procesos de mecanizado de baldosas.
  - **Mecanizado de piezas grandes.**
  - Mecanizado de piezas pequeñas.

Para la creación de dicha célula virtual, primero es necesario realizar el diseño CAD de todos los componentes relevantes que intervienen en los procesos. Esta tarea ha sido realizada mediante una herramienta software de diseño llamada SOLIDWORKS.

Una vez que se dispone de los gráficos necesarios, mediante la herramienta de simulación ROBOTSTUDIO que ABB desarrolla para sus robots industriales, se podrán simular todos los procesos antes de realizar la puesta en marcha en el robot real.

### 5.2.1 Introducción al desarrollo de estaciones de trabajo virtual.

Bajo la presión de la producción de nuevos modelos en menos tiempo y con una mayor calidad, los diseñadores de estaciones de trabajo industrial recurren a nuevas técnicas de desarrollo como la simulación virtual. La validación de los diseños de las instalaciones robotizadas antes de su implantación física proporciona un gran ahorro de tiempo y dinero. En este PFC se utilizan técnicas que constituyen los últimos avances en la programación robótica, que proporcionan grandes ventajas, como la reducción del tiempo en la instalación, mayor seguridad de los operarios y la generación de programas para el robot, permitiendo optimizar y minimizar los tiempos de ciclo de tareas. Para ello se utilizan herramientas de diseño y simulación.

Las herramientas que se utilizan son complementadas con bibliotecas de modelos de robot para la simulación de la célula robótica, se emplea el software ABB robotics, el cual cuenta con los aditamentos necesarios para la simulación de una estación de trabajo. RobotStudio nos permite realizar la simulación del robot en el ciclo de trabajo que desempeñara en la realidad, así como la solución de problemas que se pueden encontrar en su implementación, lo cual dará una idea cercana a la realidad en cuanto a la distribución física de la estación y la interacción entre los dispositivos.

El desarrollo de las herramientas CAD (Computer Aided Design) ha influido decisivamente en el desarrollo de herramientas de simulación facilitando así los estudios previos a la instalación: selección de robot, distribución de máquinas, depuración de trayectorias, etc. La herramienta y funciones de RobotStudio para simulación nos ayudaran a alcanzar nuestros objetivos. RobotStudio es un simulador en 3D para programación fuera de línea (off – line) de robots ABB. Se pueden crear programas en lenguaje RAPID, modificar los existentes y simular el comportamiento del robot en 3D de forma virtual tan real como uno precise.

Como primer objetivo trataremos de conseguir la distribución física de los elementos dentro de la célula. Para este punto es de gran ayuda el ambiente grafico de RobotStudio para prevenir colisiones y aprovechar espacios de trabajo. De esta forma cuanto más exacto sea el diseño físico de toda la estación mayor será la similitud respecto al sistema real. Hay que tener en cuenta que con la tecnología disponible en robots de nueva generación, el grado de exactitud queda limitado por el sistema físico real, ya que los robots disponen de una gran precisión.

El siguiente punto es conseguir la programación de rutinas de movimiento del robot. Hay que tener en cuenta que el robot utiliza un lenguaje Rapid para la asimilación de instrucciones. La programación a grandes rasgos se realiza gracias al entorno gráfico de RobotStudio y sus utilidades. De esta forma se realiza la programación de las rutinas de movimiento del robot directamente, de forma virtual. Luego únicamente es necesario la transferencia del las rutinas de movimiento del programa RobotStudio a al robot.

### 5.2.2 Diseño CAD de los componentes de la célula.

CAD (*computer-aided design*, diseño asistido por computador), consiste en usar un ordenador para diseñar productos, permitiendo a los usuarios elaborar modelos tridimensionales con características físicas como peso, volumen y centro de gravedad. Como ya se ha comentado, la herramienta empleada para este propósito es la herramienta software SOLIDWORKS, más concretamente la versión 2008.

Para la mayoría de los sistemas principales descritos en el Capítulo IV, los fabricantes proporcionan sus modelos CAD, lo que ha facilitado notablemente este trabajo.

Por otro lado, el presente Proyecto Fin de Carrera ha desarrollado los modelos de los diseños físicos y los ensamblajes realizados en el apartado de diseño hardware, además de los modelos de los materiales involucrados en los procesos que ha realizado.

A continuación se muestran los modelos CAD completos de los componentes de la célula, ya que en el apartado siguiente serán necesarios para describir las simulaciones de los procesos.

- **Estación:**

La estación es el modelo CAD visto en la figura siguiente que engloba todos los sistemas de la célula que no van a ser movidos por el robot como el área de trabajo, los almacenes tanto de material como de herramientas y la base del robot. Además, se han desarrollado otros modelos que carecen de importancia para la simulaciones cuya única función es la de mejorar su aspecto.

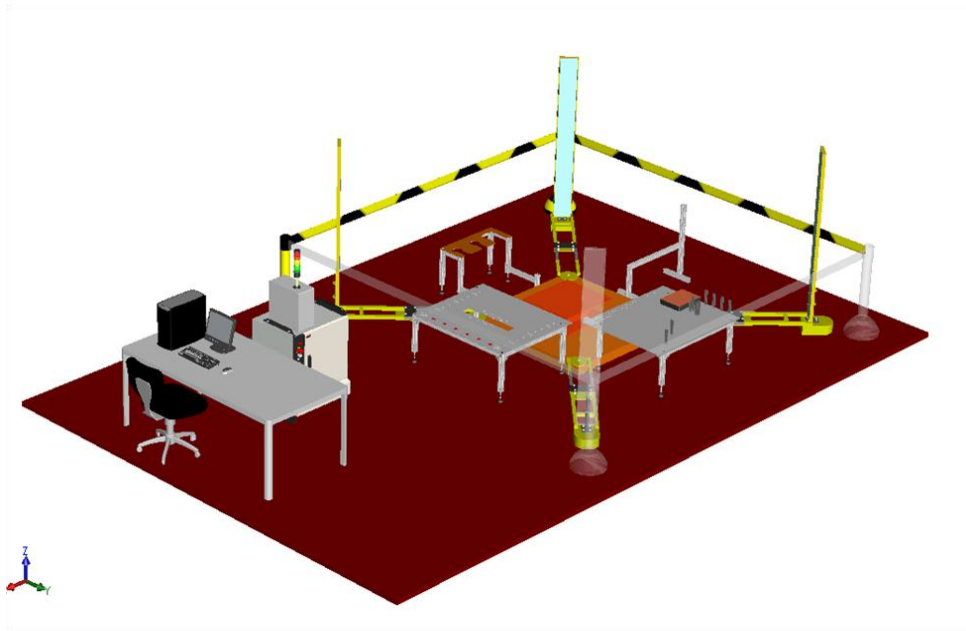


Figura V.37: Modelo CAD de la estación.

- **Herramientas:**

En la siguiente figura se muestran los modelos CAD tanto de las herramientas como del plato maestro que habrá que fijar a la muñeca del robot:

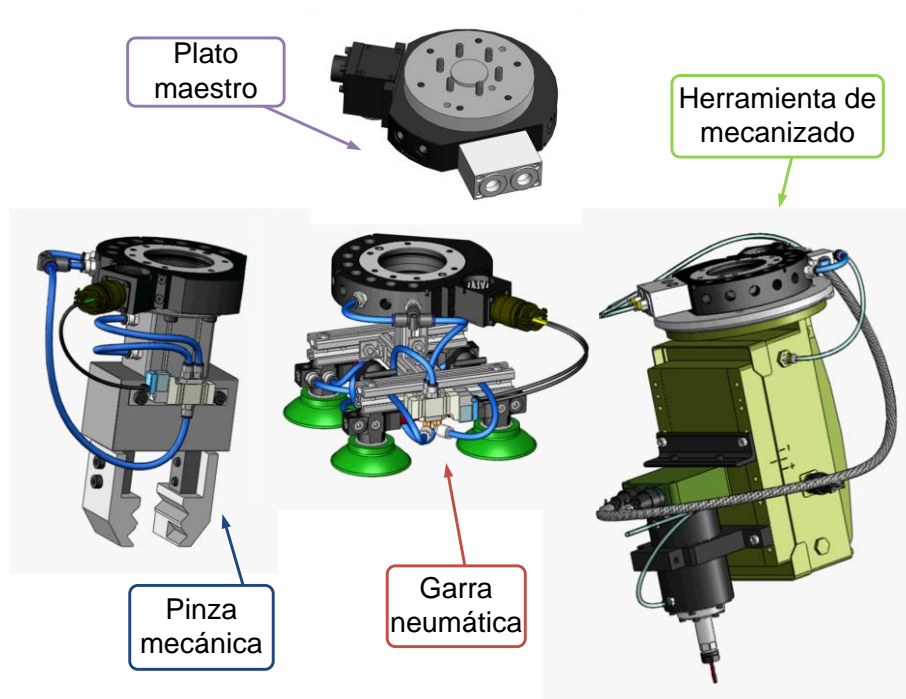


Figura V.38: Modelos CAD de las herramientas.

- **Material:**

En la siguiente figura se muestran los modelos CAD de los materiales utilizados en los procesos realizados por este Proyecto Fin de Carrera. Como se verá más adelante es necesario realizar los modelos CAD de las baldosas con las formas deseadas que se quieren lograr con el mecanizado.

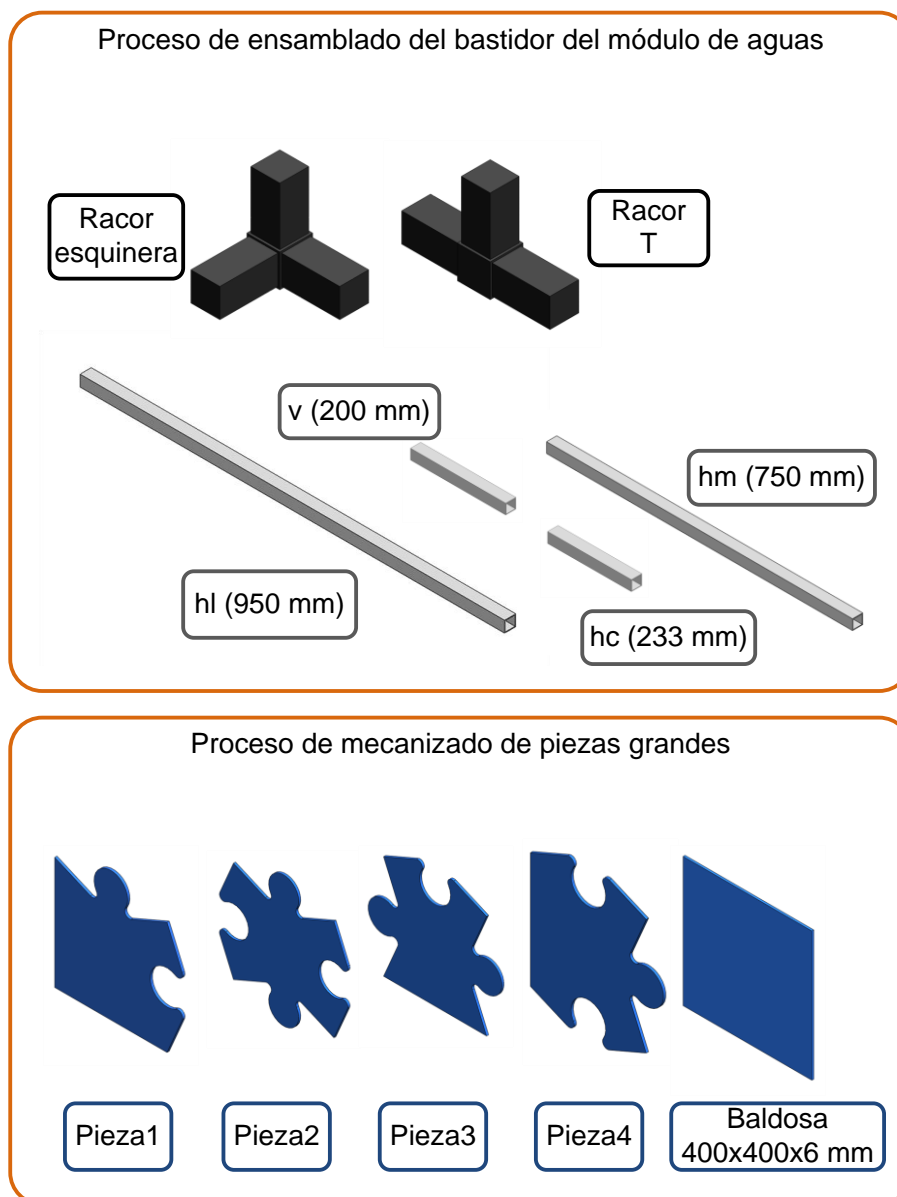


Figura V.39: Modelos CAD del material empleado en los procesos.



### **5.2.3 Implementación de la célula robotizada en RobotStudio.**

En este apartado se van a resumir los aspectos más importantes necesarios para la creación de una célula robotizada virtual en un ordenador mediante la herramienta software ROBOTSTUDIO. La versión de dicho software empleada es la 5.11 que corresponde con los nuevos controladores IRC5 de ABB.

Los pasos necesarios para el funcionamiento de la célula virtual son: colocación de elementos, definición de datos de programa, creación de puntos y trayectorias, creación de programas RAPID y simulación. Estos pasos se detallan a continuación en los siguientes apartados.

#### **5.2.2.1 Colocación de los componentes de la célula.**

Para la colocación de los componentes primero es necesario importar sus modelos CAD, lo cual se realiza mediante la opción del programa “importar librería” para el robot, e “importar geometría” para el resto de los componentes. Esta diferencia se debe a que el robot no es una geometría rígida. Para colocarlos simplemente hay que seleccionar el elemento deseado, y mediante la opción “buscar original” colocamos su origen de coordenadas donde corresponda dando las coordenadas “xyz” correspondientes con respecto al sistema de referencia del mundo. Dicho sistema es el origen de coordenadas de la célula virtual implementada en ROBOTSTUDIO. Los elementos involucrados en la célula son los que se han mostrado en el apartado anterior.

- **Estación:**

La estación no necesita ser desplazada ni girada en ningún sentido. En la siguiente figura podemos ver la estación importada y colocada en la célula virtual:

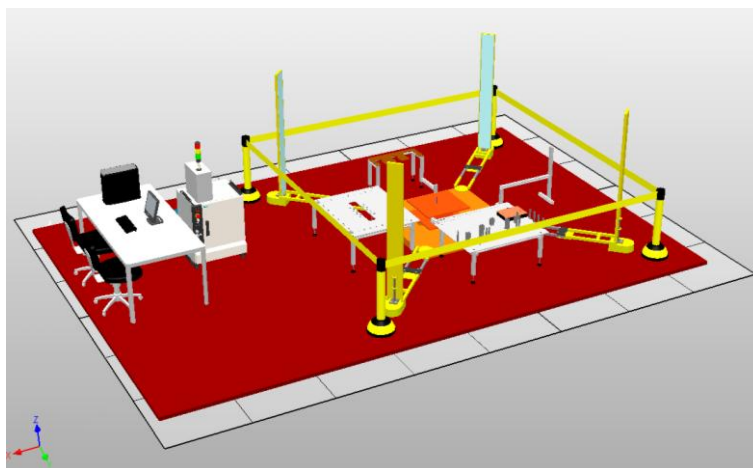


Figura V.40: Colocación de la estación en Robotstudio.

- **Robot:**

El modelo CAD del robot es proporcionado por el propio programa ROBOTSTUDIO como librería, junto a los demás robots de ABB. Como ya se ha comentado se trata de un modelo IRB2400-16, el cual va ligado a un controlador virtual de la misma manera que ocurre con el robot y el controlador IRC5 real.

La colocación del robot en la célula, una vez importado, consiste únicamente en desplazarlo en el eje z una distancia igual a la de la base del robot de 345 mm. Por tanto el sistema de coordenadas del mundo y el del robot difieren únicamente en dicha distancia en “z”. En la siguiente imagen vemos la colocación del robot en la célula:

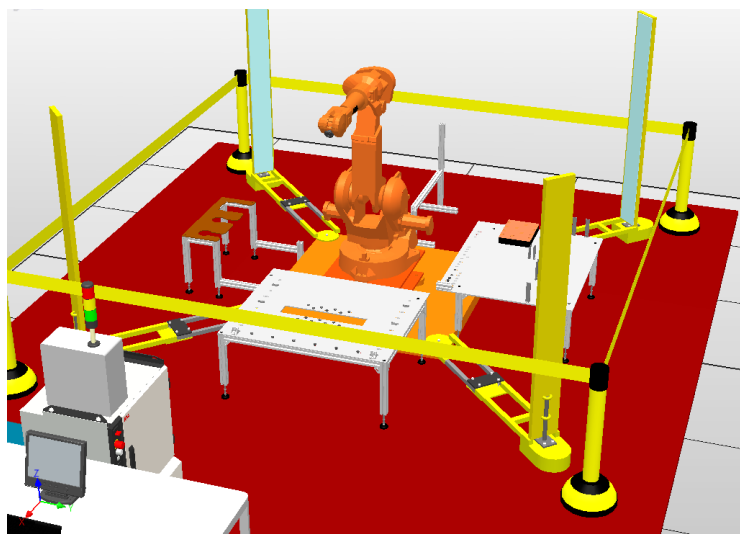


Figura V.41: Colocación del robot en Robotstudio.

- **Herramientas:**

Primero, para poder utilizar las herramientas, es necesario importar y fijar a la muñeca del robot el plato maestro seleccionándolo y arrastrándolo al robot en la lista de elementos de la estación. El resultado se puede ver en la siguiente figura:

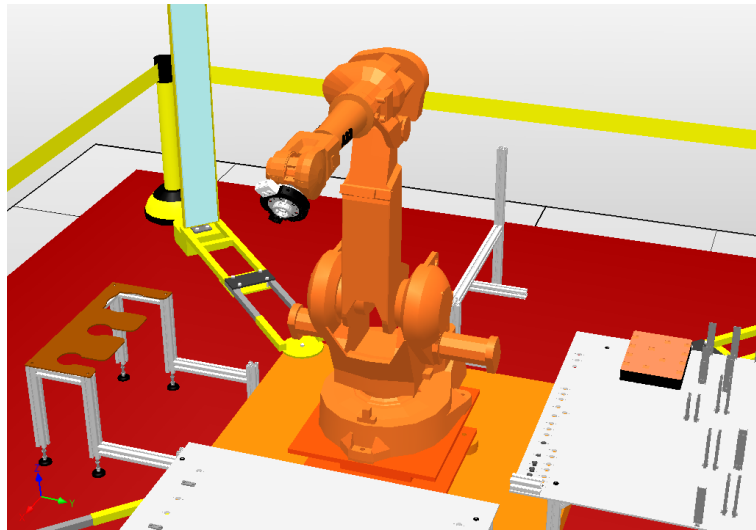


Figura V.42: Colocación del plato maestro en Robotstudio.

Las herramientas deben ser colocadas sobre la mesa de herramientas en las posiciones correspondientes vistas en el capítulo de diseño hardware, tal y como se puede ver en la siguiente figura:

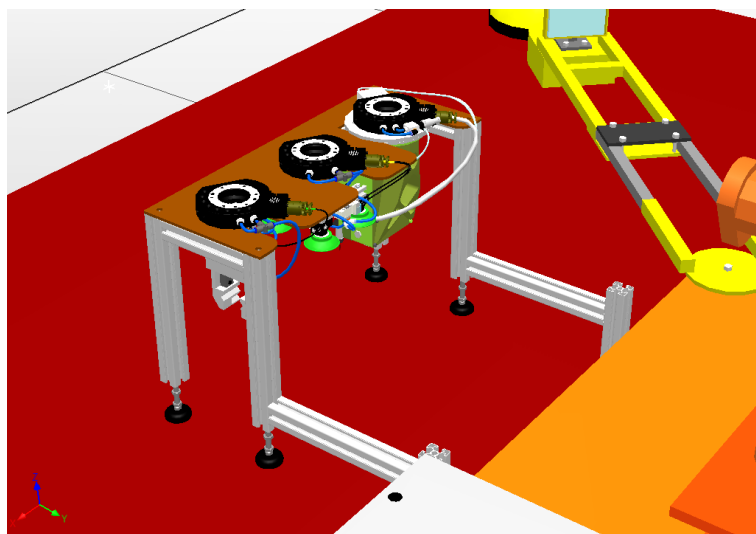


Figura V.43: Colocación de las herramientas en Robotstudio.

Las posiciones de cada herramienta con respecto al mundo son:

Tabla V.5: Posiciones de las herramientas.

POSICIONES DE LAS HERRAMIENTAS						
Nombre	Posición TCP (mm)			Giro (°)		
	x	y	z	x	y	z
Pinza mecánica	200	-1305	587	180	0	90
Garra neumática	-50	-1305	587	180	0	90
Herramienta mecanizado	-300	-1305	564	180	0	90

- **Material.**

El material involucrado en la célula robotizada virtual desarrollada por este Proyecto Fin de Carrera corresponde, como ya se ha visto, con los elementos constituyentes del bastidor del módulo de aguas, y las baldosas que se quieren mecanizar. En la siguiente figura se muestra la colocación de todos los materiales empleados y se detallan en la tabla siguiente:

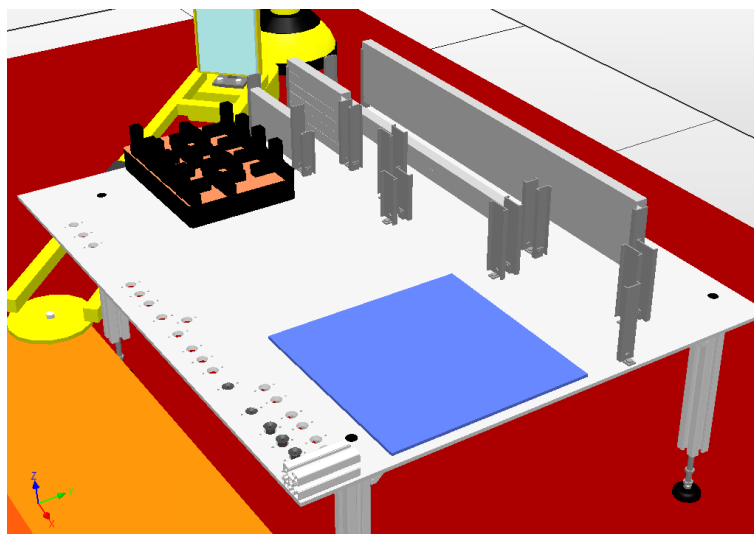


Figura V.44: Colocación del material en Robotstudio.

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

**Tabla V.6: Posiciones del material.**

POSICIONES DE LOS MATERIALES								
Nombre almacén	Nombre elemento	Posición (mm)			Giro (°)			
		x	y	z	x	y	z	
HL	hl1	-235,5	1485	669	0	0	0	
	hl2	-235,5	1485	644	0	0	0	
	hl3	-235,5	1485	619	0	0	0	
	hl4	-235,5	1485	594	0	0	0	
	hl5	-235,5	1485	569	0	0	0	
	hl6	-235,5	1485	544	0	0	0	
HM	hm1	-335.5	1385	569	0	0	0	
	hm2	-335.5	1385	544	0	0	0	
HC	hc1	-594	1285	669	0	0	0	
	hc2	-594	1285	644	0	0	0	
	hc3	-594	1285	619	0	0	0	
	hc4	-594	1285	594	0	0	0	
	hc5	-594	1285	569	0	0	0	
	hc6	-594	1285	544	0	0	0	
V	v1	-610.5	1185	619	0	0	0	
	v2	-610.5	1185	594	0	0	0	
	v3	-610.5	1185	569	0	0	0	
	v4	-610.5	1185	544	0	0	0	
RACORES	e1	-450.5	880	572.5	0	0	0	
	e2	-450.5	1095	572.5	0	0	-90	
	e3	-524.5	880	572.5	0	0	0	
	e4	-524.5	1095	572.5	0	0	-90	
	e5	-598.5	880	572.5	0	0	0	
	e6	-598.5	1095	572.5	0	0	-90	
	e7	-672.5	880	572.5	0	0	0	
	e8	-672.5	1095	572.5	0	0	-90	
	t1	-450.5	960	572.5	0	0	0	
	t2	-524.5	1015	572.5	0	0	180	
	t3	-598.5	960	572.5	0	0	0	
	t4	-672.5	1015	572.5	0	0	180	
	BALDOSAS	baldosa1	242.5	1000	524	0	0	0

### 5.2.2.2 Datos de programa.

Una vez colocados todos los elementos que forman parte de la célula robotizada, es necesario definir algunos datos de programa para el correcto funcionamiento de la simulación. Dichos datos son:

- Datos de herramienta.
- Objetos de trabajo.
- Tabla de eventos.

- **Datos de herramienta:**

En primer lugar, se van a definir los datos de herramienta para todas las herramientas involucradas. Los datos de herramienta son una variable de programa RAPID llamada “Tooldata”, la cual almacena información de la herramienta correspondiente. Dicha información consiste en las coordenadas del punto de trabajo (TCP) y del centro de gravedad (CDG) de la herramienta respecto de la muñeca del robot (tool0) y su peso. En la siguiente tabla, y posteriormente en la siguiente figura, se pueden ver los datos de herramienta para las tres herramientas implementadas más otro correspondiente al robot únicamente con el plato maestro, es decir, sin herramienta acoplada:

**Tabla V.7: Datos de herramienta.**

DATOS DE HERRAMIENTA													
Nombre	TCP						CDG						Peso (kg)
	Posición (mm)			Giro(°)			Posición (mm)			Giro(°)			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
Plato maestro	0	0	46.18	0	0	0	0	0	20	0	0	0	2
Pinza mecánica	0	0	304.18	0	0	0	0	0	150	0	0	0	5
Garra neumática	0	0	215.18	0	0	0	0	0	100	0	0	0	4.5
Herramienta mecanizado	-139.85	0	456.18	0	0	0	50	0	200	0	0	0	16.5

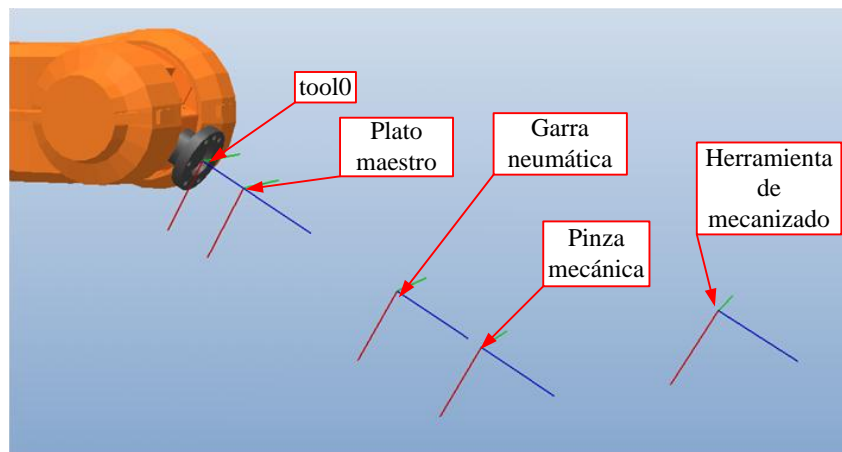


Figura V.45: Datos de herramienta.

- **Objetos de trabajo:**

En segundo lugar, aun no siendo necesarios, se definen los objetos de trabajo para una mayor claridad a la hora de crear puntos en la célula. Los objetos de trabajo son otra variable de programa RAPID llamada “Workobjekt” que crea un sistema de coordenadas utilizado para describir la posición de una zona de trabajo. Todas las posiciones que se programen serán relativas a la base de coordenadas del objeto, que a su vez es relativa a la base de coordenadas del mundo. Se han creado un total de diez objetos de trabajo resumidos en la siguiente tabla, y mostrados sobre la estación en la siguiente figura:

Tabla V.8: Objetos de trabajo.

OBJETOS DE TRABAJO						
Nombre	Posición (mm)			Giro (°)		
	x	y	z	x	y	z
Área_Ensamblaje	1532	31	176	0	0	90
Área_Mecanizado	1144.5	21	175	0	0	90
Área_Subensamblaje	400	722	129	0	0	180
Almacén_Herramientas	300	-1155	155	0	0	180
Almacén_HL	-235.5	1485	149	0	0	0
Almacén_HM	-335.5	1385	149	0	0	0
Almacén_HC	-594	1285	149	0	0	0
Almacén_V	-610.5	1185	149	0	0	0
Almacén_RACORES	-672.5	880	177.5	0	0	0
Almacén_Baldosas	242.5	1000	129	0	0	0

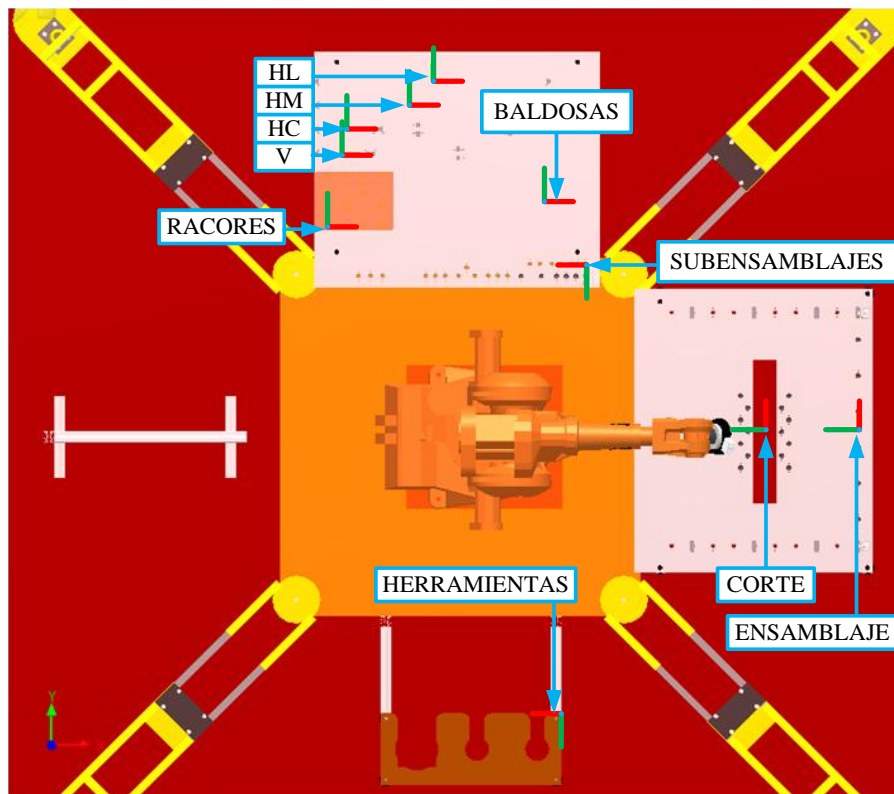


Figura V.46: Objetos de trabajo.

- **Tabla de eventos:**

En tercer lugar se define la tabla de eventos que es un elemento de apoyo para la simulación realizada mediante el cual los elementos se podrán mover, ocultar, visualizar o pegar a otros elementos entre otras cosas. Para utilizarla, primero es necesario crear una lista de señales virtuales. Una vez creada, se le asigna a cada una de ellas un elemento de la célula, y la acción que se quiere realizar. Para que dichas acciones tengan resultado será necesario introducir más adelante en el programa RAPID la activación y/o desactivación de la señal correspondiente. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre la señal el elemento y la acción realizada:



**Tabla V.9: Tabla de eventos.**

TABLA DE EVENTOS							
Señal	Elemento	Acción		Señal	Elemento	Acción	
		“1”	“0”			“1”	“0”
<b>tmp0</b>	Pinza	Conectar	Desconectar	<b>tmp20</b>	hc4	Conectar	Desconectar
<b>tmp1</b>	Garra	Conectar	Desconectar	<b>tmp21</b>	t3	Conectar	Desconectar
<b>tmp2</b>	Motor	Conectar	Desconectar	<b>tmp22</b>	hl5	Conectar	Desconectar
<b>tmp3</b>	e1	Conectar	Desconectar	<b>tmp23</b>	t4	Conectar	Desconectar
<b>tmp4</b>	hl1	Conectar	Desconectar	<b>tmp24</b>	hc5	Conectar	Desconectar
<b>tmp5</b>	e2	Conectar	Desconectar	<b>tmp25</b>	hc6	Conectar	Desconectar
<b>tmp6</b>	hm1	Conectar	Desconectar	<b>tmp26</b>	e7	Conectar	Desconectar
<b>tmp7</b>	hm2	Conectar	Desconectar	<b>tmp27</b>	hl6	Conectar	Desconectar
<b>tmp8</b>	e3	Conectar	Desconectar	<b>tmp28</b>	e8	Conectar	Desconectar
<b>tmp9</b>	hl2	Conectar	Desconectar	<b>tmp29</b>	v1	Conectar	Desconectar
<b>tmp10</b>	e4	Conectar	Desconectar	<b>tmp30</b>	v2	Conectar	Desconectar
<b>tmp11</b>	e5	Conectar	Desconectar	<b>tmp31</b>	v3	Conectar	Desconectar
<b>tmp12</b>	hl3	Conectar	Desconectar	<b>tmp32</b>	v4	Conectar	Desconectar
<b>tmp13</b>	e6	Conectar	Desconectar	<b>tmp33</b>	baldosa	Conectar	Desconectar
<b>tmp14</b>	hc1	Conectar	Desconectar	<b>tmp34</b>	pieza1	Visualizar	Ocultar
<b>tmp15</b>	hc2	Conectar	Desconectar	<b>tmp35</b>	pieza2	Visualizar	Ocultar
<b>tmp16</b>	t1	Conectar	Desconectar	<b>tmp36</b>	pieza3	Visualizar	Ocultar
<b>tmp17</b>	hl4	Conectar	Desconectar	<b>tmp37</b>	pieza4	Visualizar	Ocultar
<b>tmp18</b>	t2	Conectar	Desconectar	<b>tmp38</b>	baldosa	Visualizar	Ocultar
<b>tmp19</b>	hc3	Conectar	Desconectar				

### 5.2.2.3 Creación de puntos y trayectorias.

Este es el apartado en el que se describen las trayectorias realizadas por el robot. Se van a dividir según los tres procesos realizados en este Proyecto Fin de Carrera: en primer lugar las trayectorias correspondientes con el cambio de herramienta, en segundo lugar las correspondientes con el ensamblaje del bastidor, y por último las correspondientes con el mecanizado de baldosas:

- **Cambio de herramienta.**

Como se vio en el apartado de diseño hardware, este Proyecto Fin de Carrera se ha dedicado, entre otras cosas, a la implementación del sistema de cambio automático de herramienta. Una vez realizada la implementación hardware, en este apartado se describe el diseño del proceso mediante el cual el robot acopla y desacopla las herramientas.

El proceso de cambio de herramienta, es un proceso auxiliar de los procesos principales de mecanizado y ensamblado de la célula robotizada. Se ha separado de éstos, para mejorar la estructura y comprensión de los mismos cuando se creen los programas robóticos correspondientes, creando un único módulo llamado “Cambio de herramienta”, que contiene las rutinas necesarias para coger y dejar las herramientas, al que deberán acudir los procesos principales para utilizarlas.

Dicho proceso, mostrado en la siguiente figura, es similar para las tres herramientas con las que cuenta la célula robotizada:

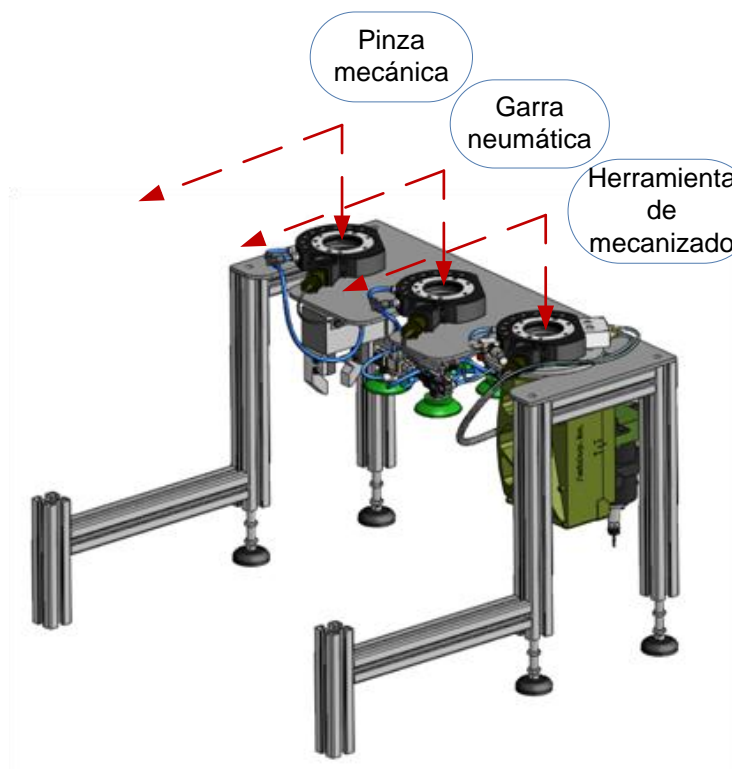


Figura V.47: Proceso cambio herramienta.

- **Secuencia de acople:**

Para que el robot pueda acoplar la herramienta requerida, debe situarse encima de ella y se debe accionar el mecanismo de acople. Una vez que la herramienta está acoplada al robot, éste debe subir y sacarla horizontalmente de la mesa siguiendo la trayectoria indicada en la figura anterior.

- **Secuencia de desacople:**

La secuencia de desacople es inversa a la anterior. Primero se mete la herramienta por la ranura de la mesa hasta colocarla encima de su posición, y después se baja hasta que la herramienta está en contacto con la mesa, activando en este momento el mecanismo de desacople.

En la siguiente figura podemos ver las trayectorias descritas por el robot para coger y dejar las tres herramientas diseñadas, utilizando el dato de herramienta correspondiente con el del plato maestro visto anteriormente:



Figura V.48: Trayectorias del cambio de herramienta.

- **Ensamblaje del bastidor del módulo de aguas.**

El ensamblaje del bastidor del módulo de aguas, requiere la creación de más de cien puntos, divididos en dieciséis funciones. Dicho bastidor consta de barras de distintas longitudes, y de los racores que las unen tal y como se vio en el Capítulo IV. La única herramienta empleada en este proceso es la pinza mecánica encargada de manipular dichas barras y racores.

Como se observa en el diagrama de flujo, el proceso está dividido en tres etapas, y cada etapa a su vez está dividida en funciones. Previamente, este proceso debe acudir al proceso de cambio de herramienta para acoplar la pinza con la que poder trabajar. Para realizar el ensamblado completo del módulo de aguas, antes de comenzar con la Etapa3, hay que realizar una etapa intermedia mediante la cual se ensambla el sistema de saneamiento diseñada y detallada en la Parte2 de éste proyecto.

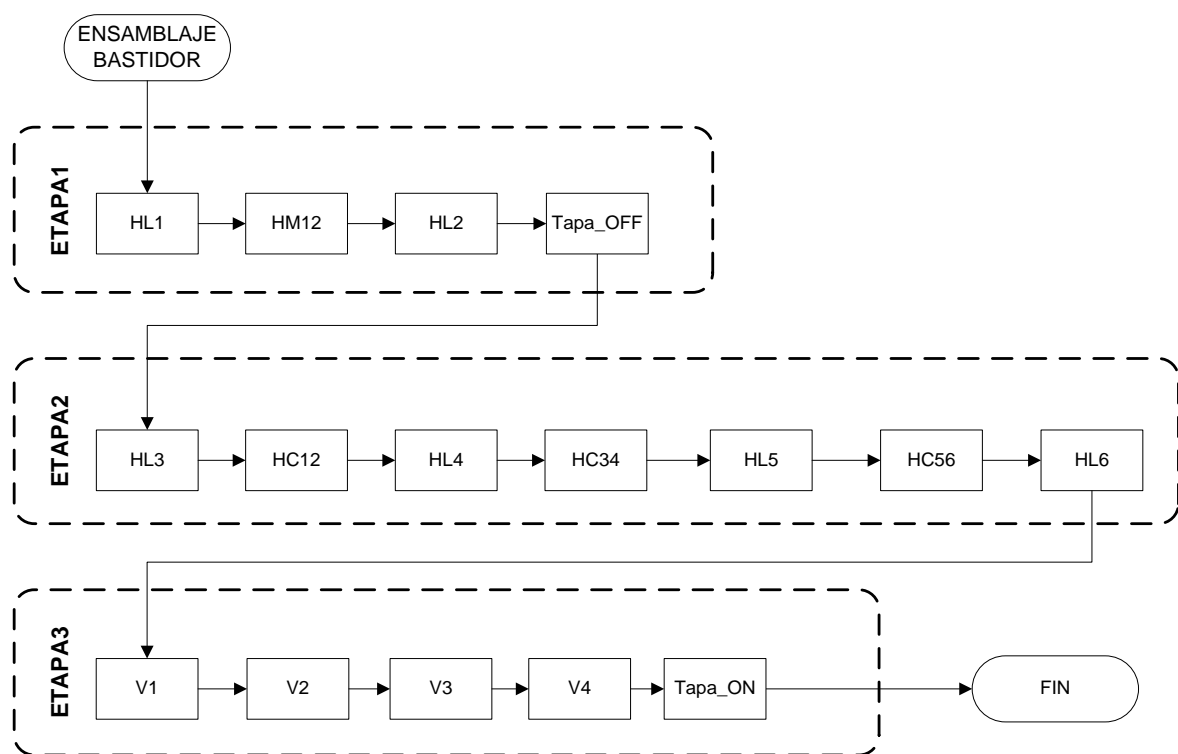


Figura V.49: Diagrama de flujo ensamblaje bastidor.

### **Etapa1: ENSAMBLADO Y RETIRADA DE LA TAPA.**

En esta etapa se ensambla la parte superior del bastidor llamada tapa, siendo retirada y almacenada en el almacén auxiliar para poder seguir ensamblando la base en la siguiente etapa.



Figura V.50: Tapa bastidor.

### **Etapa2: ENSAMBLADO DE LA BASE.**

En esta etapa se ensambla la parte inferior del bastidor llamada base, donde se ensamblarán los elementos del circuito de saneamiento.



Figura V.51: Base bastidor.

### **Etapa3: ENSAMBLADO DE LA TAPA EN LA BASE.**

Esta es la etapa final donde se ensamblan los dos productos ensamblados en las dos etapas anteriores, dando por finalizado el ensamblado del bastidor.

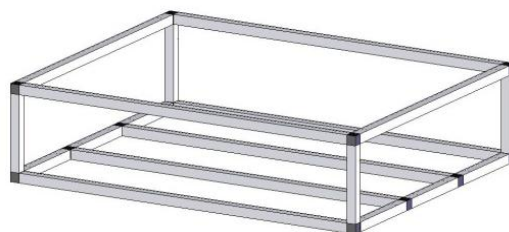


Figura V.52: Bastidor completo.

La Etapa1 y la Etapa2 operan de modo similar. Su funcionamiento se basa en dos tipos de funciones: funciones subensamblajes y funciones barras conectoras.

Las funciones subensamblajes, consisten en ensamblar dos racores iguales (eX ó tX) a una barra horizontal larga (hlX). Se realizan en el área de subensamblajes, de esta manera se ahorra tiempo en el transporte de los componentes a la mesa de ensamblaje. Dependiendo del tipo de racor que se ensamble, tenemos dos tipos de subensamblajes:

Subensamblaje esquinera: En donde se ensamblan dos racores esquineras (eX) en una barra horizontal larga. Se realizan un total de cuatro subensamblajes de este tipo: HL1 y HL2, para la Etapa1, y HL3 y HL6, para la Etapa2.



Figura V.53: Subensamblaje esquinera.

Subensamblaje "T": En donde se ensamblan dos racores Te (tX) en una barra horizontal larga. Se realizan un total de dos subensamblajes de este tipo: HL4 y HL5, que pertenecen a la Etapa2.



Figura V.54: Subensamblaje "T".

Las funciones barras conectoras, consisten en ensamblar barras horizontales medias (hmX) en la Etapa 1, o barras horizontales cortas (hcX) en la Etapa 2, que sirven para unir entre si los subensamblajes antes comentados. Se realizan un total de cuatro funciones barras conectoras, HM12 para la Etapa1 y HC12, HC34 y HC56 para la Etapa2.

A continuación se detallan los pasos seguidos y las trayectorias descritas por el robot a lo largo de cada una de las etapas vistas en el diagrama de flujo, utilizando el dato de herramienta correspondiente con la pinza visto anteriormente.

**ETAPA1: Ensamblado y retirada de la tapa:**

Los materiales empleados en esta etapa son: dos horizontales largas (hl1 y hl2), dos horizontales medianas (hm1 y hm2) y cuatro esquineras (e1, e2, e3 y e4). Las funciones realizadas son dos funciones subensamblajes (HL1 y HL2) y una función barras conectoras (HM12). En la siguiente figura podemos ver el resultado final tras concluir cada función, así como los elementos ensamblados en cada una:

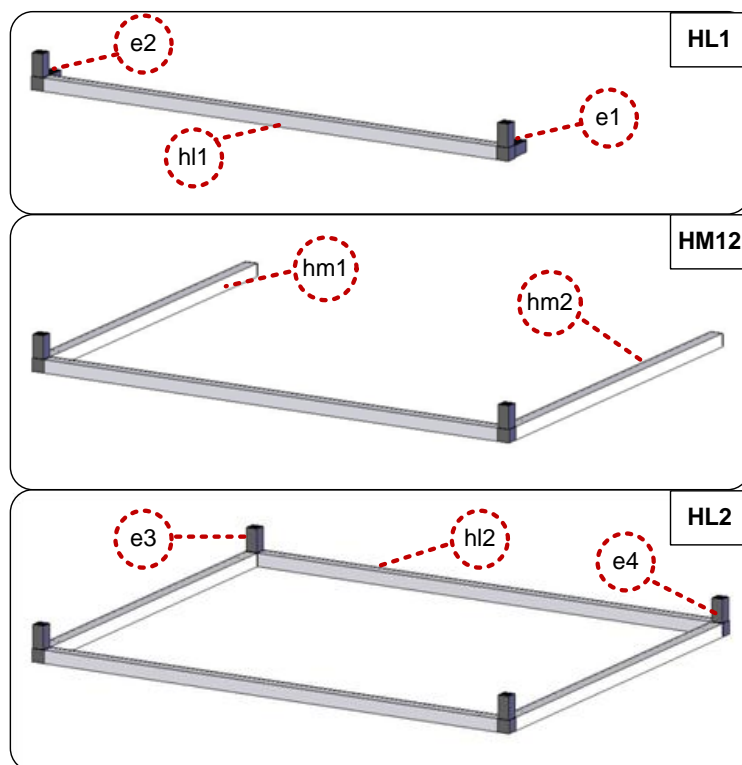


Figura V.55: Etapa1

Una vez concluido el ensamblaje de la tapa, se procede a su retirada mediante la función Tapa\_off. A continuación se van a detallar los pasos seguidos en cada función de esta etapa sobre el esquema de la célula y mostrando la trayectoria descrita por el robot.

○ Función HL1:

1. Se lleva una esquinera (e1) a la zona de subensamblaje
2. Se lleva una horizontal larga (hl1) a la zona de subensamblaje,
3. Se ensambla hl1 con e1.
4. Se lleva una esquinera (e2) a la zona de subensamblaje.
5. Se ensambla e2 con e1 y hl1.
6. Se lleva este subensamblaje HL1 a la mesa de ensamble.

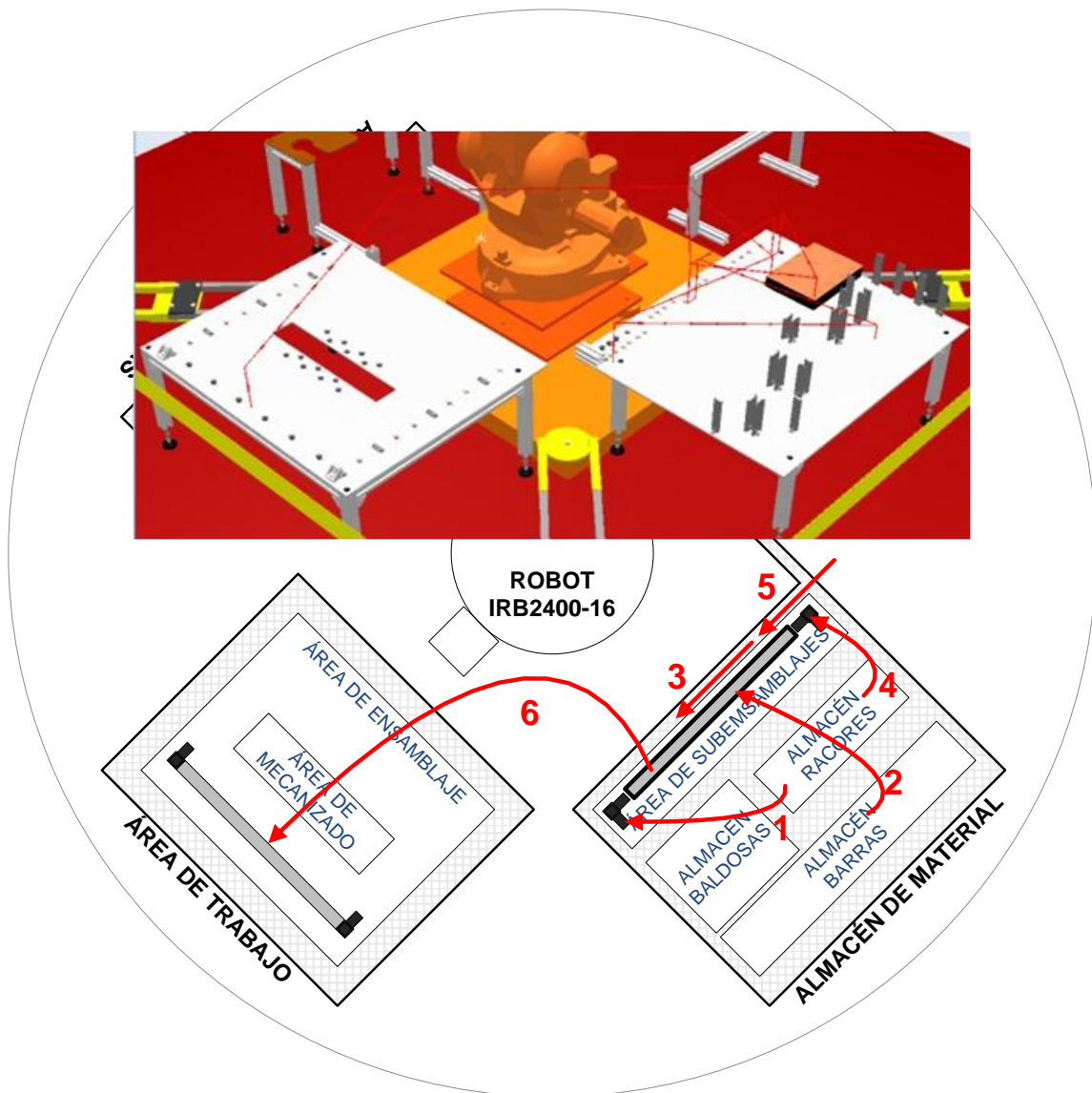


Figura V.56: Función HL1.



○ Función HM12:

7. Se lleva una horizontal media (hm1) a la mesa de ensamblaje.
8. Se ensambla hm1 con e2.
9. Se lleva una horizontal media (hm2) a la mesa de ensamblaje.
10. Se ensambla hm2 con e1.

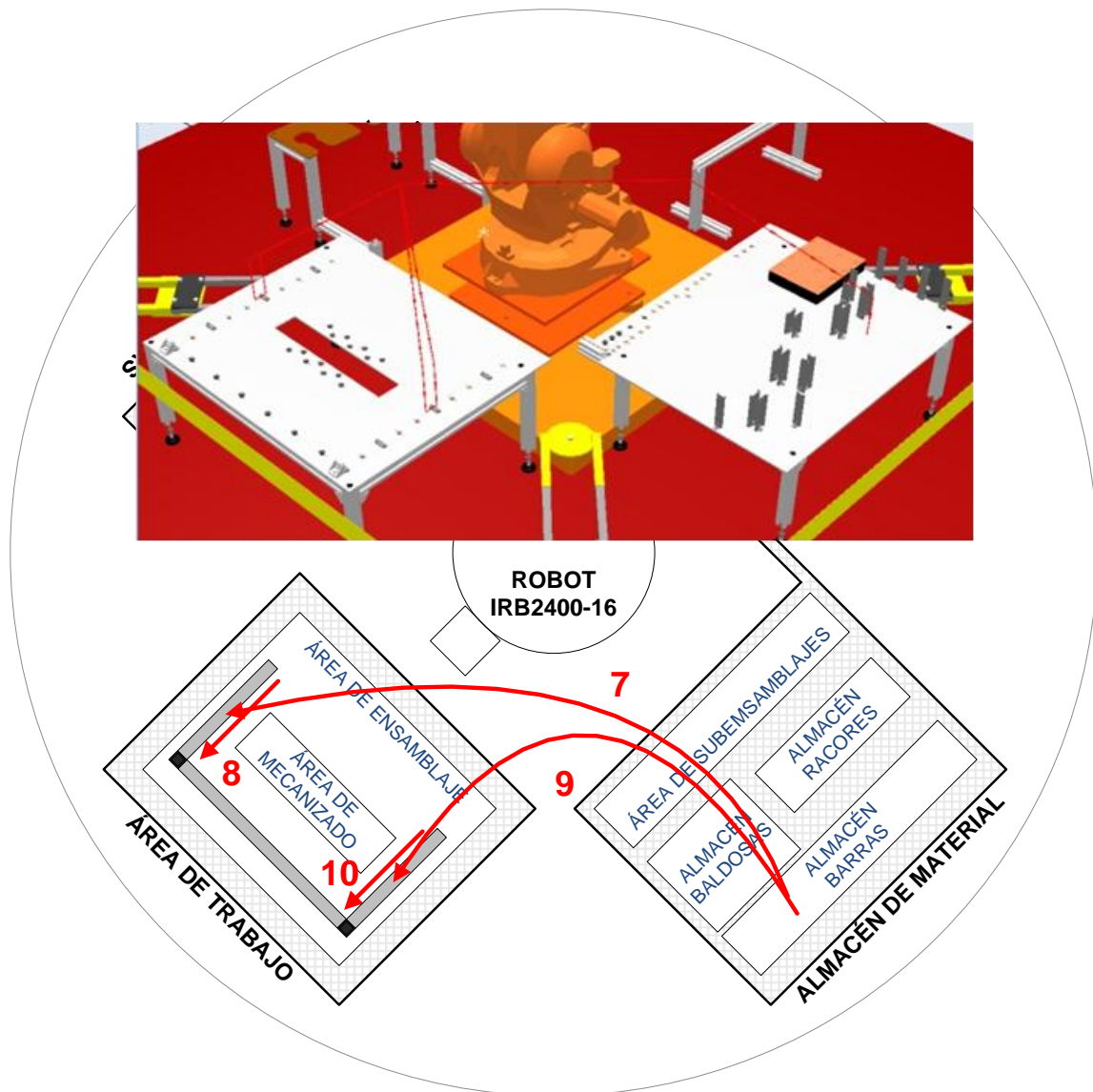


Figura V.57: Función HM12.

○ Función HL2:

11. Se lleva una esquinera (e3) a la zona de subensamblaje
12. Se lleva una horizontal larga (hl2) a la zona de subensamblaje,
13. Se ensambla hl2 con e3.
14. Se lleva una esquinera (e4) a la zona de subensamblaje.
15. Se ensambla e4 con e3 y hl2.
16. Se lleva este subensamblaje a la mesa de ensamblaje.
17. Se ensambla e3 con hm1 y e4 con hm2.

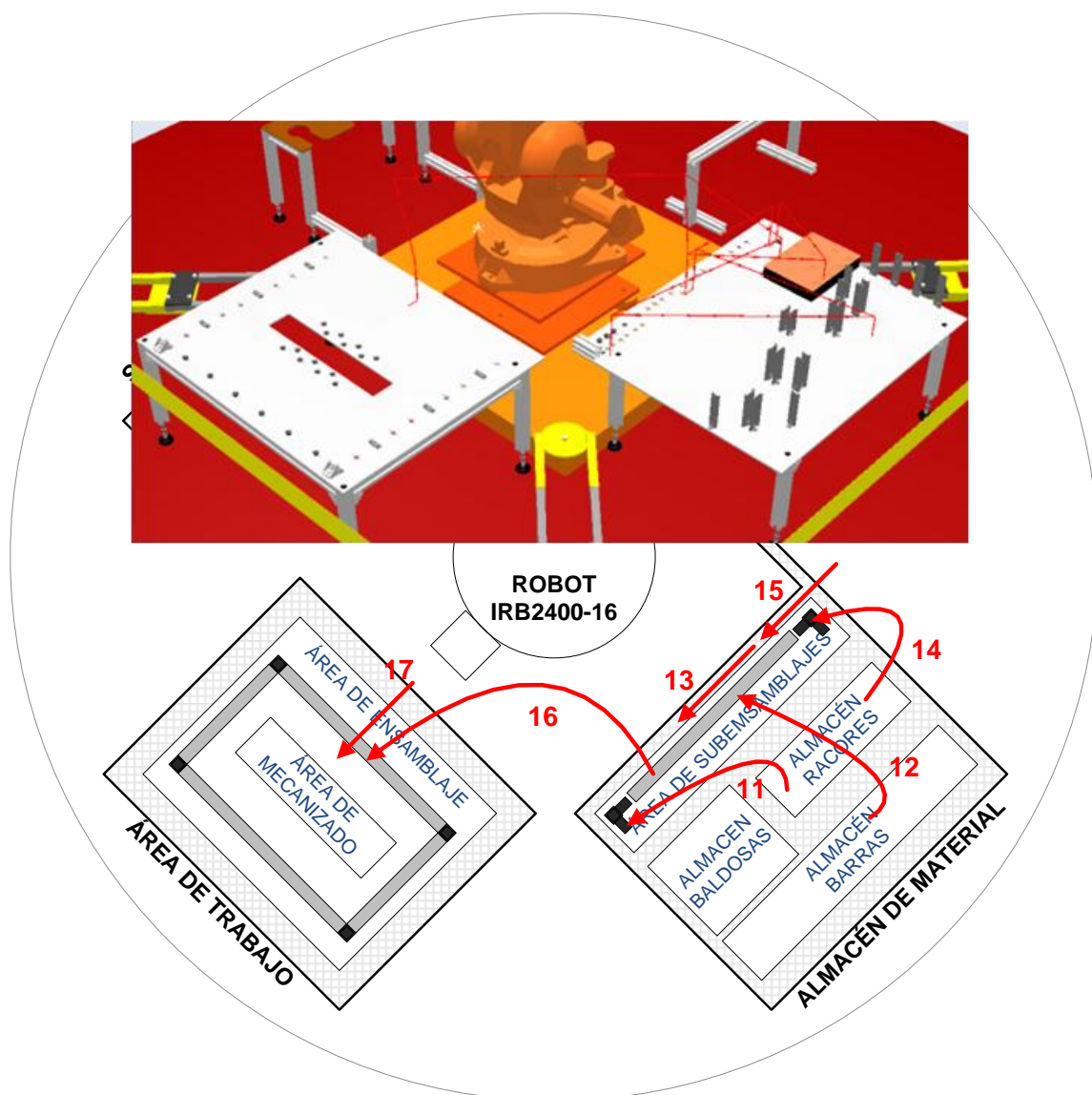
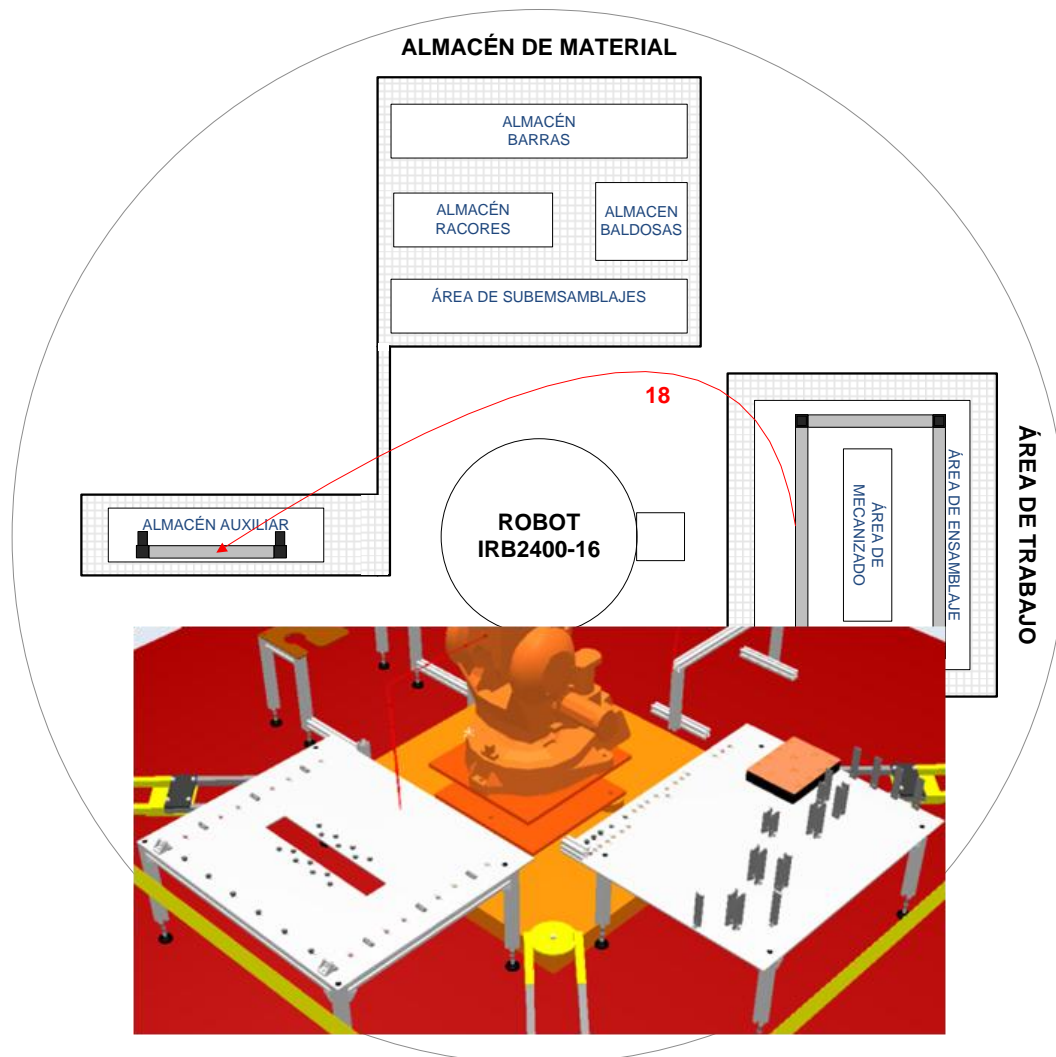


Figura V.58: Función HL2.

- Función Tapa\_OFF.

18. Se retira la tapa depositándola en el almacén auxiliar.



**ETAPA2: Ensamblado de la base:**

La base es el elemento del bastidor donde se ensambla el sistema de saneamiento del módulo de aguas. Consta de cuatro horizontales largas (hl3, hl4, hl5 y hl6), seis horizontales cortas (hc1, hc2, hc3, hc4, hc5 y hc6), cuatro esquineras (e5, e6, e7 y e8) y cuatro “T” (t1, t2, t3 y t4). Las funciones realizadas en orden son: HL3, HC12, HL4, HC34, HL5, HC56 y HL6. En la siguiente figura podemos ver el resultado final tras concluir cada función, así como los elementos ensamblados en cada una:

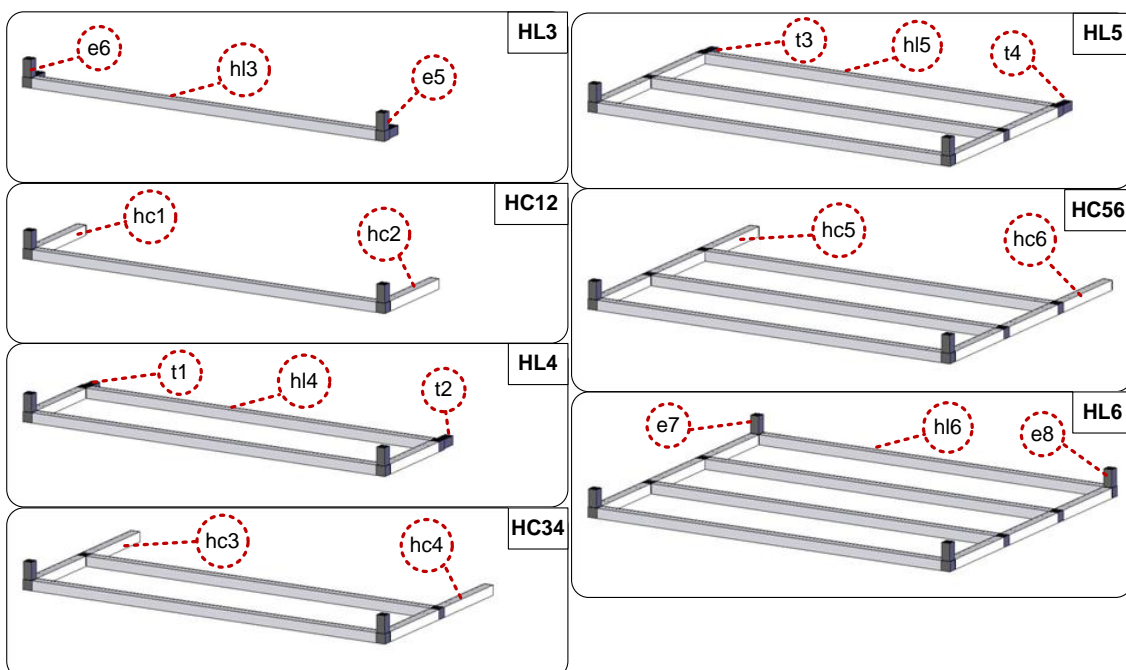


Figura V.60: Etapa2.

A continuación se van a detallar los pasos seguidos en cada función de esta etapa sobre el esquema de la célula y mostrando la trayectoria descrita por el robot.

○ Función HL3:

1. Se lleva una esquinera (e5) a la zona de subensamblaje
2. Se lleva una horizontal larga (hl3) a la zona de subensamblaje,
3. Se ensambla hl3 con e5.
4. Se lleva una esquinera (e6) a la zona de subensamblaje.
5. Se ensambla e6 con e5 y hl3.
6. Se lleva este subensamblaje a la mesa de ensamblaje.

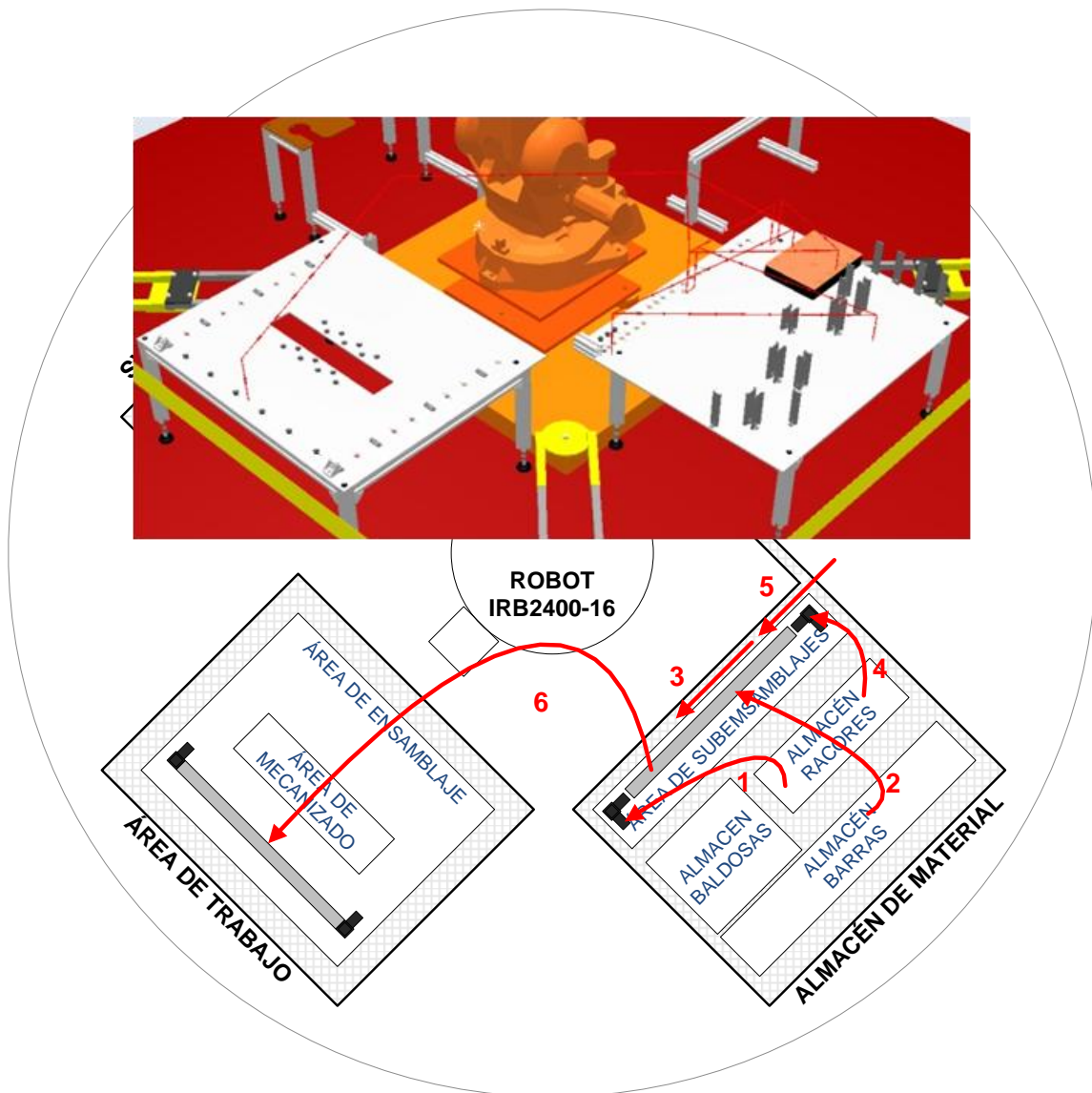


Figura V.61: Función HL3.

○ Función HC12:

7. Se lleva una horizontal corta (hc1) a la mesa de ensamblaje.
8. Se ensambla hc1 con e6.
9. Se lleva una horizontal corta (hc2) a la mesa de ensamblaje.
10. Se ensambla hc2 con E5.

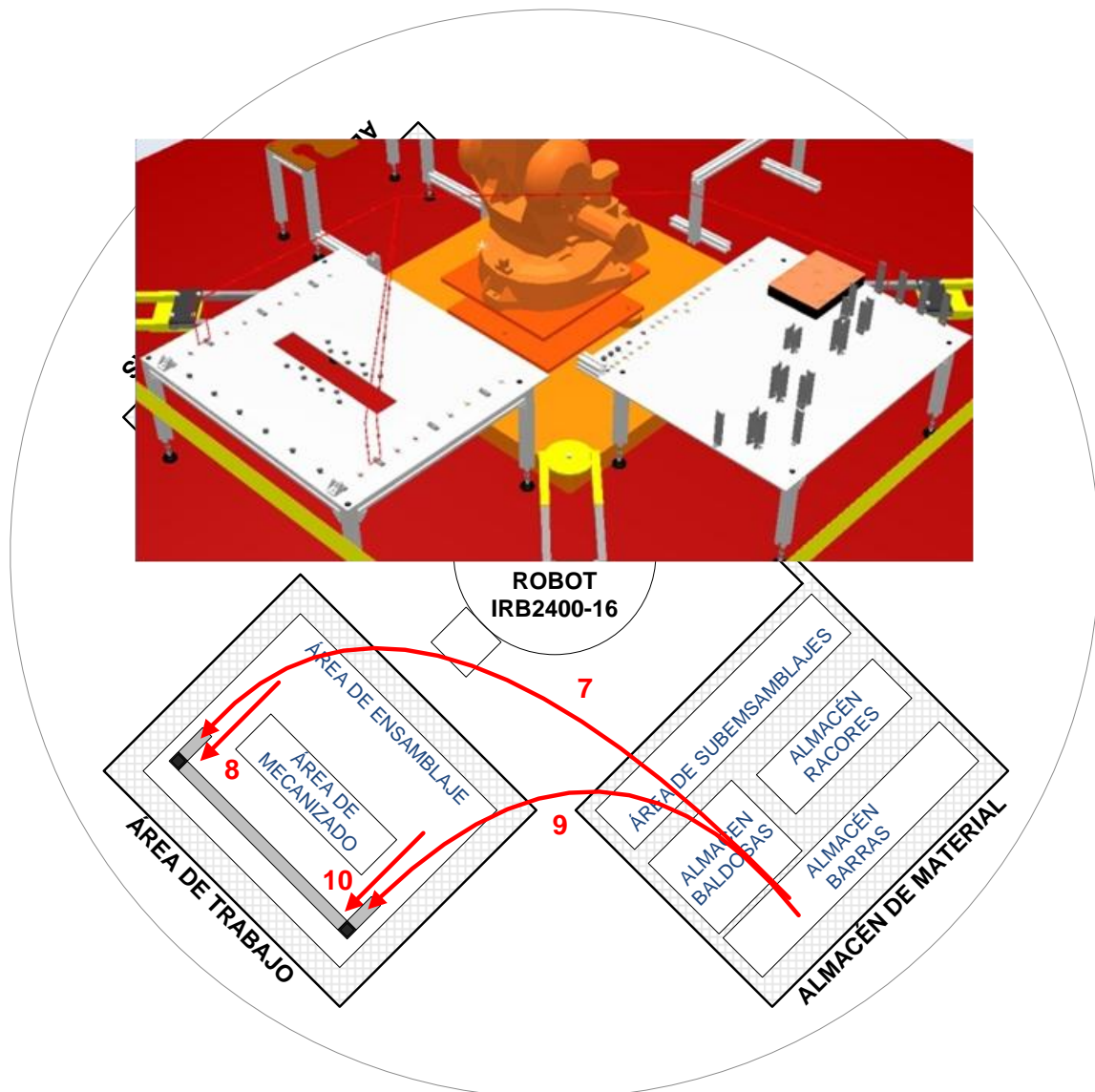


Figura V.62: Función HC12.



○ Función HL4:

11. Se lleva una te (t1) a la zona de subensamblaje
12. Se lleva una horizontal larga (hl4) a la zona de subensamblaje,
13. Se ensambla hl4 con t1.
14. Se lleva una te (t2) a la zona de subensamblaje.
15. Se ensambla t2 con hl4 y t1.
16. Se lleva este subensamblaje a la mesa de ensamblaje.
17. Se ensambla t1 con hc1 y t2 con hc2.

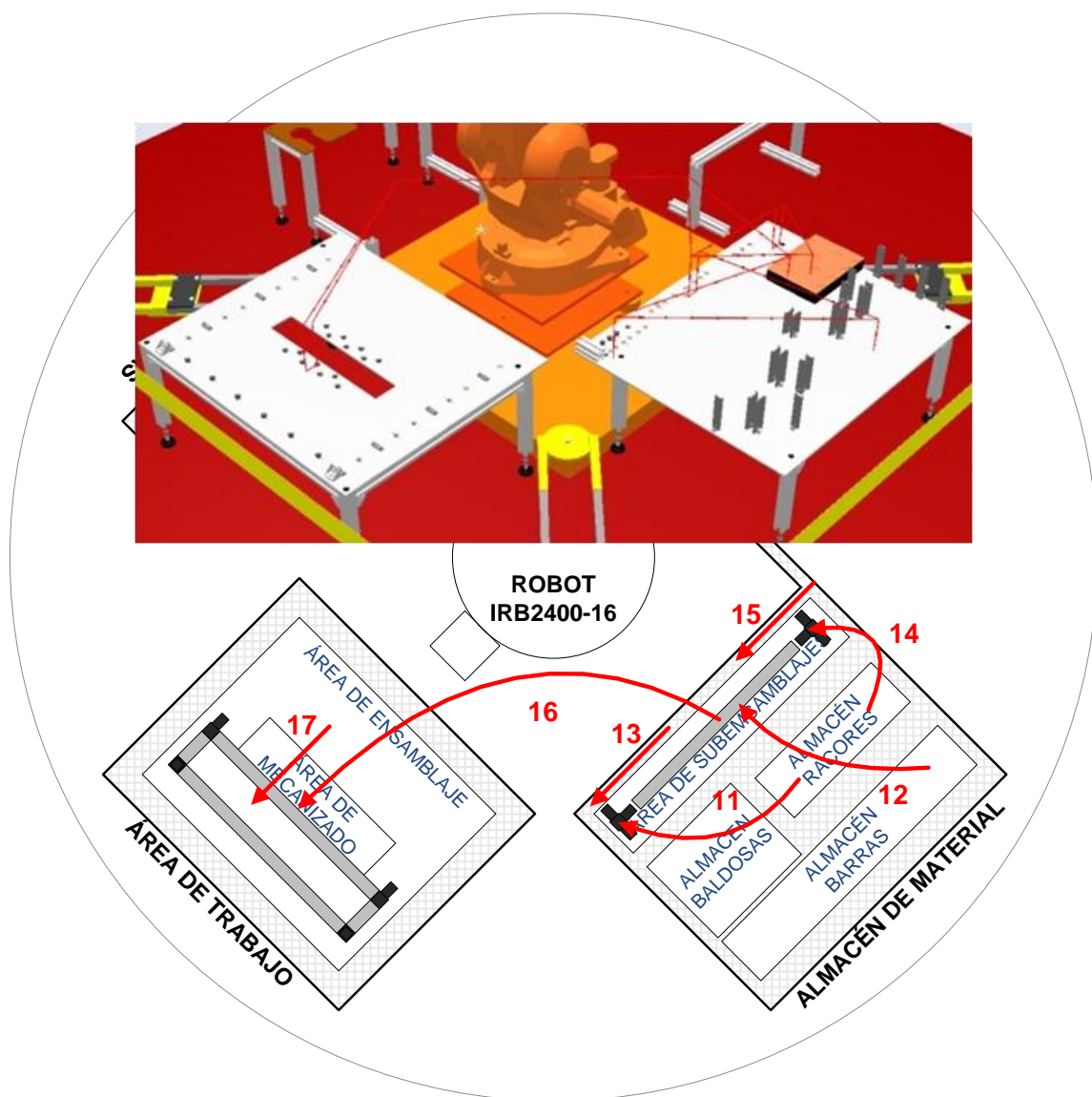


Figura V.63: Función HL4.

○ Función HC34:

18. Se lleva una horizontal corta (hc3) a la mesa de ensamblaje.
19. Se ensambla hc3 con t1.
20. Se lleva una horizontal corta (hc4) a la mesa de ensamblaje.
21. Se ensambla hc4 con t2.

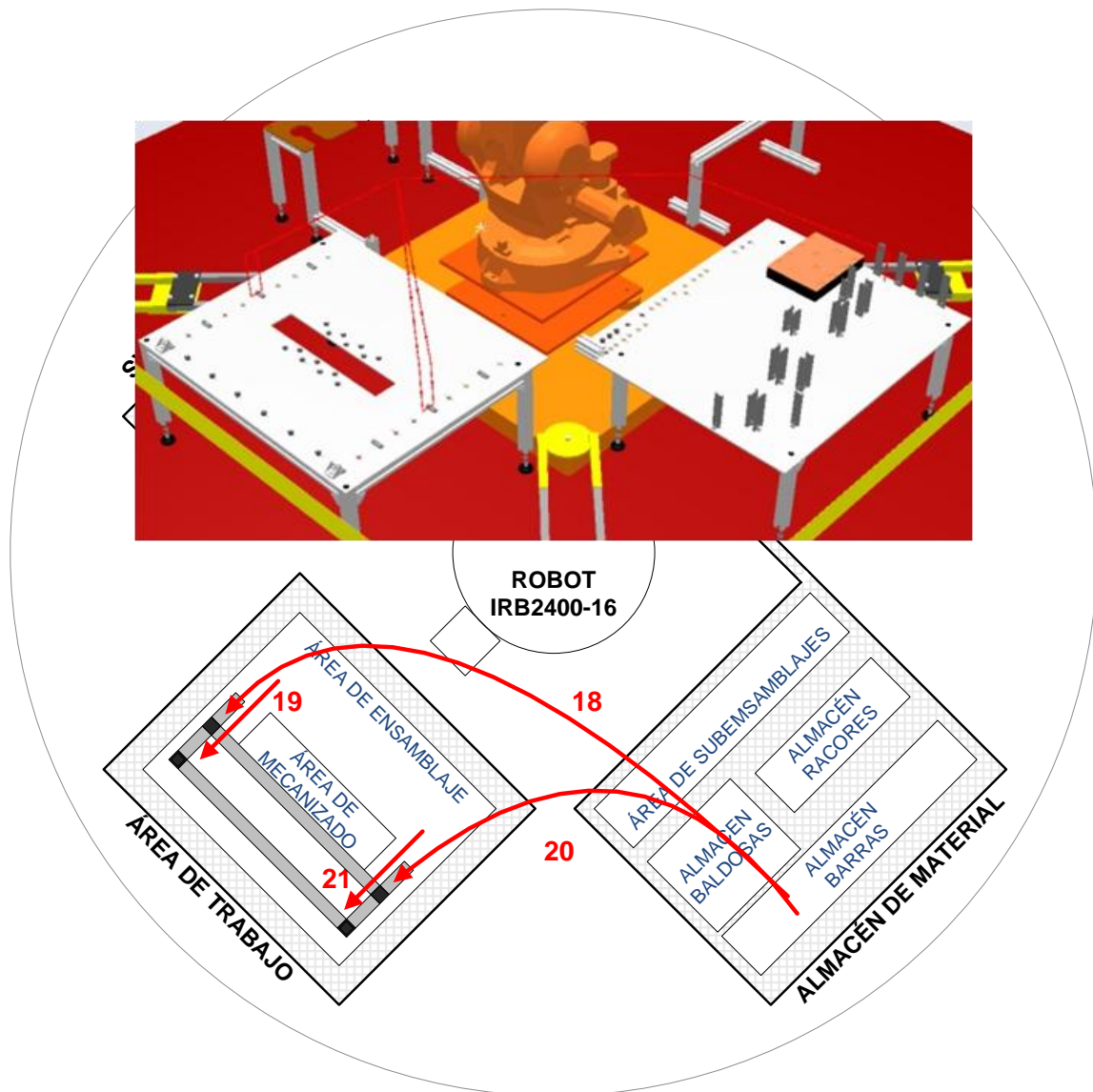


Figura V.64: Función HC34.



○ Función HL5:

22. Se lleva una te (t3) a la zona de subensamblaje
23. Se lleva una horizontal larga (hl5) a la zona de subensamblaje,
24. Se ensambla hl5 con t3.
25. Se lleva una te (t4) a la zona de subensamblaje.
26. Se ensambla t4 con hl5 y t3.
27. Se lleva este subensamblaje a la mesa de ensamblaje.
28. Se ensambla T3 con hc3 y t4 con hc4.

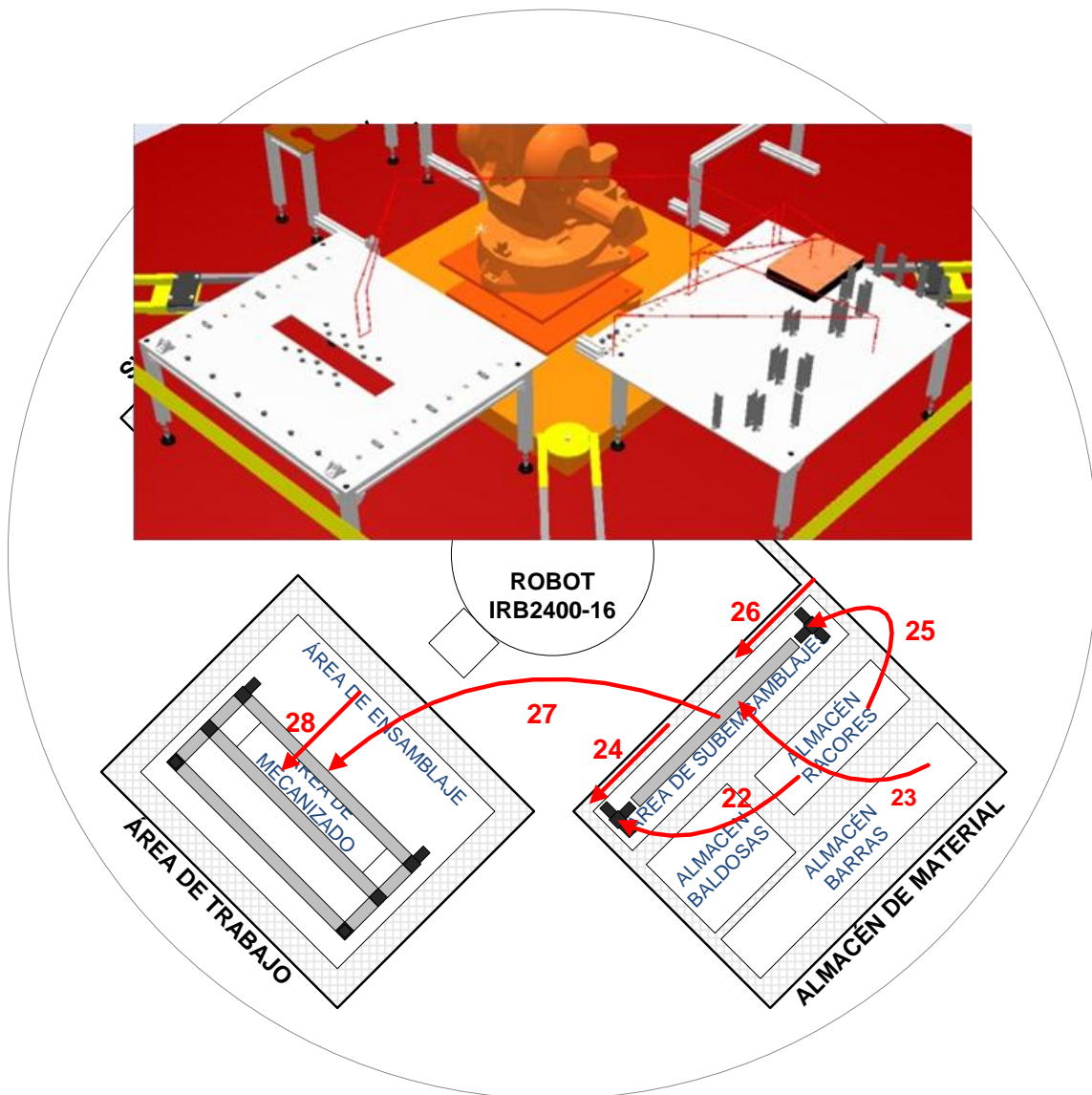


Figura V.65: Función HL5.

○ Función HC56:

29. Se lleva una horizontal corta (hc5) a la mesa de ensamblaje.

30. Se ensambla hc5 con t3.

31. Se lleva una horizontal corta (hc6) a la mesa de ensamblaje.

32. Se ensambla hc6 con t4.

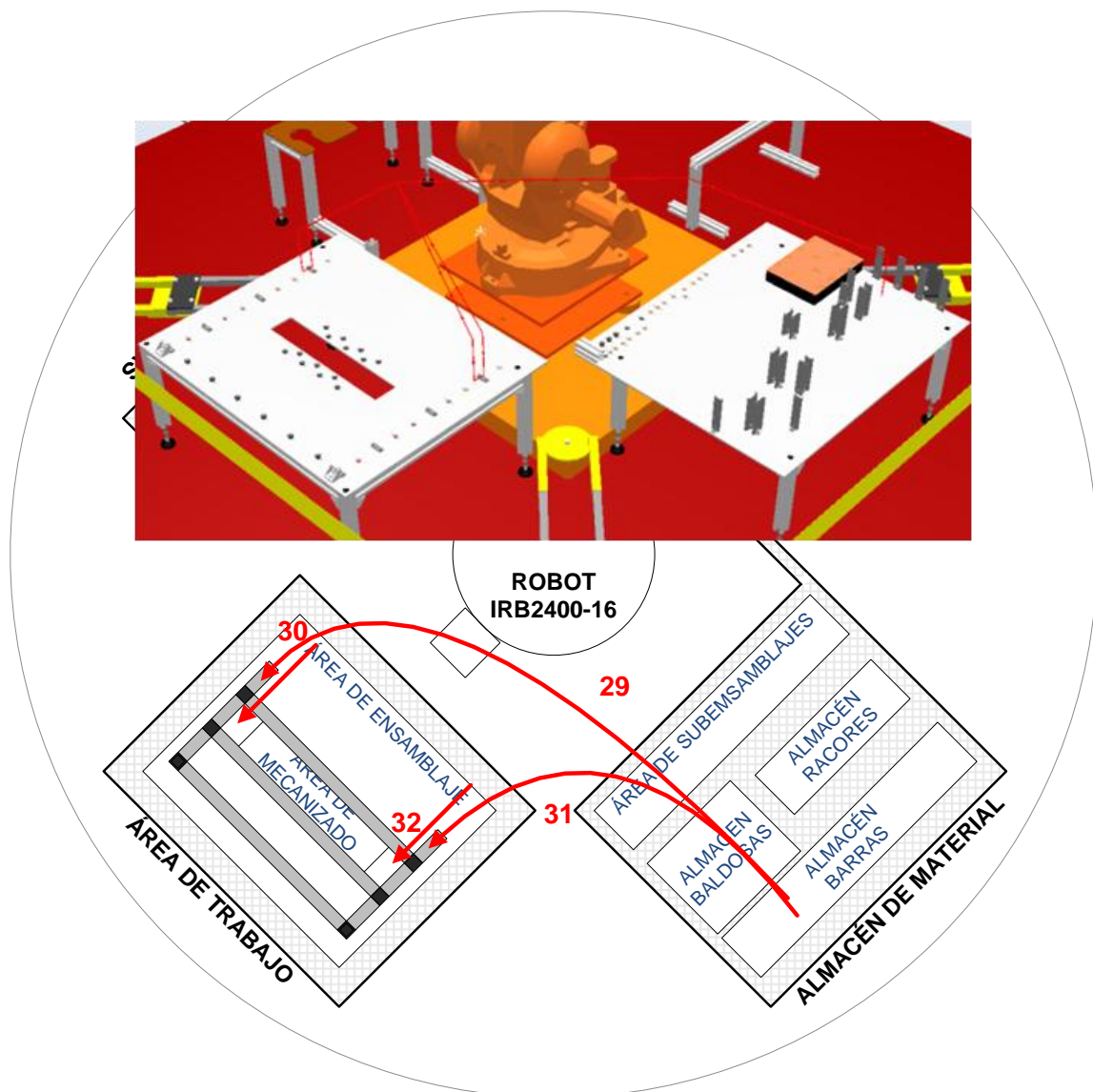


Figura V.66: Función HC56.

○ Función HL6:

33. Se lleva una esquinera (e7) a la zona de subensamblaje
34. Se lleva una horizontal larga (hl6) a la zona de subensamblaje,
35. Se ensambla hl6 con e7.
36. Se lleva una esquinera (e8) a la zona de subensamblaje.
37. Se ensambla e8 con hl6 y e7.
38. Se lleva este subensamblaje a la mesa de ensamblaje.
39. Se ensambla e7 con hc5 y e8 con hc6.

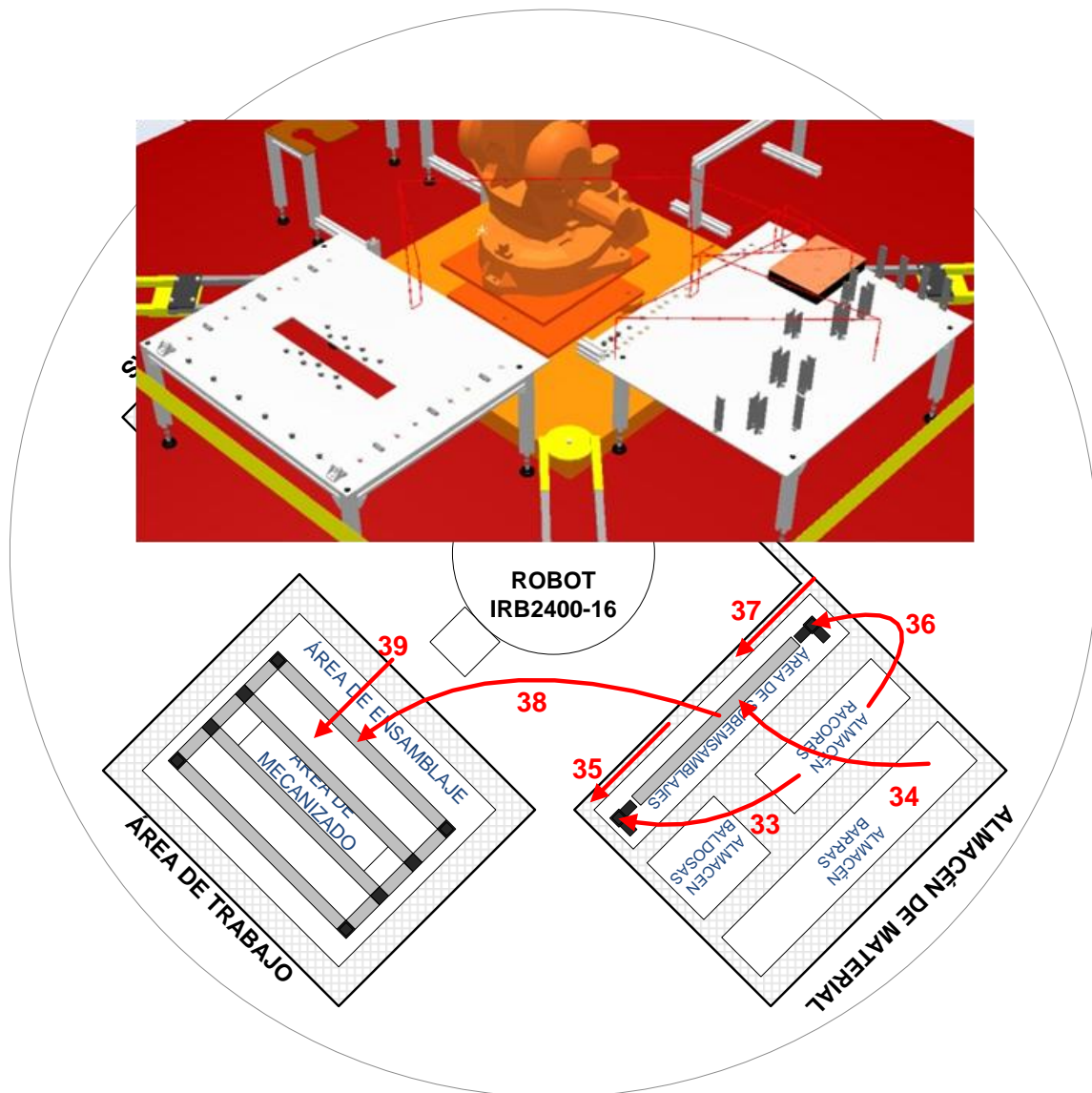


Figura V.67: Función HL6.

**ETAPA3: Ensamblado de la tapa a la base:**

En esta etapa disponemos de cuatro verticales (v1, v2, v3 y v4), la tapa y la base previamente ensambladas. En las siguientes figuras podemos ver el resultado final tras concluir cada función:

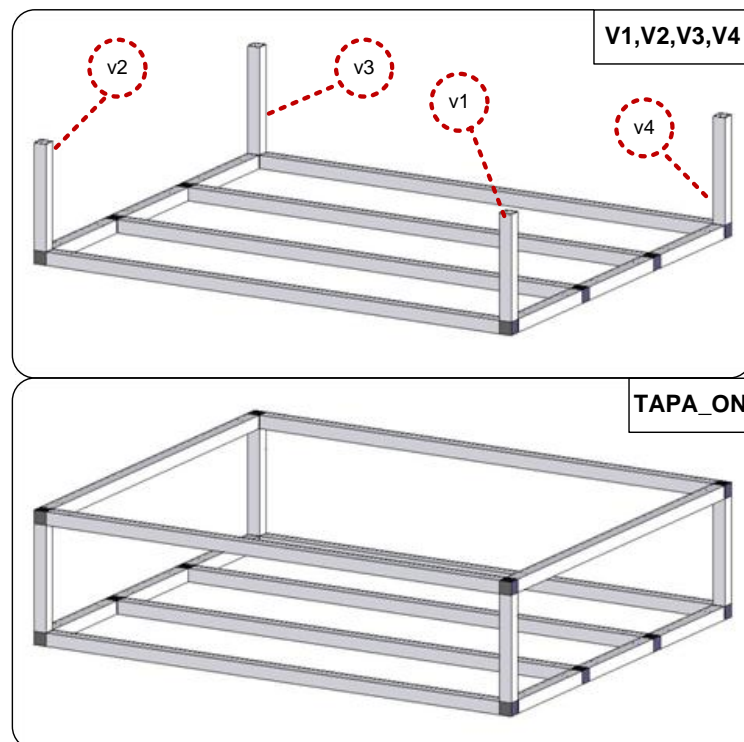


Figura V.68: Etapa3.

Éste es el resultado final de esta etapa y del proceso completo, con lo que queda concluido el ensamblaje del bastidor A continuación se detallan los pasos seguidos en cada función:

○ Función V1, V2, V3 y V4:

1. Se ensambla v1 en e5.
2. Se ensambla v2 en e6.
3. Se ensambla v3 en e7.
4. Se ensambla v4 en e8.

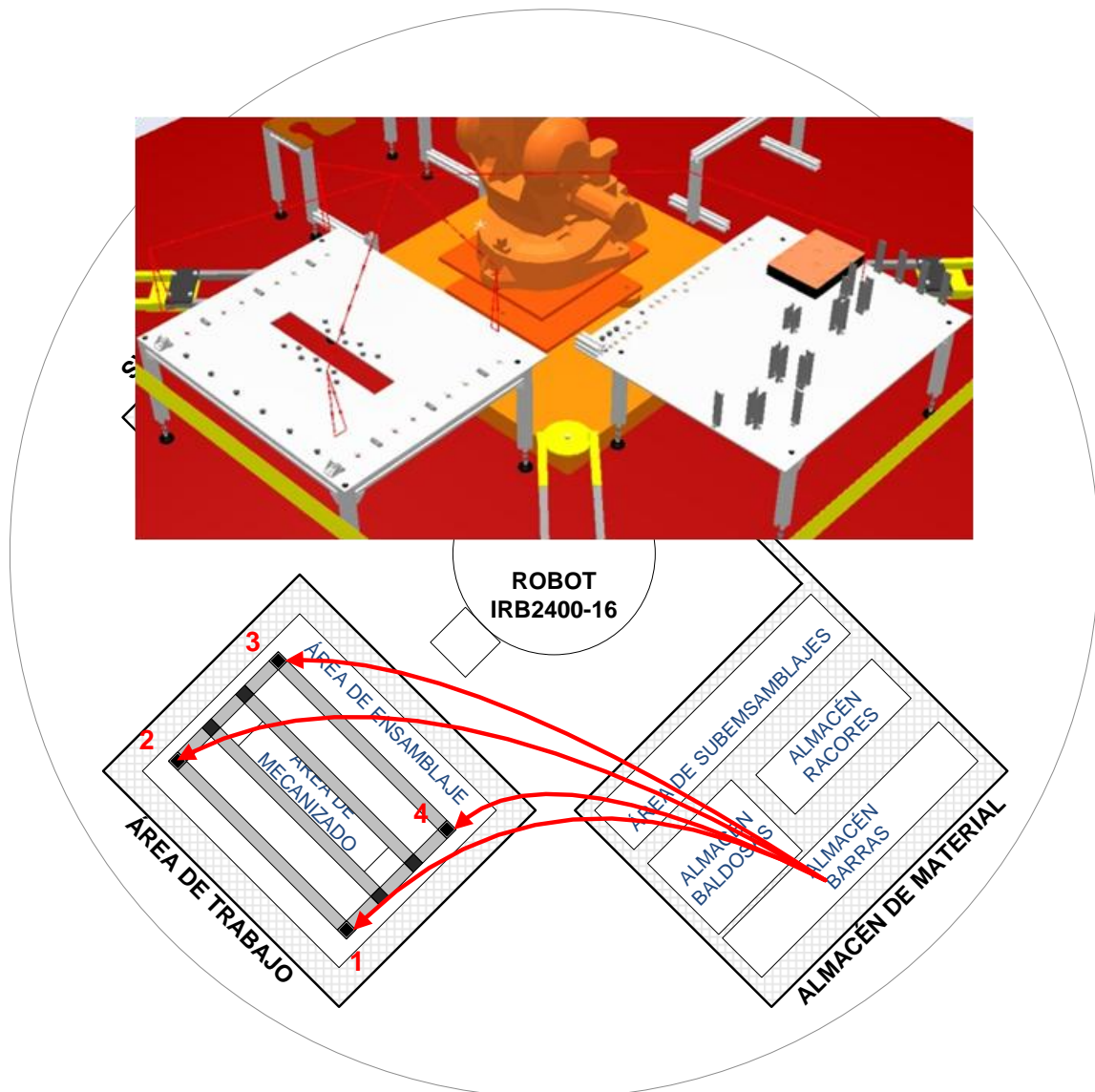


Figura V.69: Función V1, V2, V3 y V4.

- Función Tapa\_ON:

5. Se coge la tapa y se pone encima de las verticales.

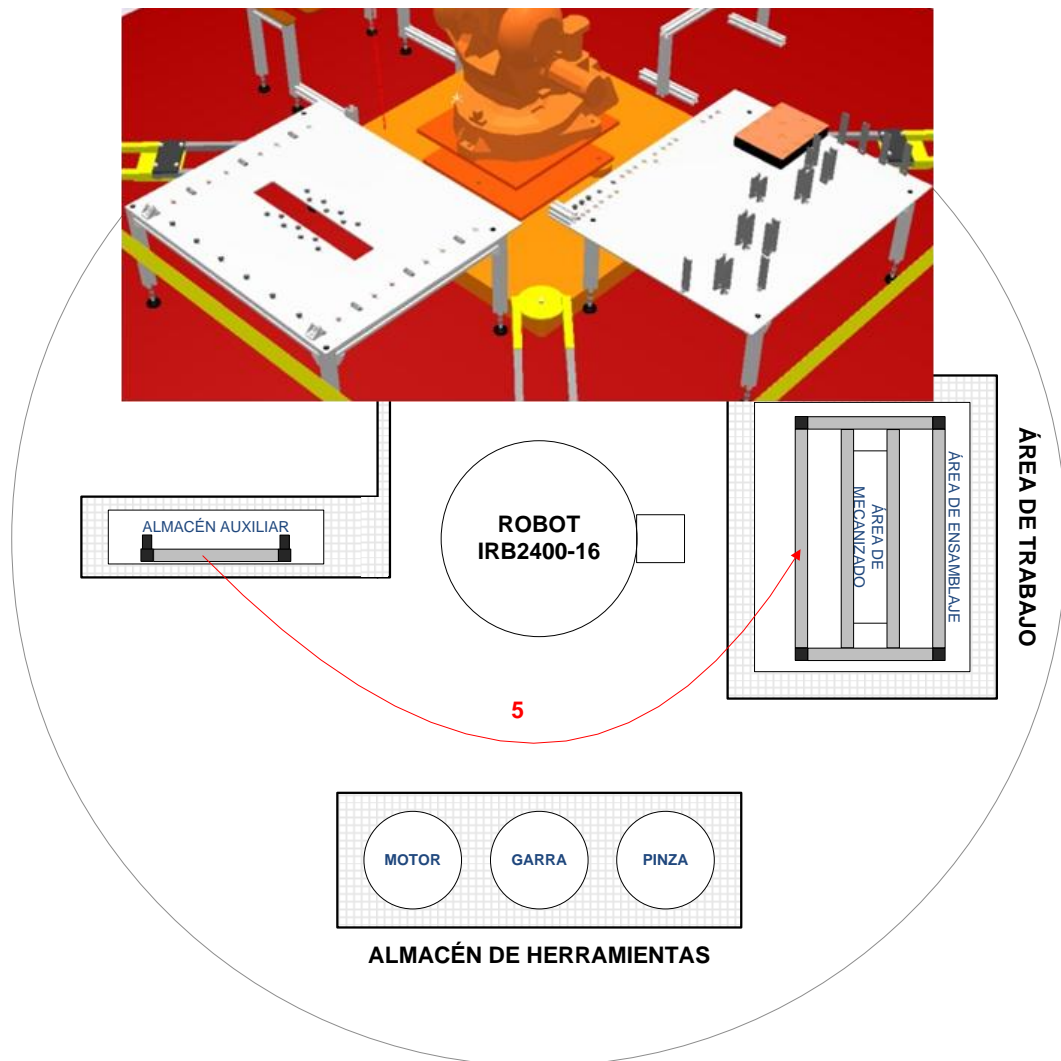


Figura V.70: Función Tapa\_On.



En la siguiente figura se muestran todos los puntos y trayectorias implicados en el ensamblaje del bastidor, donde se puede apreciar la complejidad del proceso, y el trabajo necesario para realizarlo.

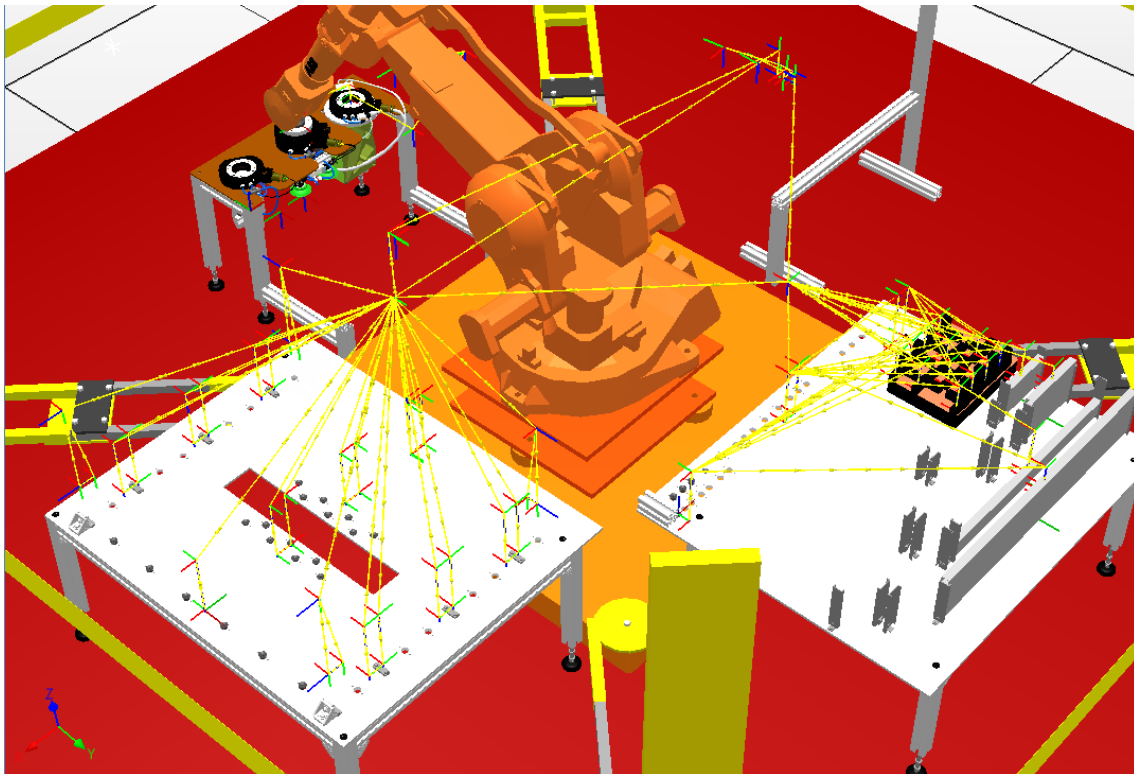


Figura V.71: Ensamblaje del bastidor completo.

- **Mecanizado de piezas grandes.**

En este apartado se describirá el proceso de corte de baldosa. Las herramientas empleadas son la garra neumática, para manipular la baldosa, y la herramienta de mecanizado para realizar el corte. El único material empleado son las baldosas que se quieren cortar.

El proceso de mecanizado realizado en este Proyecto Fin de Carrera corresponde con el de mecanizado de piezas grandes visto en el Capítulo IV. Los cuatro mecanizados realizados dan como resultado las cuatro piezas siguientes:

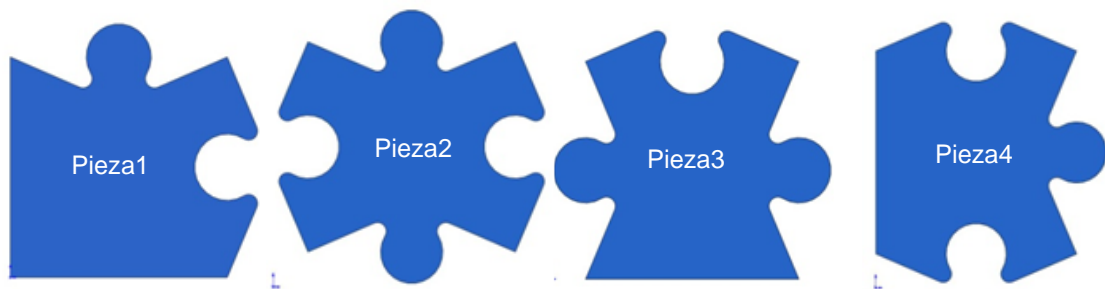


Figura V.72: Mecanizado de piezas grandes.

Como ya se comentó en capítulos anteriores, estos mecanizados sirven de ejemplo para mostrar la flexibilidad que se logra robotizando el proceso de mecanizado, pudiendo realizar una amplia variedad de trabajos sobre las baldosas, los cuales, resultaría de gran complejidad realizarlos manualmente.

Una vez definidos los mecanizados que se quieren realizar, se diseña el proceso correspondiente. Como se observa en el diagrama de flujo, el proceso está dividido en dos etapas bien diferenciadas:

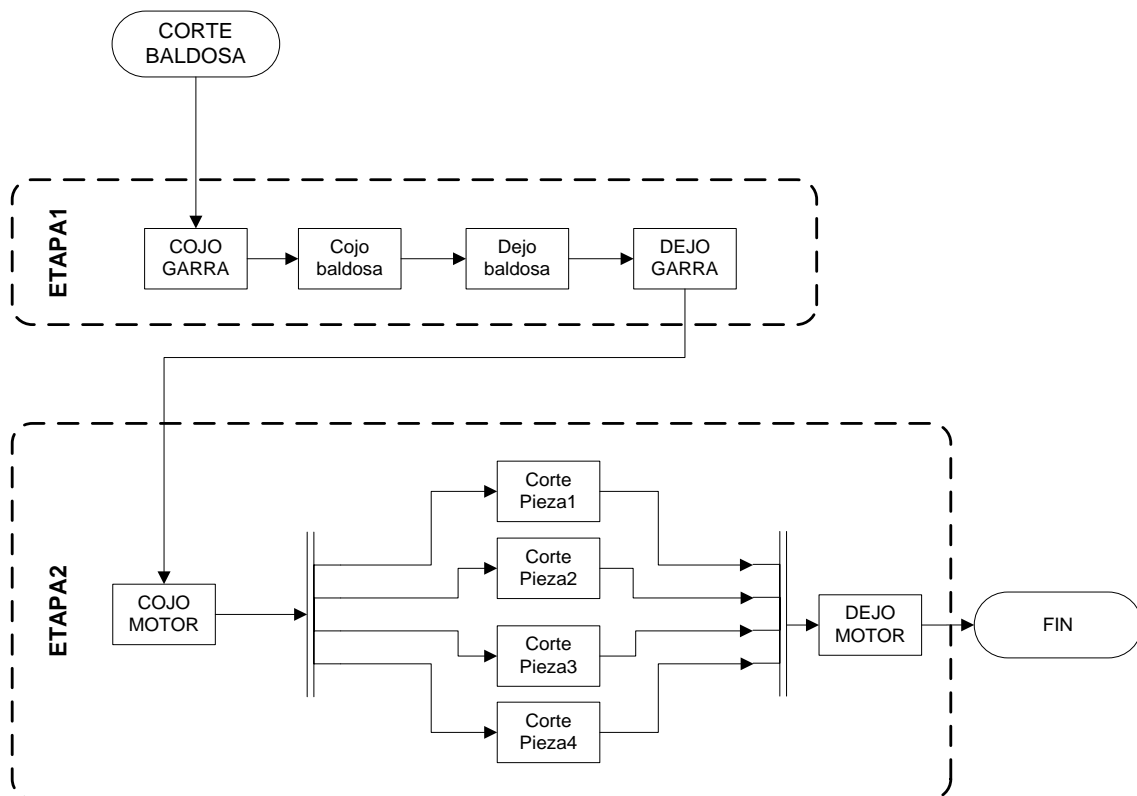


Figura V.73: Diagrama de flujo del mecanizado de piezas grandes.



- **Etapa1: MANIPULACIÓN DE LA BALDOSA:**

En esta etapa, mediante la garra neumática, se manipula la baldosa a mecanizar, transportándola desde el almacén de baldosas, hasta el área de mecanizado donde se realizarán los distintos trabajos.

- **Etapa2: MECANIZADO DE LA BALDOSA:**

Una vez dispuesta la baldosa para ser mecanizada, en esta etapa, se realizan los distintos cortes dependiendo de la pieza que se quiera fabricar. Dichos cortes se realizan mediante la herramienta de mecanizado provista de una fresa.

La creación de puntos para el mecanizado de las baldosas, debido a la complejidad de la trayectoria a seguir por el robot, ha sido realizada mediante diversas funciones de apoyo proporcionadas por el programa ROBOTSTUDIO. Primero se deben importar los modelos CAD de las piezas a cortar, y colocarlas donde van a ser realizados los mecanizados. Una vez colocadas en el lugar correspondiente, mediante la opción “crear curva alrededor de superficie” crearemos la curva que debe describir el robot para realizar el mecanizado deseado. Mediante la opción “crear trayectoria a partir de curva” se crearán de manera automática mediante la asignación de algunos parámetros, una serie de puntos alrededor de dicha curva, quedando la trayectoria completamente definida.

A continuación se detallan los pasos seguidos y las trayectorias descritas por el robot a lo largo de cada una de las etapas vistas en el diagrama de flujo, donde se han obviado las funciones correspondientes con los cambios de herramienta debido a que ya han sido comentadas y se han utilizado los datos de herramienta de la garra y del motor vistos anteriormente para la manipulación y el mecanizado respectivamente:

- ETAPA1: Manipulación de la baldosa:
  1. Función Cojo\_Garra:
  2. Función Cojo baldosa:
  3. Función Dejo baldosa:
  4. Función Dejo\_Garra:

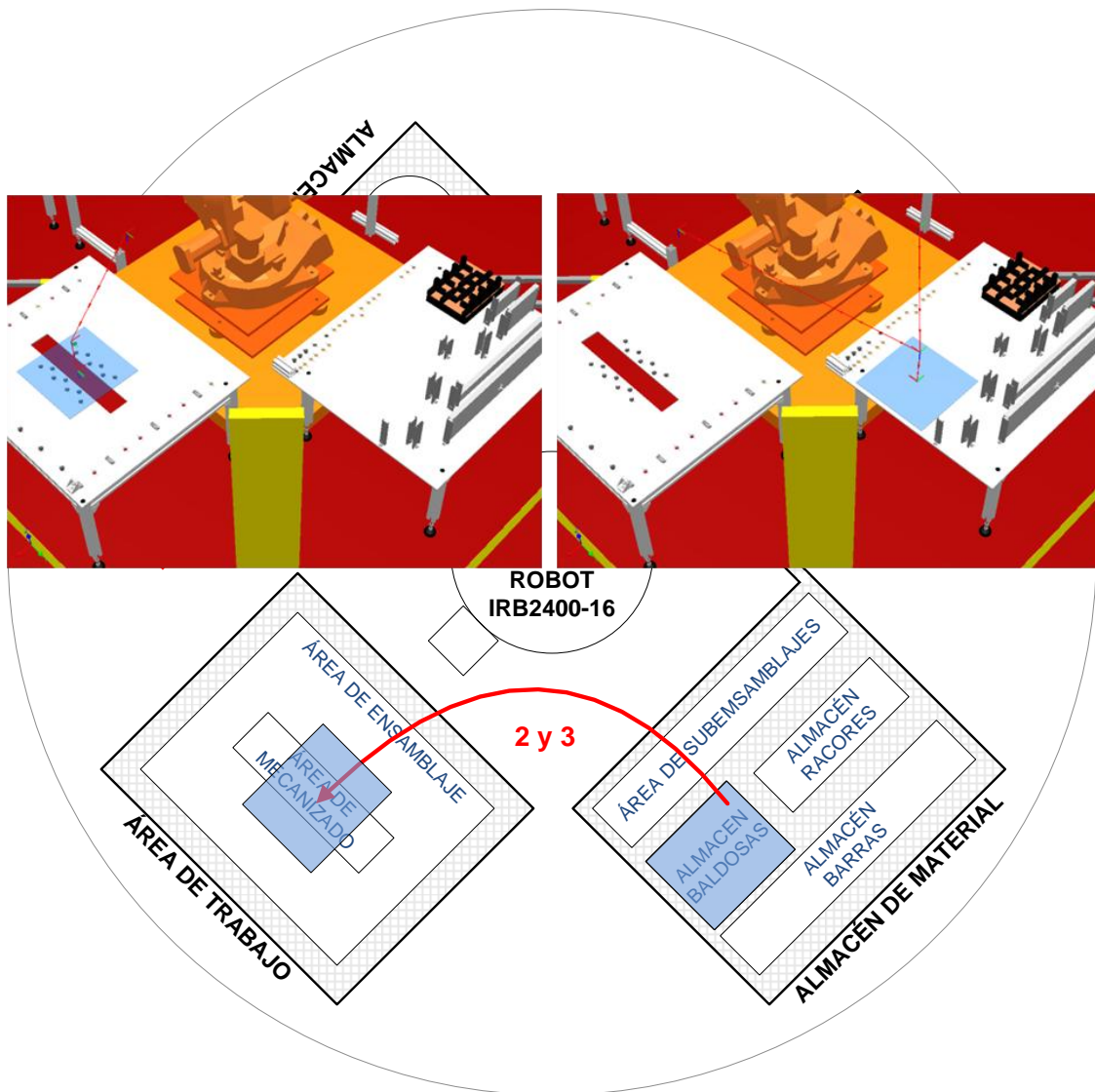


Figura V.74: Función cojo y dejo baldosa.

- ETAPA2: Mecanizado de la baldosa:
  1. Función Cojo\_Motor
  2. Función Corto Pieza (Pieza1, Pieza2, Pieza3, Pieza4)
  3. Función Dejo\_motor

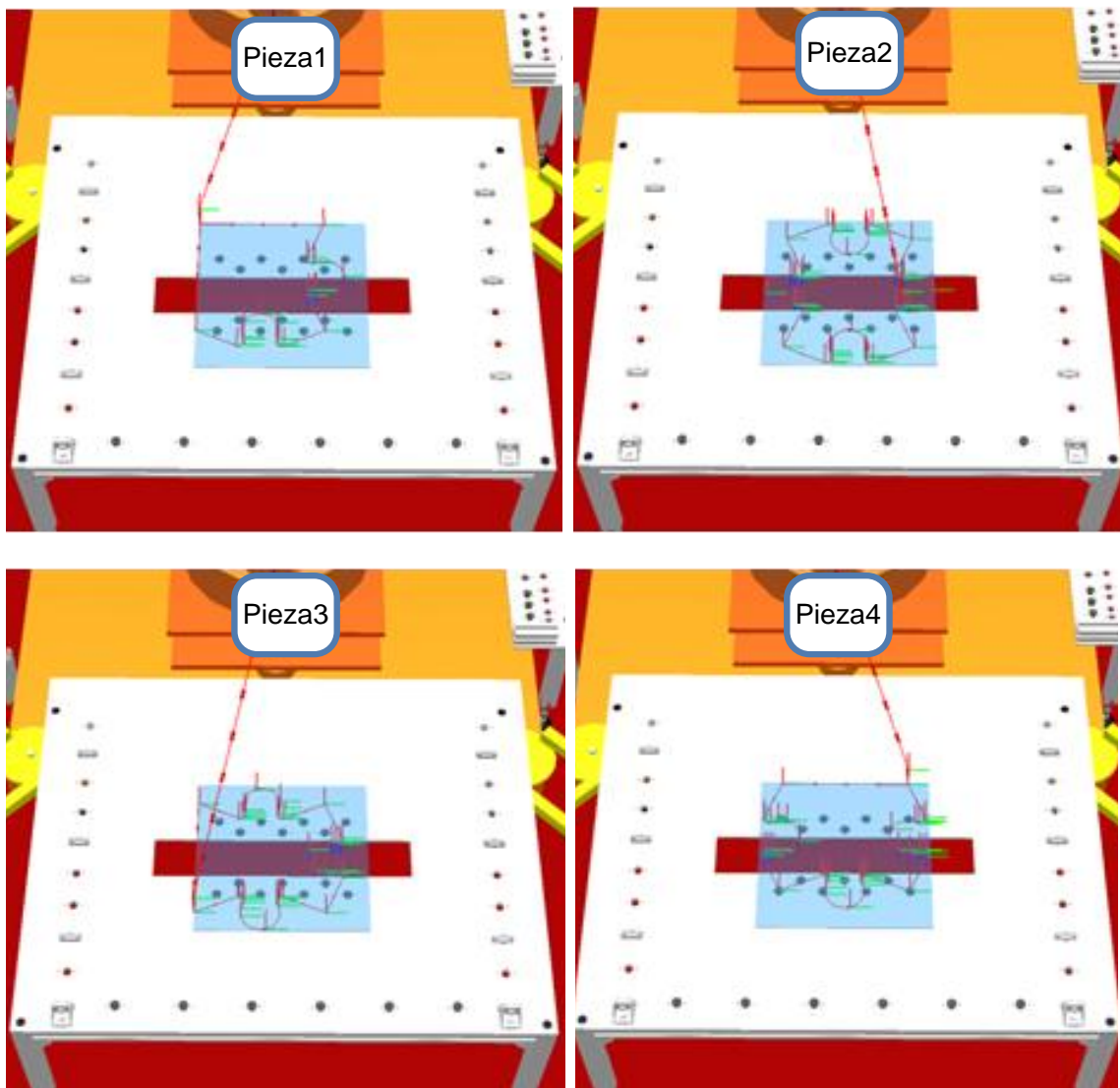


Figura V.75: Funciones Corto pieza.

#### **5.2.2.4 Creación de programas RAPID.**

Una vez calculadas y creadas todas las trayectorias que el robot debe seguir para la ejecución de los distintos procesos, el propio programa ROBOTSTUDIO crea el programa RAPID, sincronizando la estación con el controlador virtual.

Una vez se dispone del código RAPID, es necesario añadir instrucciones de activación y desactivación de las señales virtuales para que la tabla de eventos pueda desempeñar su función, y la simulación se desarrolle de manera correcta. Para simular que el robot coge algún elemento (tanto herramientas como el material) se debe activar la señal correspondiente mediante la función “Set” cuando el robot alcance el punto en el que entran en contacto. Del mismo modo, para simular que el robot suelta el material que ha transportado, se debe desactivar la señal correspondiente mediante la función “Reset” cuando el robot alcance el punto en el que se quiere depositar.

Además, para que la simulación se desarrolle correctamente, después de la instrucción que sitúa el robot en el punto donde se coge o se suelta el elemento deseado, se añade la instrucción “waittime” para que el robot le dé tiempo a posicionarse exactamente en el punto deseado.

Estos programas no se encuentran en este documento debido a la extensión que poseen. En su lugar, en los anexos en el apartado 9.2 Programas rapid para el robot real, se encuentran los programas para el robot real que son idénticos excepto algunos cambios realizados descritos en la puesta en marcha software en el capítulo siguiente.

#### **5.2.2.5 Simulación.**

Una vez creado el programa RAPID con las instrucciones oportunas de activación/desactivación de señales correspondientes a las comentadas en la tabla de eventos, la célula robotizada virtual está preparada para simular todos los procesos diseñados. A continuación se muestran diversas imágenes obtenidas a partir de las simulaciones realizadas donde se puede apreciar el correcto funcionamiento del diseño software realizado:

○ **Cambio de herramienta:**

→ **Pinza mecánica:**

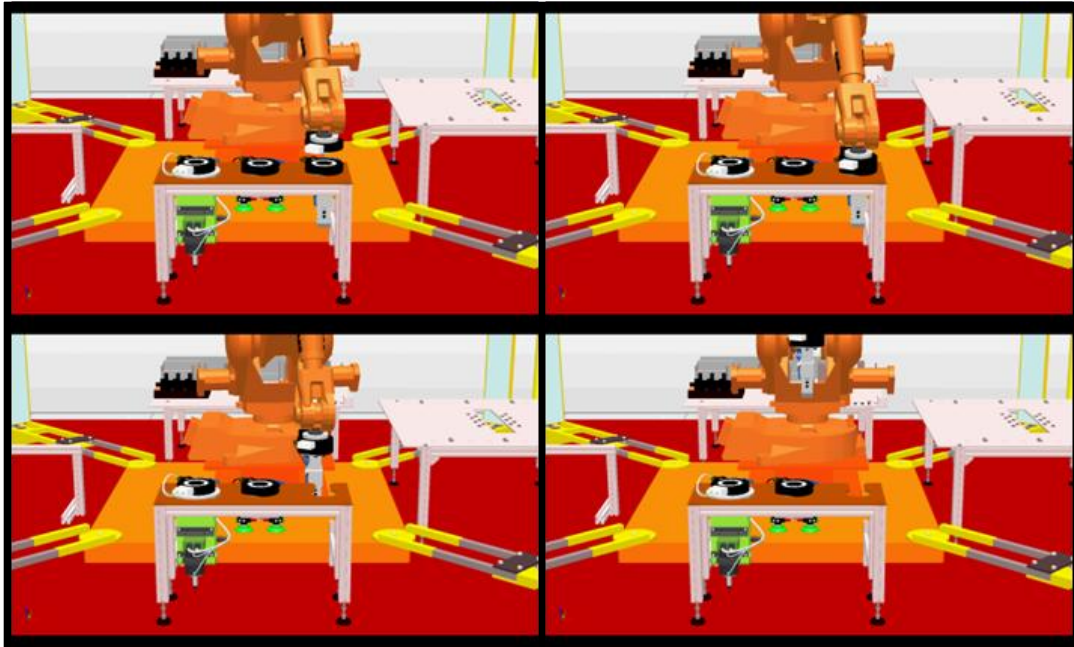


Figura V.76: Simulación cambio pinza

→ **Garra neumática:**

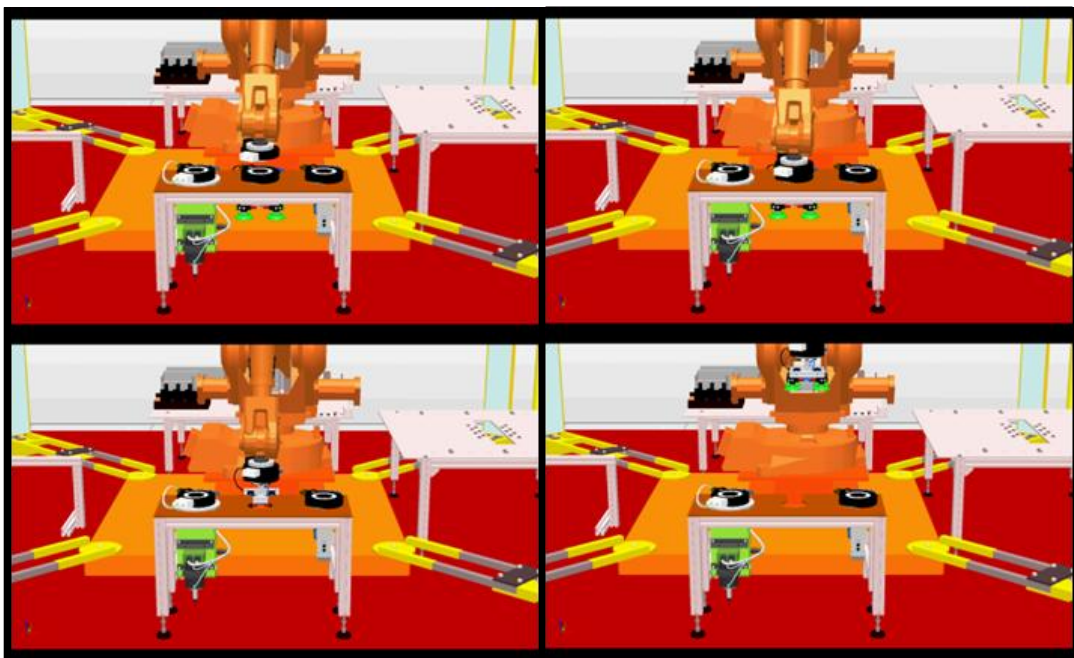


Figura V.77: Simulación cambio garra.

→ Herramienta de mecanizado:

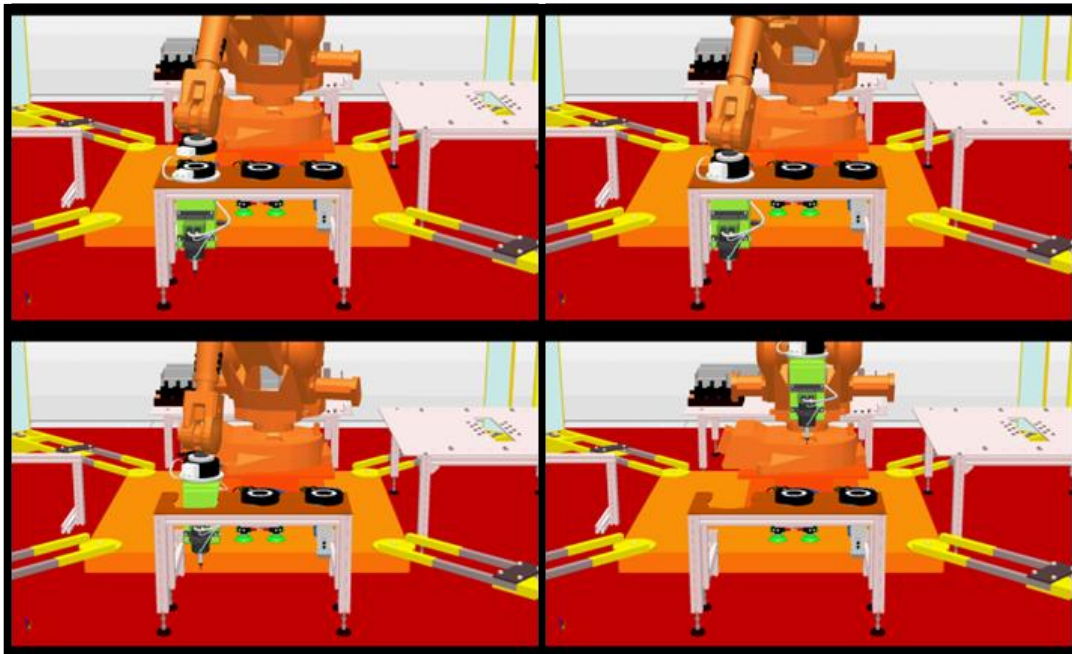


Figura V.78: Simulación cambio herramienta mecanizado.

○ Ensamblado del bastidor del módulo de aguas:

→ ETAPA1: Ensamblado y retirada de la tapa.

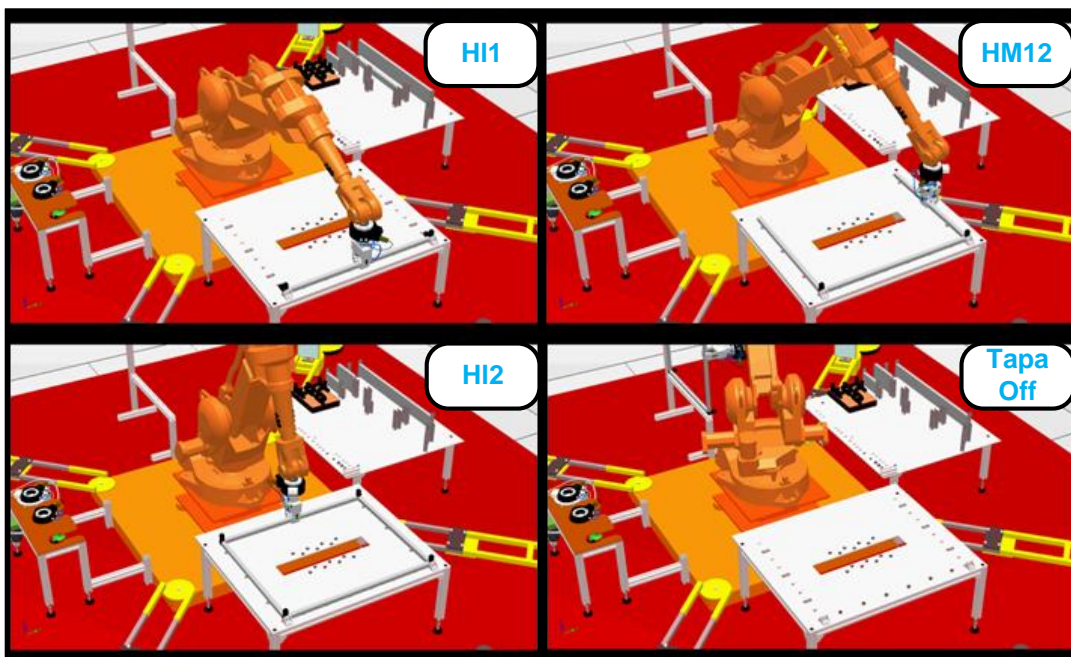


Figura V.79: Simulación ensamble bastidor Etapa1.



→ ETAPA2: Ensamblado de la base.

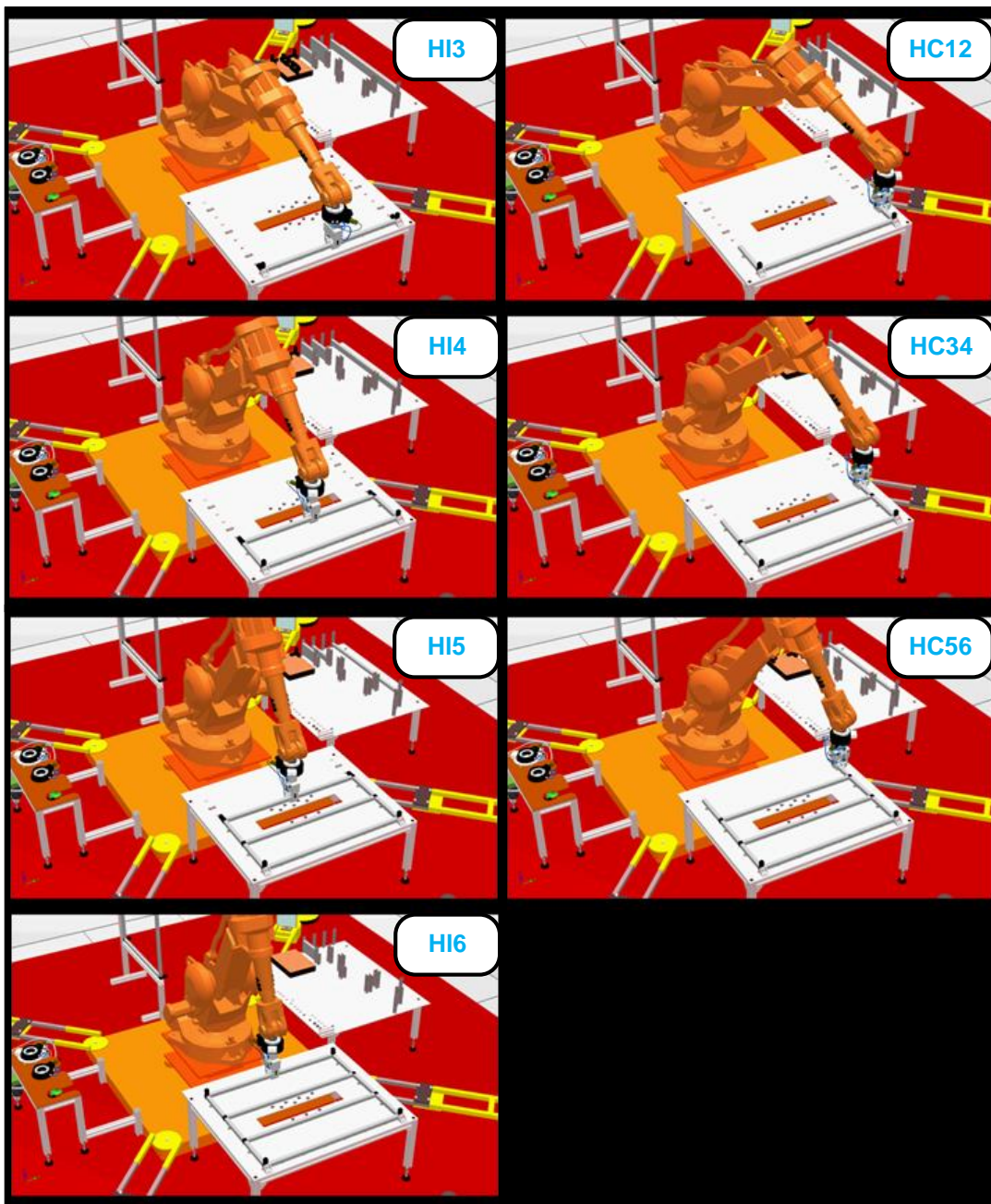


Figura V.80: Simulación ensamblado bastidor Etapa2.

→ ETAPA3: Ensamblado de la tapa en la base.

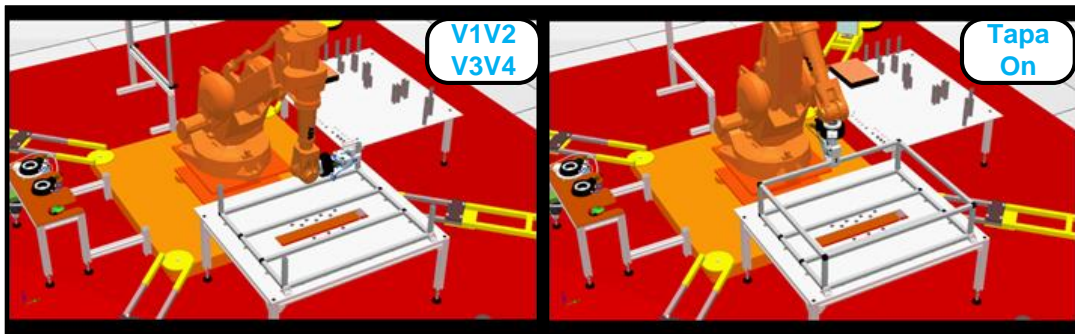


Figura V.81: Simulación ensamblado bastidor Etapa3.

○ Mecanizado de piezas grandes:

→ Etapa1: Manipulación de la baldosa.

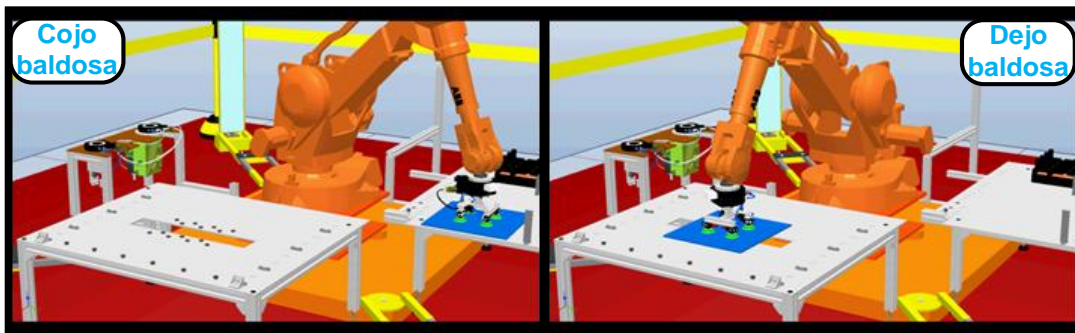


Figura V.82: Simulación mecanizado baldosa Etapa1.



→ Etapa2: Mecanizado de la baldosa.

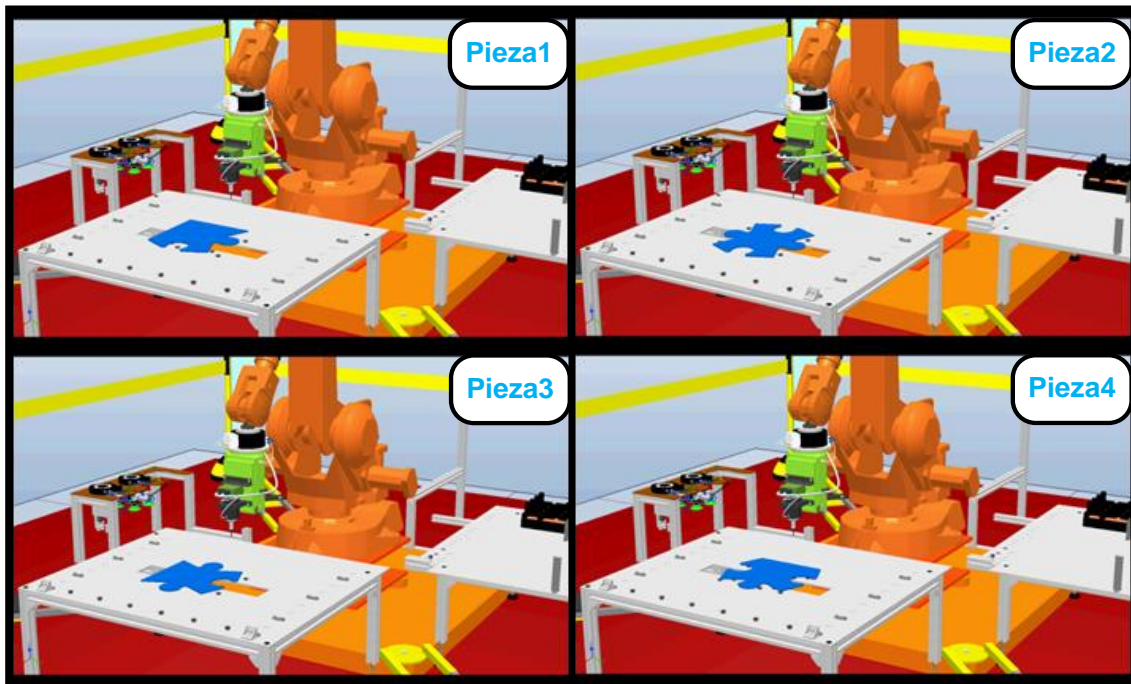


Figura V.83: Simulación mecanizado baldosa Etapa2.



# VI. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

## **6.1 Puesta en marcha hardware.**

Como se vio en el Capítulo I, la puesta en marcha de la célula de fabricación flexible robotizada se ha realizado en el laboratorio del departamento de Sistemas y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid.

En este apartado se describe la puesta en marcha del diseño hardware realizado por el presente Proyecto Fin de Carrera visto en el capítulo anterior. Se ha dividido en la puesta en marcha de los sistemas para las tres áreas que componen la célula:

- Puesta en marcha del área del sistema robótico.
- Puesta en marcha del área de almacén.
- Puesta en marcha del área de trabajo.

### **6.1.1 Puesta en marcha del área del sistema robótico.**

Los sistemas desarrollados en esta área por el presente Proyecto Fin de Carrera son:

- Integración de la garra neumática.
- Integración del sistema de cambio de herramienta.
- Integración del sistema de almacenaje de herramientas.
- Integración del circuito neumático

#### **6.1.1.1 Integración de la garra neumática.**

Para la puesta en marcha de la garra neumática se ha ensamblado el bastidor mediante barras de perfil extruido según el diseño realizado y se ha realizado el conexionado del circuito electro-neumático que controla sus funciones. Dicho conexionado consiste por un lado en el circuito neumático que distribuye el aire por las ventosas y por otro lado el cable eléctrico de las válvulas V3 y V4 que controlan el sistema. Para el circuito neumático se ha empleado tubo de 6mm de diámetro y diferentes tipos de racores de conexión rápida, mientras que para el eléctrico se ha desarrollado un cable, mostrado en la figura siguiente, formado por dos cables bipolares

uno para cada válvula, ambos conectados al conector R19 del sistema de cambio de herramienta según la siguiente tabla:

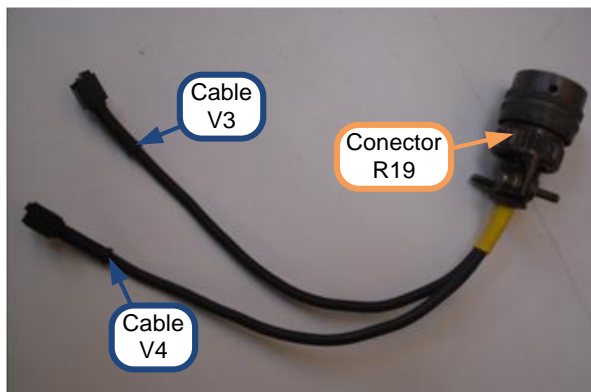


Figura VI.1: Cable garra neumática

Tabla VI.1: Conexiones del cable de la garra.

	Pin R19	Señal IRC5
Cable V3	L	Do10_2
	N	GND
Cable V4	M	Do10_3
	N	GND

En la siguiente imagen se muestra el resultado de la puesta en marcha de la garra neumática señalando los componentes principales:

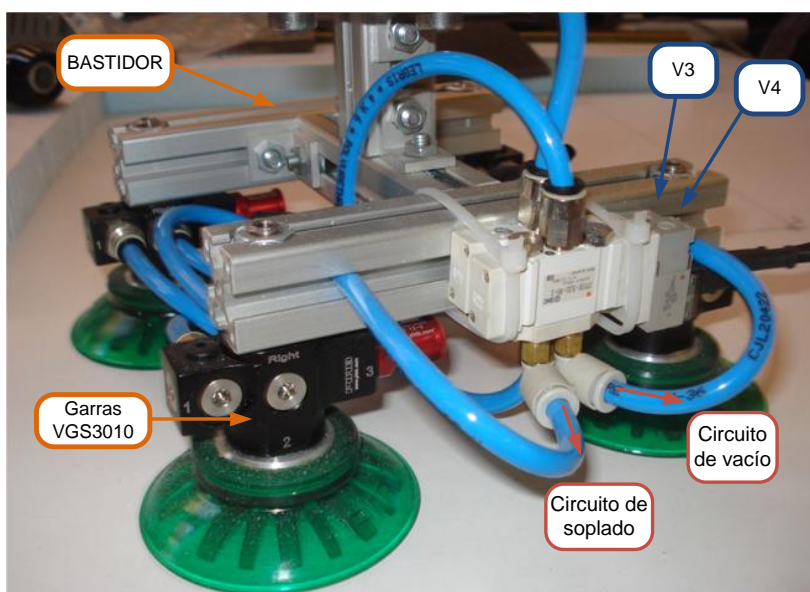


Figura VI.2: Puesta en marcha de la garra neumática.

### 6.1.1.2 Integración del cambio de herramienta.

Como se vio en el apartado de diseño correspondiente, la integración física del sistema de cambio de herramienta tanto con el robot como con las tres herramientas diseñadas se realiza mediante bridas. Dichas bridas han sido fabricadas por el departamento de Oficina Técnica de la Universidad Carlos III de Madrid. El material empleado ha sido aluminio que es idóneo para la aplicación por su resistencia y ligereza. Otra opción que se barajó fue emplear acero, lo que hubiera incrementado notablemente el peso sin aportar mayores beneficios.

En las siguientes imágenes se muestran los cuatro ensamblajes realizados mediante las cuatro bridas:

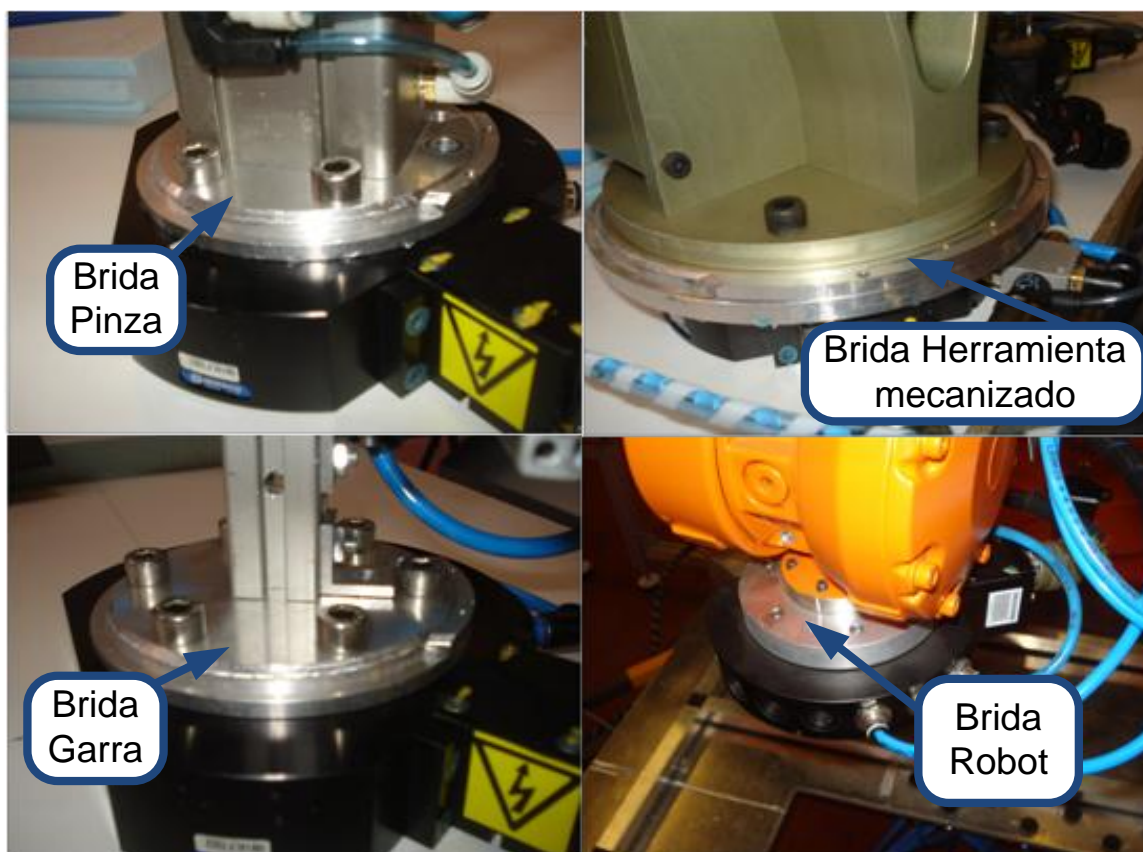


Figura VI.3: Puesta en marcha de bridas y sus ensamblajes.

### 6.1.1.3 Integración del sistema de almacenaje de herramientas.

Para la puesta en marcha de este sistema han sido necesarios dos trabajos: por un lado se ha mandado a cortar por laser la plancha de acero que da soporte a las herramientas y por otro lado se ha realizado el montaje de la estructura mediante barras de perfil extruido y su fijación a la base del robot. En la siguiente imagen se muestra dicho sistema de almacenaje:

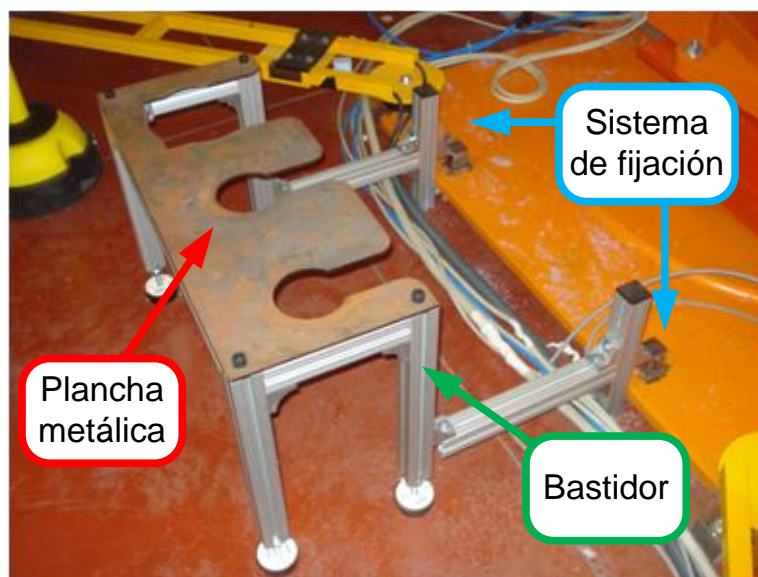


Figura VI.4: Puesta en marcha del sistema de almacenaje de herramientas.

### 6.1.1.4 Integración del circuito neumático completo.

El presente Proyecto Fin de Carrera ha realizado los diferentes conexiones necesarios para el circuito electro-neumático del sistema robótico completo, que como se vio en el apartado de diseño correspondiente, está dividido en dos circuitos. Dicho conexionado consiste por un lado en el circuito neumático que distribuye el aire por los distintos sistemas y por otro lado el cableado de la válvula del circuito de control y el de los interruptores de presión del circuito de identificación de herramienta. Para el circuito neumático se ha empleado tubo de 6 mm de diámetro y diferentes tipos de racores de conexión rápida, mientras que para el cableado eléctrico se han empleado diferentes tipos de cables, clemas y conectores. En la siguiente figura se muestra el circuito neumático completo, donde se describe el camino que recorren las señales desde el controlador hasta el elemento correspondiente:



DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

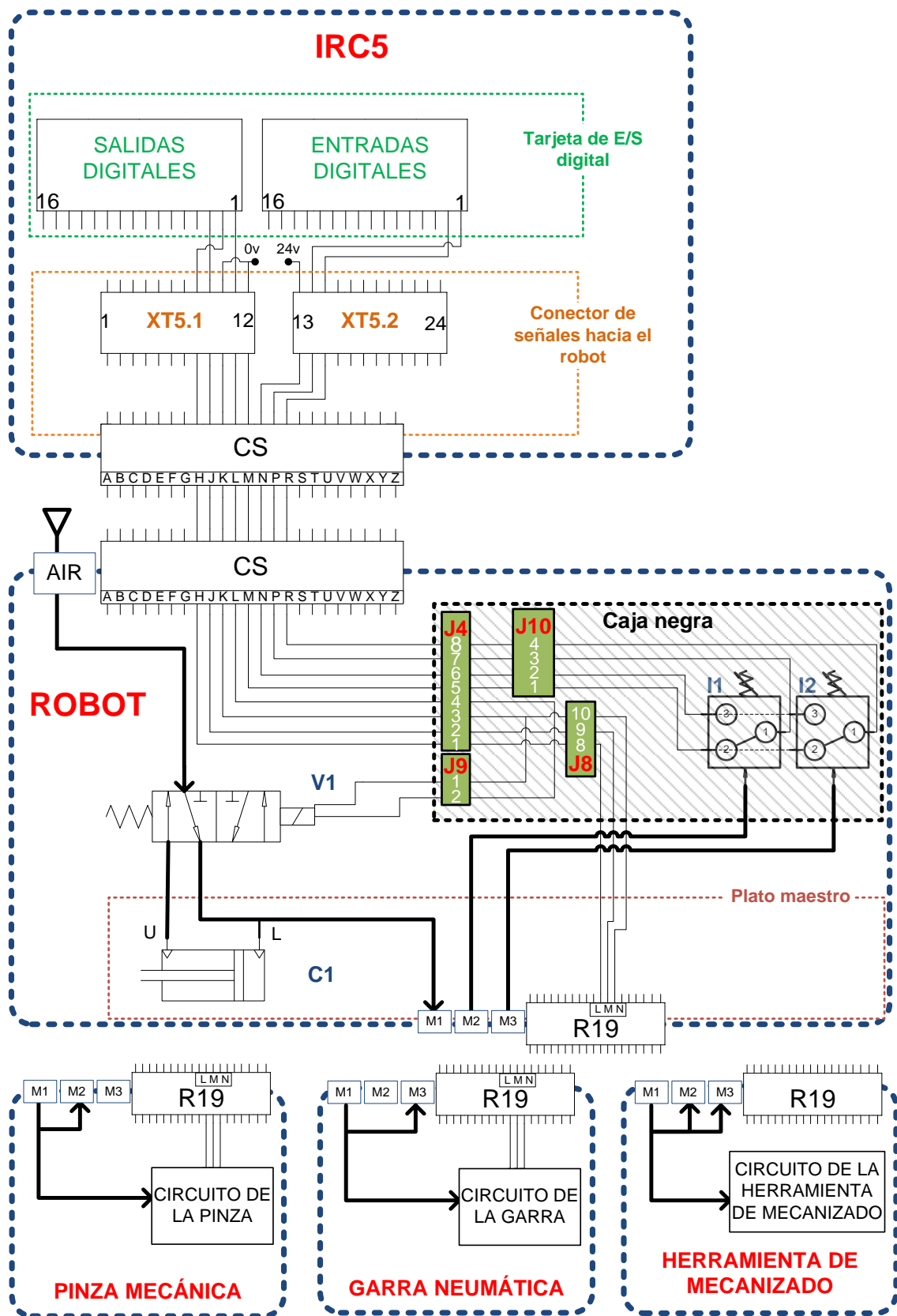


Figura VI.5: Puesta en marcha del circuito neumático.

A continuación se muestran los elementos más importantes empleados en los distintos circuitos que componen el circuito neumático completo:

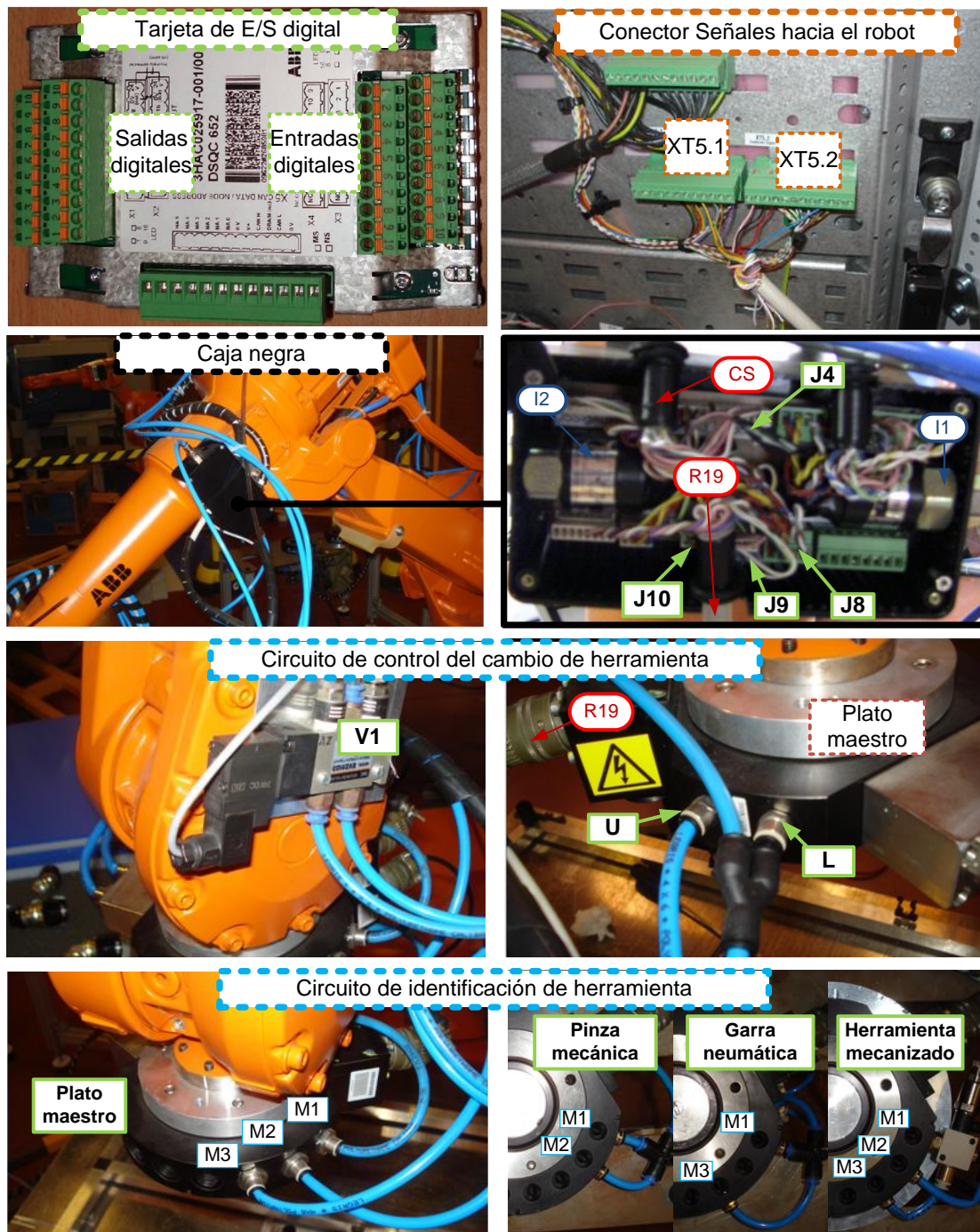


Figura VI.6: Puesta en marcha del circuito neumático (bis)



### 6.1.2 Puesta en marcha del área de almacén.

Los sistemas desarrollados en esta área por el presente Proyecto Fin de Carrera son:

- Integración del sistema de almacenaje de elementos del bastidor.
- Integración del sistema para el subensamblaje de elementos del bastidor.
- Integración del circuito neumático.

#### 6.1.2.1 Integración del sistema de almacenaje de los elementos del bastidor.

Como se vio en el apartado de diseño correspondiente, los almacenes diseñados por el presente Proyecto Fin de Carrera son para las barras y racores que forman el bastidor del módulo de aguas.

Para el almacenaje de las barras se han utilizado perfiles en “U” de plástico fijados a la mesa en los lugares correspondientes. El almacén de racores se ha realizado en esponja de poliuretano. El empleo de estos materiales hace que el sistema de almacenaje sea menos rígido ya que permiten pequeños desajustes en las trayectorias descritas por el robot al sacar el material del almacén correspondiente. Dichos sistemas de almacenaje se pueden apreciar en la siguiente figura:



Figura VI.7: Puesta en marcha de sistemas de almacenaje de elementos del bastidor.

El almacén auxiliar ha sido ensamblado mediante barras de perfil extruido siguiendo el diseño realizado y fijado a la base del robot. Además, se ha añadido un sistema de guiado y sujeción que asegura el correcto almacenaje de la tapa del bastidor y corrige los desajustes de posición que hayan podido producirse durante su transporte. En la siguiente figura se muestra el almacén auxiliar donde también se puede apreciar el sistema de guiado y sujeción y su funcionamiento:

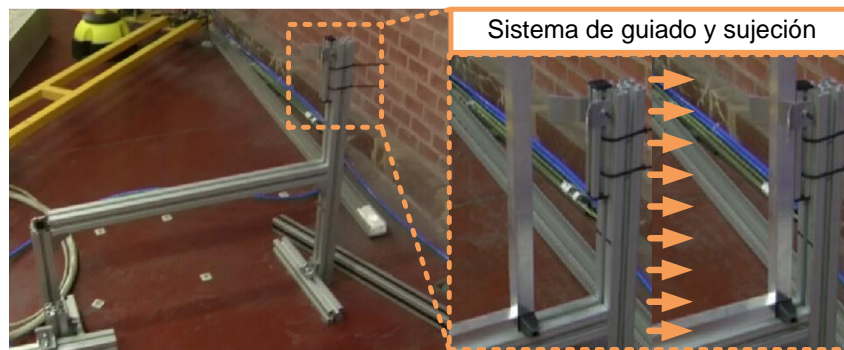


Figura VI.8: Puesta en marcha del almacén auxiliar.

#### 6.1.2.2 Integración de sistemas para el subensamblaje de elementos del bastidor.

Para este sistema se ha montado la ventosa de agarre, los cuatro registros cilíndricos para el guiado y el tope mecánico para realizar el ensamblaje como se diseñó en el apartado correspondiente. En la siguiente figura se pueden apreciar dichos elementos:

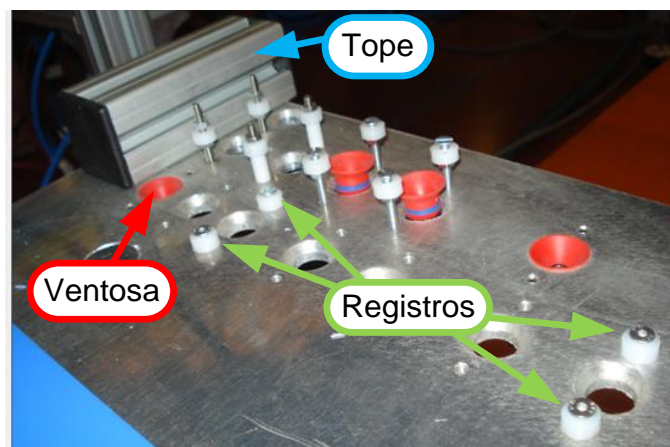


Figura VI.9: Puesta en marcha del sistema de subensamblajes para el bastidor.

### 6.1.2.3 Integración del circuito neumático del almacén.

En el presente Proyecto Fin de Carrera, se han realizado los diferentes conexiones necesarios para el circuito electro-neumático del área de subensamblaje que controla tanto el sistema de sujeción para los elementos del bastidor como el de los elementos del sistema de saneamiento del módulo de aguas. Dicho conexionado consiste por un lado en el circuito neumático que distribuye el aire por las ventosas y por otro lado el cableado de las válvulas que controlan el sistema. Para el circuito neumático se ha empleado tubo de 6mm de diámetro y diferentes tipos de racores de conexión rápida, mientras que para el eléctrico se ha empleado una manguera de pines conectada directamente a las señales correspondientes de la tarjeta de entradas y salidas digitales del controlador IRC5. En las siguientes imágenes podemos ver los elementos más importantes involucrados:

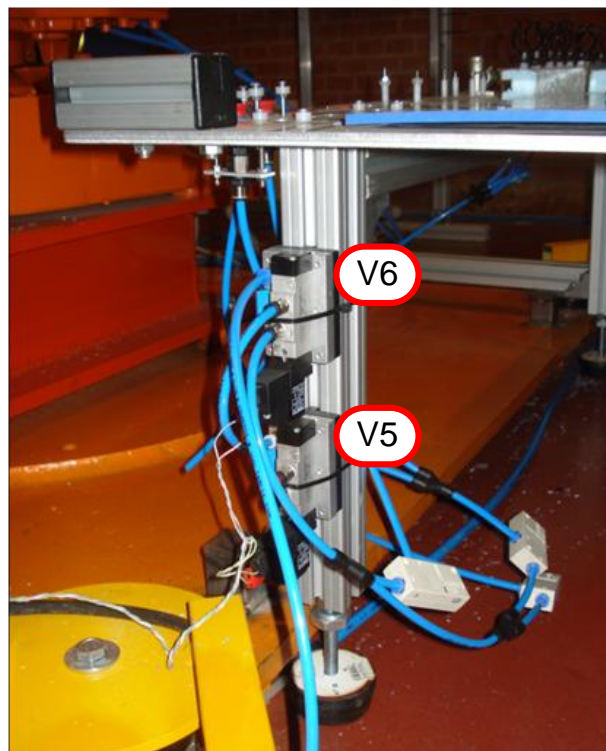


Figura VI.10: Puesta en marcha del circuito del almacén.

### 6.1.3 Puesta en marcha del área de trabajo.

Los sistemas desarrollados en esta área por el presente Proyecto Fin de Carrera son:

- Integración del sistema para el ensamblaje del bastidor.
- Integración del circuito neumático.

#### 6.1.3.1 Integración del sistema para el ensamblaje del bastidor.

En esta área, el Presente Proyecto Fin de Carrera ha realizado el montaje de los sistemas de guiado y sujeción necesarios para el correcto ensamblaje del bastidor del módulo de aguas, los cuales, pueden apreciarse en la siguiente figura:

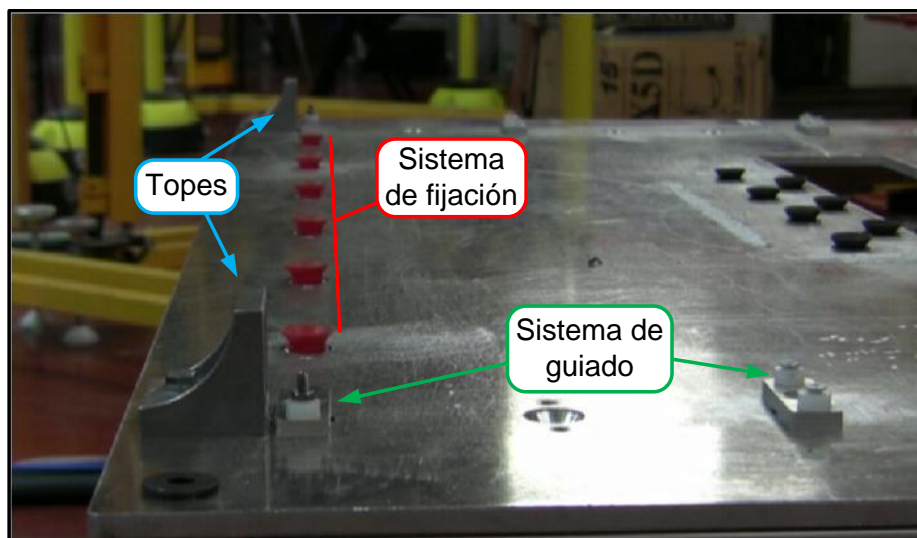


Figura VI.11: Puesta en marcha del sistema de ensamblaje para el bastidor.

#### 6.1.3.2 Integración del circuito neumático del área de trabajo.

Se han realizado los diferentes conexionados necesarios para el circuito electro-neumático que controla tanto el sistema de sujeción para el ensamblaje como el del mecanizado. Dicho conexionado, al igual que el del área de almacén, consiste por un lado en el circuito neumático que distribuye el aire por las ventosas y por otro lado el cableado de las válvulas que controlan el sistema. Nuevamente, para el circuito neumático se ha empleado tubo de 6mm de diámetro y diferentes tipos de racores de

conexión rápida, mientras que para el eléctrico se ha empleado la misma manguera de pines que la utilizada para el circuito electro-neumático del almacén conectada directamente a las señales correspondientes de la tarjeta de entradas y salidas digitales del controlador IRC5. En las siguientes imágenes podemos ver los elementos más importantes involucrados:



Figura VI.12: Puesta en marcha de circuito neumático del área de trabajo.

## **6.2 Puesta en marcha software.**

En este apartado se explica el proceso seguido para realizar la transferencia de los programas desde la célula virtual simulada en ROBOTSTUDIO hasta el robot real. Para llevar a cabo dicha transferencia, se hace uso de la herramienta ROBOTSTUDIO Online, para lo cual, deben estar conectados el ordenador y el controlador del robot vía Ethernet. Otra manera de llevar a cabo la transferencia, es conectando en un puerto USB del controlador una memoria externa con los programas robóticos previamente cargados. Los programas robóticos, con todos los cambios realizados respecto a los programas de la simulación, se encuentran en el anexo en el apartado 9.2 Programas rapid para el robot real. de programas RAPID para el robot real.

Los pasos seguidos para de realizar la transferencia son:

- Cambiar las señales virtuales por las señales reales en los programas.
- Añadir a los programas las rutinas de control de los sistemas reales.
- Realizar ajustes de los objetivos del programa a la célula robotizada real.

### **6.2.1 Cambio de señales virtuales a reales en los programas.**

Este cambio es necesario debido a la naturaleza distinta de las señales en la estación virtual y en la real. Mientras que en la célula virtual se necesita una señal por cada elemento que se quiere manipular, en la célula real las señales actúan sobre las válvulas que controlan los distintos sistemas mediante los cuales se realizan dichas manipulaciones. En la célula real las señales son proporcionadas por la tarjeta de entradas y salidas digitales del controlador.

Existen tres casos diferentes: la señal que actúa sobre el mecanismo del sistema de cambio de herramienta, la que actúa sobre la pinza mecánica y las que actúa sobre la garra neumática. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre las señales virtuales y reales:



**Tabla VI.2: Correspondencia entre señales virtuales y reales.**

Grupo de señales	Estación	
	Virtual	Real
Cambio herramienta	SET (tmp0; tmp1; tmp2;)	RESET Do10_1
	RESET (tmp0; tmp1; tmp2;)	SET Do10_1
Objetos manipulados por la pinza mecánica	SET (tmp3,tmp4, ...tmp32)	SET Do10_2
	RESET (tmp3,tmp4, ...tmp32)	RESET Do10_2
Objetos manipulados por la garra neumática	SET (tmp33)	SET Do10_2 SET Do10_3
	RESET (tmp33)	RESET Do10_3 RESET Do10_2

Para las señales del primer grupo, además de cambiar el nombre de las señales involucradas hay que realizar otro cambio. Mientras que en la célula virtual las herramientas se acoplan y desacoplan con las funciones “set” y “reset” respectivamente, en la célula real se opera de manera contraria. Esto se debe a una medida de seguridad tomada ante el caso de que se apague el controlador del robot con alguna herramienta acoplada, evitando su caída en el próximo arranque, ya que el controlador en ese momento pone todas las señales a “0”.

Para las señales del grupo de la pinza mecánica el único cambio necesario es el del nombre de las señales según la tabla anterior, cambiando en el programa donde aparezca cualquier señal comprendida entre la tmp3 y la tmp32, por la señal Do10\_2 que actúa sobre la válvula que pilota la pinza.

Por último, para las señales involucradas en el transporte de material mediante la garra neumática, el cambio necesario consiste en pasar de una señal por baldosa en la célula virtual, a las dos señales que controlan las funciones de la garra neumática real como se vio en el Capítulo V. La manera en que se cogen las baldosas con la garra neumática es haciendo el vacío directamente cuando ambas estén en contacto, mientras que para liberarla es conveniente realizar un pequeño soplado. Esto se logra mediante la secuencia de señales vista en la tabla anterior.

Además de los cambios mencionados en los párrafos anteriores, es necesario incluir al programa del robot real las funciones de activación y desactivación de las señales mediante las cuales se controla el funcionamiento de los sistemas de agarre de las áreas de almacén y de trabajo, ya que en la simulación no son necesarios dichos sistemas. Las señales involucradas para estas tareas, fueron vistas en el Capítulo V.

### **6.2.2 Rutinas de control de los sistemas reales.**

En este apartado se describen las rutinas de error implementadas en el proceso de cambio de herramienta, como medida de seguridad ante posibles fallos ya sea durante la ejecución automática de los procesos, o durante la programación de los mismos. Se han llevado a cabo haciendo uso del circuito de identificación de herramientas tal y como se comentó en el Capítulo V.

Los fallos en el proceso de cambio de herramienta, pueden ocasionar la caída libre de la herramienta acoplada al robot, o la colisión con la mesa de herramientas entre otros. Se producen por un mal acople o desacople de la herramienta, o por un fallo humano al manejar las funciones del proceso.

La medida de seguridad tomada ante cualquier situación de error es el paro del sistema, siendo necesaria la intervención de un operario para su rearme. La manera en que se logra evitar accidentes es verificando mediante el circuito de identificación de herramienta si se está en la situación que se espera, o de lo contrario a ocurrido algún error. Las verificaciones realizadas son siempre del mismo carácter, y consisten entre otras en: asegurar que la herramienta acoplada es la correcta, que se ha acoplado o desacoplado correctamente la herramienta, que no se tiene ninguna herramienta acoplada antes de dirigirse a coger o dejar una herramienta etc. Además, gracias a este circuito se puede determinar si existe suministro de aire en la célula o de lo contrario está cortado. En el anexo, en el apartado de programas RAPID para el robot real, se encuentran dichas rutinas comentadas para una mejor comprensión de su funcionamiento.



### 6.2.3 Ajuste de objetivos del programa a la célula robotizada real.

Éste es uno de los trabajos más largos a la hora de realizar la transferencia del programa al robot real, debido a la cantidad de objetivos programados en la célula, y a las diferencias inevitables existentes entre la célula virtual y la real. Estos desajustes son en gran medida debidos a motivos ajenos a este Proyecto Fin de Carrera, ya que el robot ha sido fijado a un suelo que no se encuentra a nivel. Este pequeño desajuste inicial produce una variación de los objetivos que depende del punto donde se encuentre el robot. Además, existen ineficiencias derivadas de las tolerancias de los materiales, de pequeños desajustes geométricos del robot o incluso de pequeñas desviaciones entre los procesos simulados y los reales. Como los objetivos están agrupados en los distintos objetos de trabajo, un primer paso consiste en ajustar los objetos de trabajo a la célula robotizada real. En la siguiente tabla se comparan los objetos de trabajo de la célula virtual con los de la real una vez ajustados:

**Tabla VI.3: Ajuste de objetos de trabajo a la célula real.**

OBJETOS DE TRABAJO						
Nombre	Célula virtual			Célula real		
	Posición (mm)			Posición (mm)		
	x	y	z	x	y	z
Área_Ensamblaje	1532	31	176	1532	31	176
Área_Mecanizado	1144.5	21	175	1144.5	21	175
Área_Subensamblaje	400	722	129	400	722	129
Almacén_Herramientas	300	-1155	155	300	-1155	155
Almacén_HL	-235.5	1485	149	-250.5	1483.5	152
Almacén_HM	-335.5	1385	149	-349	1383.5	150
Almacén_HC	-594	1285	149	-606	1278	156
Almacén_V	-610.5	1185	149	-610.5	1179	153
Almacén_RACORES	-672.5	880	177.5	-672.5	880	182
Almacén_Baldosas	242.5	1000	129	242.5	1000	129

Una vez realizada la primera aproximación, ajustando los objetos de trabajo, se lanza el proceso correspondiente en modo manual, y se van corrigiendo uno a uno los objetivos que lo necesiten. Como ya se ha comentado, en el anexo en el apartado 9.2 Programas rapid para el robot real. de programas RAPID para el robot real, se encuentran los programas finales tras realizar todos los cambios mencionados.

### 6.3 Demostración del funcionamiento de la célula robotizada real.

Una vez realizada la puesta en marcha tanto hardware como software, en este apartado se exponen una serie de imágenes sacadas del video realizado en el cual se demuestra que los procesos realizados por este Proyecto Fin de Carrera han sido realizados con éxito.

- **Cambio de herramienta:**

La demostración del proceso de cambio de herramienta está constituida por el proceso de acople y desacople de las tres herramientas implementadas en este proyecto. Dichos procesos para la pinza y la herramienta de mecanizado se han realizado sin hacer grande ajustes. Esto no ha sucedido con la garra neumática, debido al ligero pandeo que ha sufrido la plancha metálica en su centro. Durante este proceso se ha verificado el correcto funcionamiento del circuito de control y el de identificación de herramienta. En las siguientes imágenes se muestran los procesos correspondientes a las tres herramientas:

- **Pinza mecánica:**

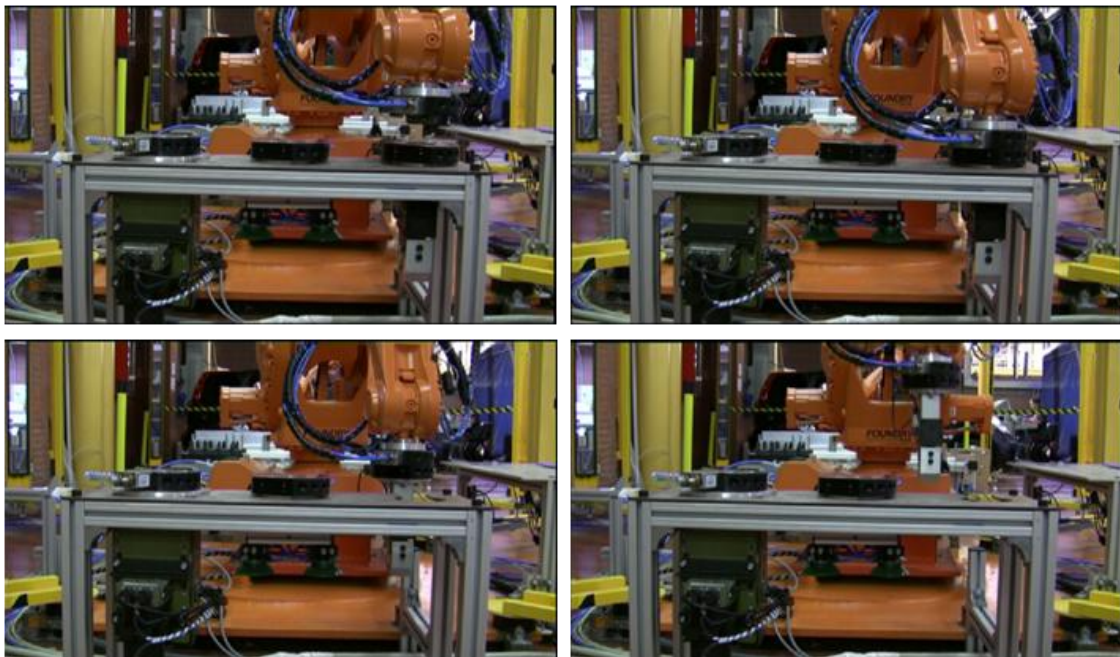


Figura VI.13: Proceso cambio pinza.

○ **Garra neumática:**

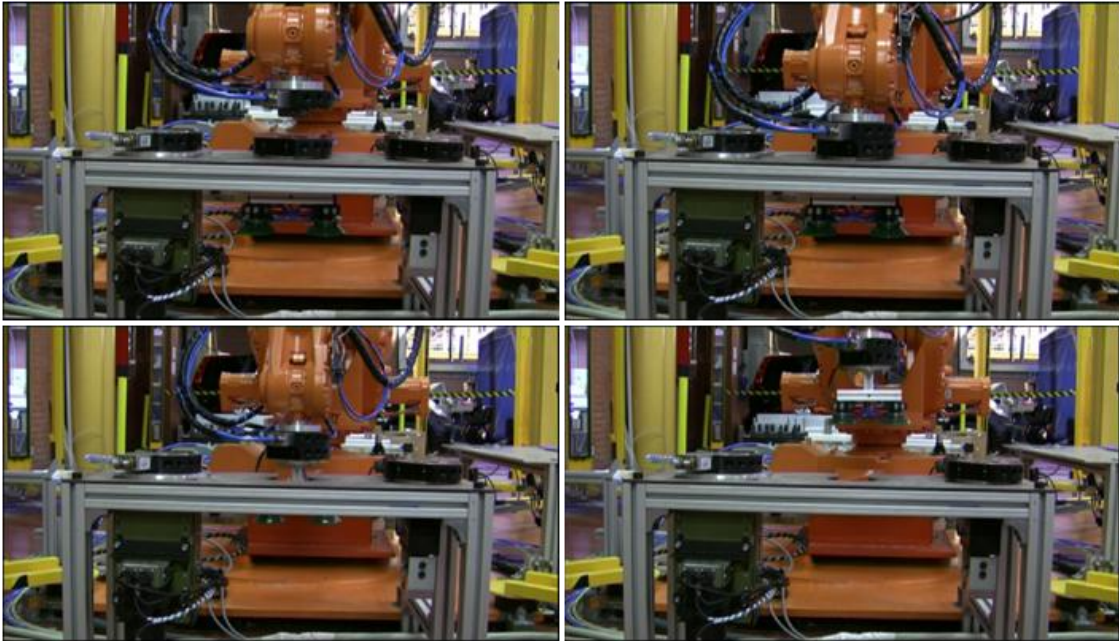


Figura VI.14: Proceso cambio garra.

○ **Herramienta de mecanizado:**

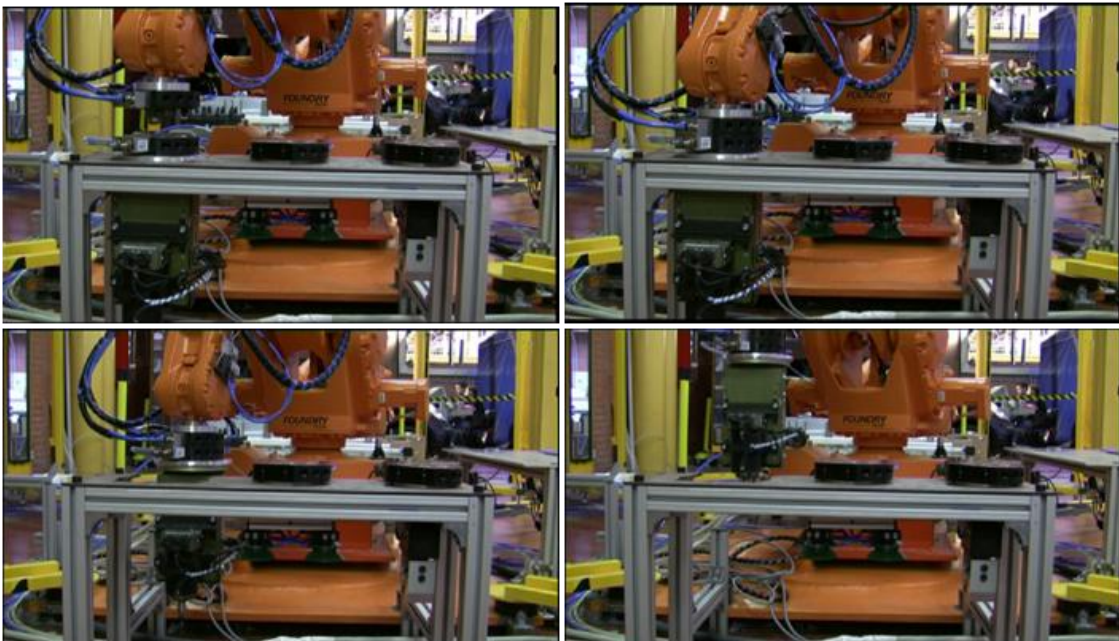


Figura VI.15: Proceso cambio herramienta mecanizado.



- **Ensamblado del bastidor del módulo de aguas:**

El proceso de ensamblado ha sido el trabajo más laborioso debido por un lado a la cantidad de objetivos que han sido ajustados para el correcto ensamblaje del bastidor, y por otro lado a los pequeños desajustes y tolerancias de los materiales reales a ensamblar, los cuales dificultan notablemente esta tarea. No obstante, en el presente Proyecto Fin de Carrera, se ha logrado ensamblar con éxito el bastidor del módulo de aguas visto en el Capítulo IV.

A continuación se expone dicho proceso de ensamblado, dividido en las tres etapas correspondientes, mostrando el resultado final tras concluir cada función de cada etapa:

- **ETAPA1: Ensamblado y retirada de la tapa:**

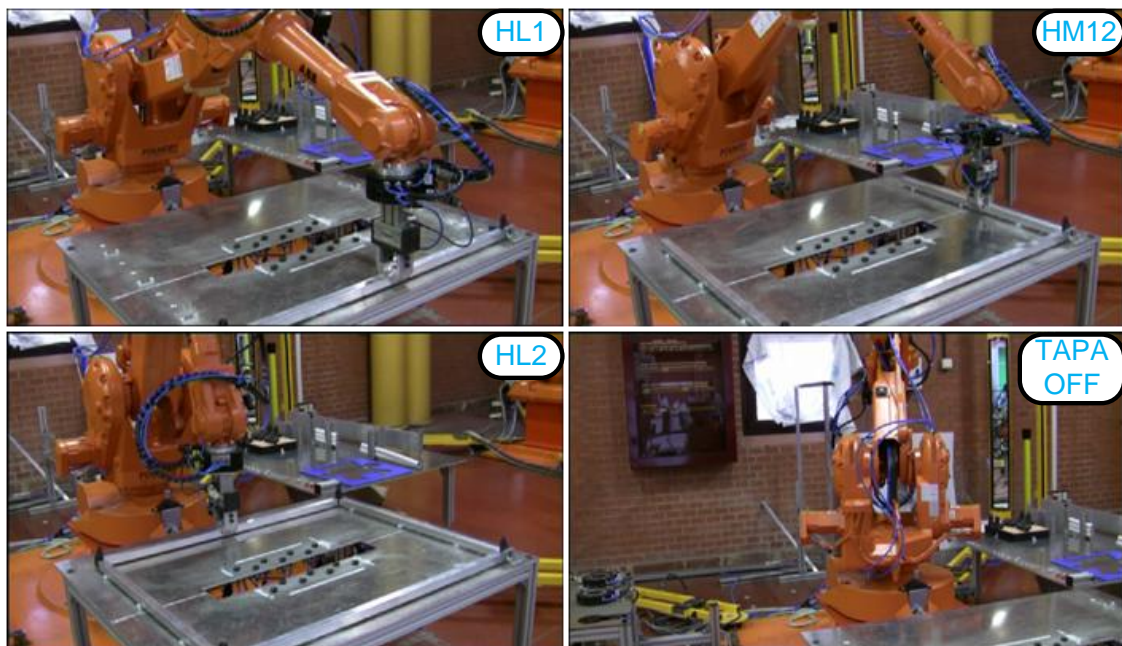


Figura VI.16: Etapa1 del proceso de ensamblado del bastidor.

○ **ETAPA2: Ensamblado de la base:**

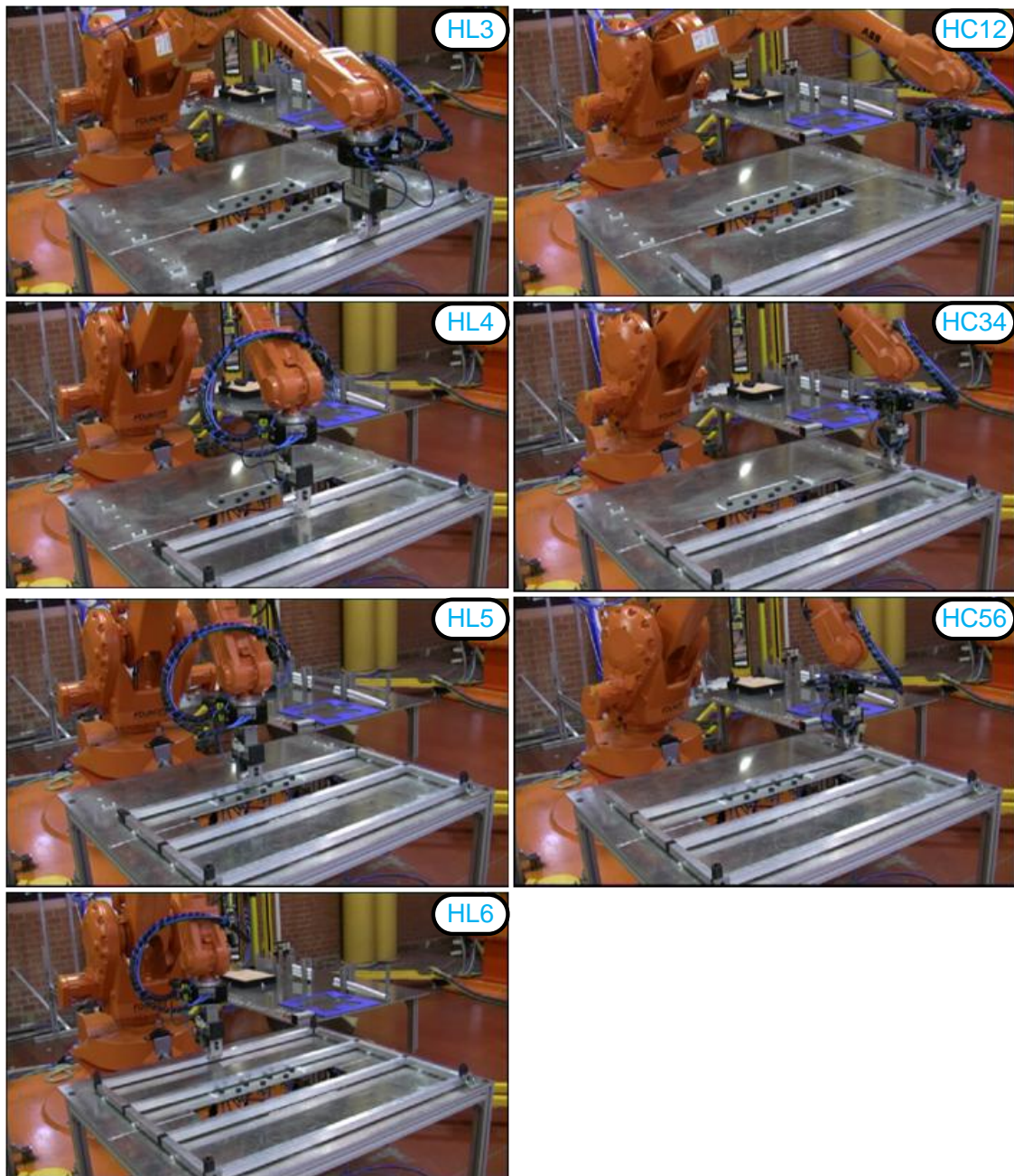


Figura VI.17: Etapa2 del proceso de ensamblado del bastidor.

○ **ETAPA3: Ensamblado de la tapa en la base.**



Figura VI.18: Etapa3 del proceso de ensamblado del bastidor.

● **Mecanizado de piezas grandes**

Por último, se expone el proceso del mecanizado de baldosa realizado en este Proyecto Fin de Carrera, dividido en las dos etapas correspondientes.

○ **ETAPA1: Manipulación de la baldosa.**

El proceso de manipulación de la baldosa mediante la garra neumática se ha llevado a cabo sin mayores dificultades. Durante dicho proceso se ha verificado el correcto funcionamiento de la garra, tanto en la manipulación de la baldosa mediante el vacío producido, como al liberarla mediante el soplado. En la siguiente figura se puede ver como el robot coge la baldosa del almacén y la transporta al área de mecanizado:

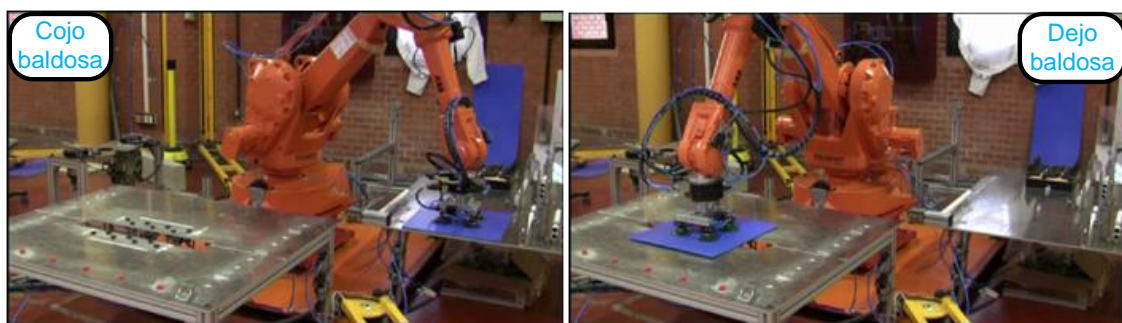


Figura VI.19: Etapa1 proceso de mecanizado.



○ **ETAPA2: Mecanizado de la baldosa.**

Para realizar el mecanizado de las piezas del puzzle vistas en el Capítulo IV, se ha utilizado una sufridera debido a que el área de mecanizado fue diseñada para realizar otro tipo de cortes y no está preparada para este fin. No obstante, se han realizado dichos cortes mostrando la flexibilidad de mecanizado que se consigue robotizando el proceso.

En la siguiente figura se muestra el proceso de mecanizado para una de las cuatro piezas fabricadas y las cuatro piezas terminadas.

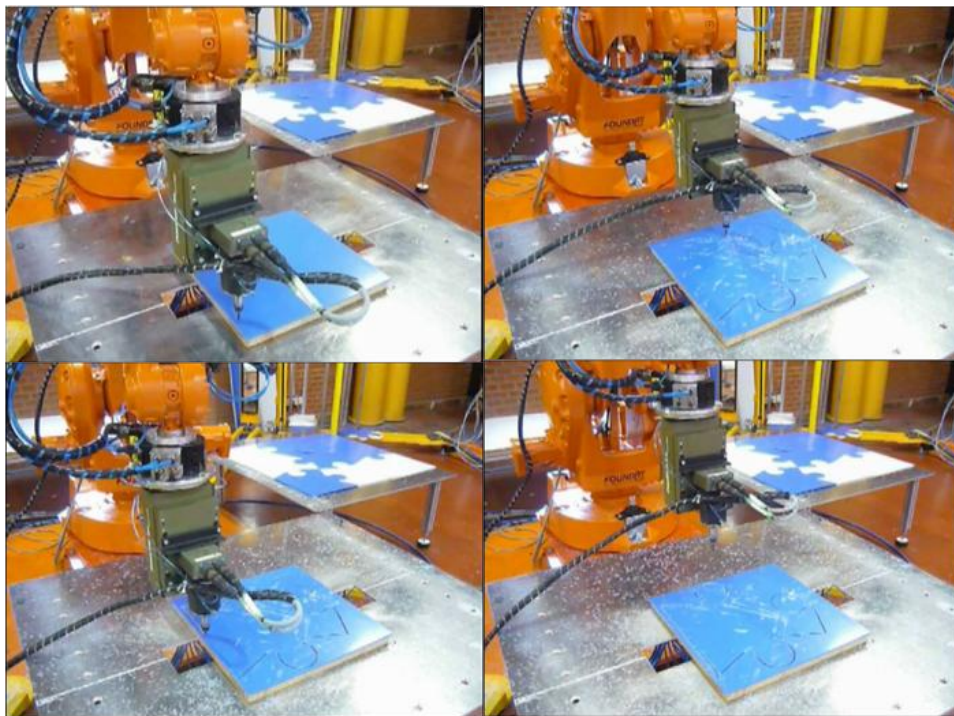


Figura VI.20: Etapa2 proceso de mecanizado.



Figura VI.21: Resto de piezas fabricadas.



## **VII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**



## 7.1 Conclusiones.

Tras cumplir con el objetivo secundario de diseñar e implementar tanto el hardware como el software necesario y realizar la puesta en marcha del sistema completo, se ha verificado el correcto funcionamiento de todos los sistemas, quedando cumplido también el objetivo principal de diseñar una célula de fabricación flexible robotizada dedicada a distintos procesos de mecanizado y ensamblado del sector de la construcción. Con este trabajo también queda demostrado que es posible robotizar ciertos procesos de un sector que se ha quedado por detrás de los demás en cuanto a desarrollo tecnológico e integración se refiere, cumpliendo con el objetivo global de éste proyecto, consistente en apoyar, promover y desarrollar la industrialización del sector, sentando las bases necesarias para futuros trabajos en estos temas.

Las conclusiones más importantes obtenidas tras realizar la puesta en marcha de los diseños realizados por el presente Proyecto Fin de Carrera son:

- **Garra neumática:**

Esta herramienta ha realizado sin problemas el trabajo para el que fue diseñada. No obstante carece de un sistema que le permita detectar el material, lo que produce una disminución de la flexibilidad, obligando a la programación de antemano de tantos objetivos como elementos a manipular existan.

- **Sistema de cambio de herramienta:**

Mediante este sistema se ha podido realizar trabajos de distinta naturaleza, permitiendo al robot utilizar distintas herramientas de trabajo. Este sistema es por tanto el que ha hecho más flexible la célula robotizada.

- **Sistema de almacenado:**

Mediante el sistema de almacenaje diseñado se ha conseguido realizar los procesos de mecanizado y ensamblado requeridos. No obstante, es un sistema poco flexible dado que puede almacenar los elementos de las medidas diseñadas para el ensamblaje de un único bastidor.

- **Sistema de guiado y sujeción:**

Aunque mediante este sistema se ha logrado realizar el ensamblaje del bastidor del módulo de aguas, debido a las tolerancias de los elementos a ensamblar se han producido elevados esfuerzos realizados por el robot para ensamblar los materiales.

- **Simulación de procesos:**

Gracias al trabajo realizado en este Proyecto, se han conseguido poner de manifiesto las ventajas de la simulación de procesos productivos, tales como el ahorro de tiempo en su diseño y la facilidad de corrección de los errores y modificaciones que surjan sobre la marcha, logrando una mayor sencillez en lo que al diseño de la célula se refiere. A pesar de dichas ventajas obtenidas, se ha comprobado que la implementación en un robot real siempre presenta dificultades que precisan de un tiempo de resolución, para evitar los problemas derivados de las características, tolerancias, etc, de los elementos físicos reales Dichos problemas van en función de los medios que se precisen para construir una estación lo más precisa posible y semejante a la célula virtual diseñada.

## 7.2 Trabajos futuros.

Aun habiendo cumplido satisfactoriamente con todos los objetivos marcados para este Proyecto Fin de Carrera, existen diversas mejoras que producirían un mejor funcionamiento de la célula. A continuación se detallan algunas de dichas posibles mejoras:

- **Garra neumática:**

Como se acaba de comentar en las conclusiones, esta herramienta carece de un sistema mediante el que pueda detectar el material que va a manipular. Esto se podría solucionar implementando un sistema basado en sensores (capacitivos, inductivos u ópticos), o mediante un sistema de visión que además permita analizar la información mediante la cual corregir errores de posición y diferenciar entre los distintos elementos a manipular.

- **Sistema de almacenado:**

Una manera de hacer la célula más flexible, es sustituyendo el almacén diseñado en este Proyecto Fin de Carrera por un sistema de corte y suministro de barras mediante el cual se elimina la necesidad de almacenar los elementos previamente cortados. Este sistema se podría implementar mediante el empleo de una sierra de corte trabajando coordinadamente con una cinta transportadora de manera que se puedan obtener las barras de las longitudes necesarias en el momento preciso.

- **Sistema de guiado y sujeción:**

Una manera de evitar los elevados esfuerzos realizados por el robot a la hora de realizar los ensamblajes, podría consistir en equipar al sistema de guiado y sujeción con un sistema neumático que realice un martilleo de los elementos colocados por el robot hasta ensamblarlos. De esta manera se conseguirá un mejor funcionamiento del ensamblaje a la vez que se reparte el trabajo realizado entre más sistemas.

- **Otras mejoras:**

A parte de las mejoras de los diseños realizados por el presente Proyecto Fin de Carrera que se acaban de comentar, se mejoraría el funcionamiento de la célula de fabricación flexible robotizada con el diseño de los siguientes sistemas:

- Rediseñar el sistema de fijación del robot para poder mejorar la similitud entre la célula real y la simulada, ya que dicho sistema tiene algunos errores de diseño y colocación.
- Uso de la opción MULTIMOVE de los nuevos robots-controladores ABB. De esta forma se consigue el uso combinado de varios robots industriales en un mismo trabajo.
- Desarrollo de un sistema SCADA mediante el cual se pueda monitorizar “on-time” tanto el estado de los procesos como el de las herramientas, ayudado por un sistema de sensorización de los elementos.



## VIII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Estudio sobre el sector de la construcción.  
<http://www.ensilicio.com/2008/01/graficas-sobre-vivienda-%C2%BFse-ha-desplomado-la-burbuja.html>
- [2] ManuBUILS 6PF.
- [3] Estudios e información sobre automatización y células CIM:  
<http://www.monografias.com/trabajos6/auti/auti.shtml?monosearch>  
<http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml?monosearch>
- [4] Estudios e información sobre robótica y aplicaciones robóticas  
<http://www.monografias.com/trabajos6/larobo/larobo.shtml?monosearch>  
<http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml?monosearch>  
<http://www.leia.es/E-ROBOT/aplicaciones.html>  
[http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr\\_01/robotica/aplicaciones.htm](http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/robotica/aplicaciones.htm)  
<http://www.ifr.org/service-robots/>  
<http://www.pushcorp.com/success.htm>
- [5] Historia de la robótica.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [6] Situación actual de la robótica mundial  
<http://www.worldrobotics.org/index.php>
- [7] Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño de producto. Salvador Capuz Rizo.
- [8] Página web de ABB:  
<http://www.abb.es>
- [9] Ayuda de RobotStudio 5.11.
- [10] Página web de SMC:  
[http://www.smc.eu/portal/WebContent/main/index.jsp?lang=es&ctry=ES&is\\_main=ain=yes](http://www.smc.eu/portal/WebContent/main/index.jsp?lang=es&ctry=ES&is_main=ain=yes)
- [11] Página web de PIAB: <http://www.piab.com/Templates/FrontPage.aspx?id=5843>
- [12] Página web de PUSHCORP:  
<http://www.pushcorp.com/>
- [13] Página web de SCHUNK:  
<http://www.schunk.com/schunk/index.html?country=ESP>
- [14] Página web de NIKAI:  
[http://www.nikaisl.com/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1&lang=es](http://www.nikaisl.com/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1&lang=es)
- [15] Página web de KRENEL:  
<http://www.krenel.com/index2.htm>
- [16] Página web de ADVANCED Motion Controls:  
<http://www.a-m-c.com/>
- [17] Página web de ALU-STOCK :  
<http://www.alu-stock.es/index.html>
- [18] Página web de BLANSOL :  
<http://www.blansol.es/index.html>



## IX. ANEXOS

**9.1 Planos.**

- I. Bastidor garra neumática.**
- II. Brida robot.**
- III. Brida pinza mecánica.**
- IV. Brida garra neumática.**
- V. Brida herramienta de mecanizado.**
- VI. Sistema de almacenaje de herramientas.**
- VII. Sistema de almacenaje auxiliar.**



1

2

3

4

A

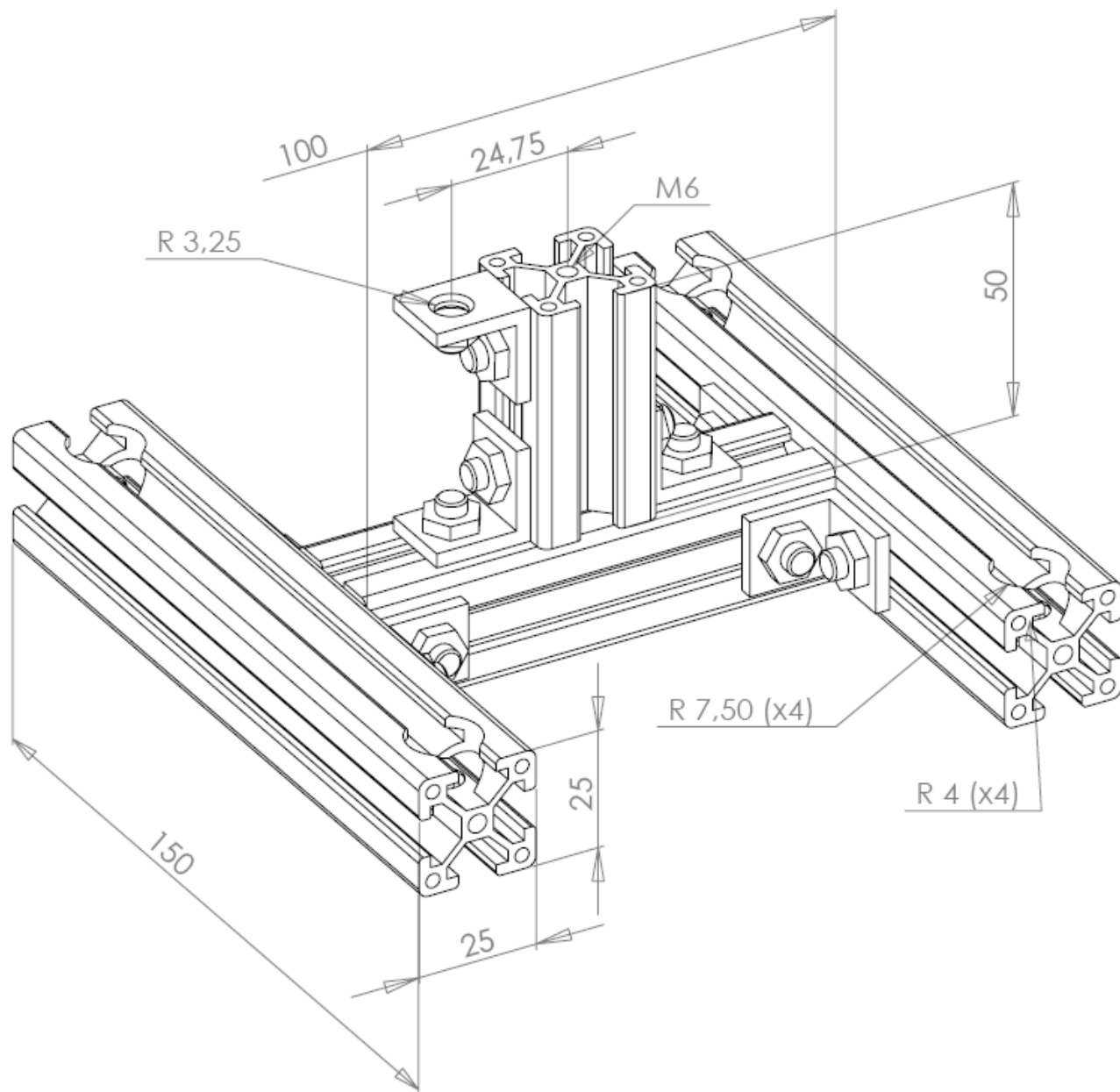
B

C

D

E

F



**Universidad Carlos III de Madrid**

Dimensiones en mm

SCALA 1:1.2

AUTOR:  
José Álvarez Paramio

TÍTULO:  
Bastidor garra neumática.

Plano  
nº I

1

2

3

4

A

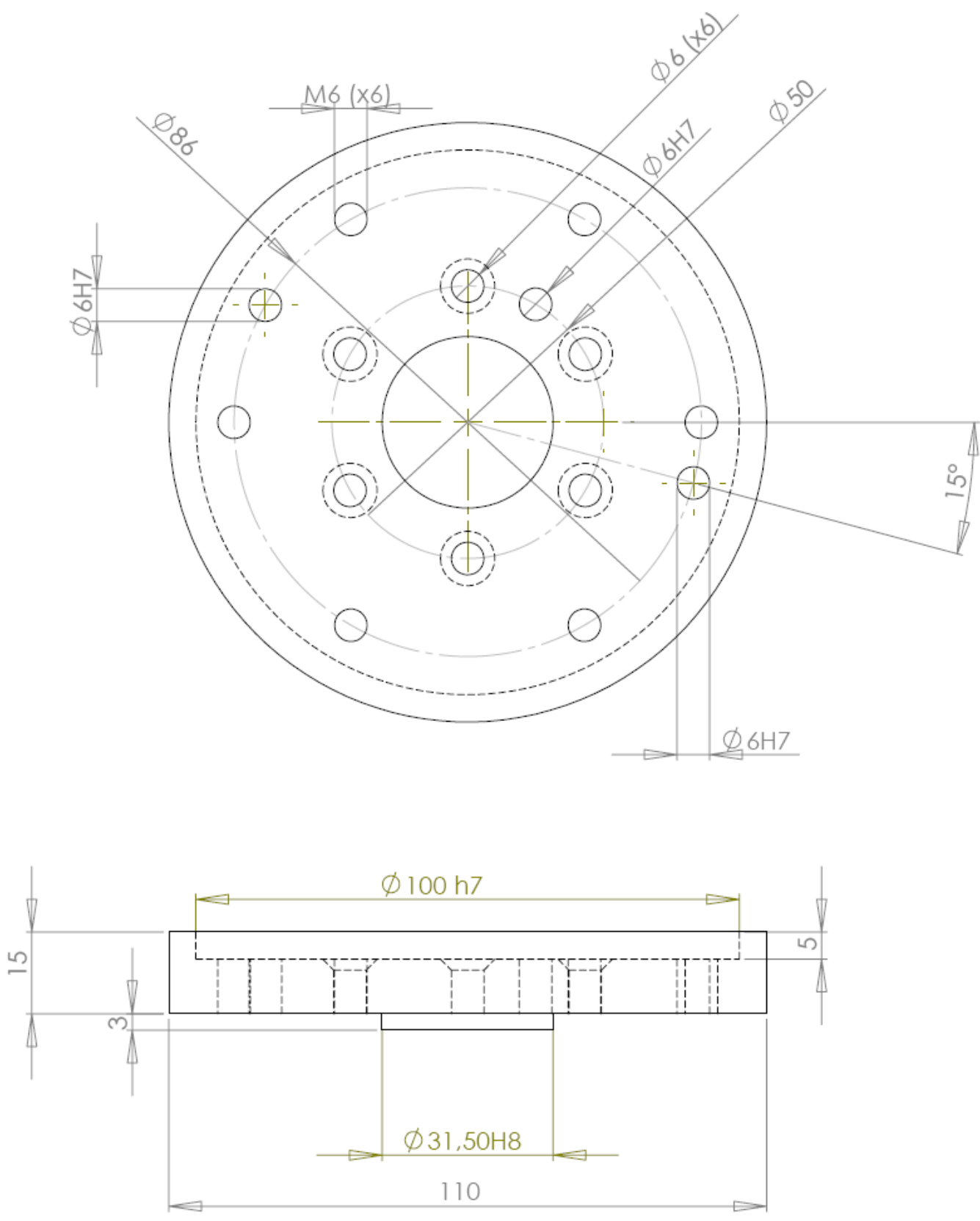
B

C

D

E

F



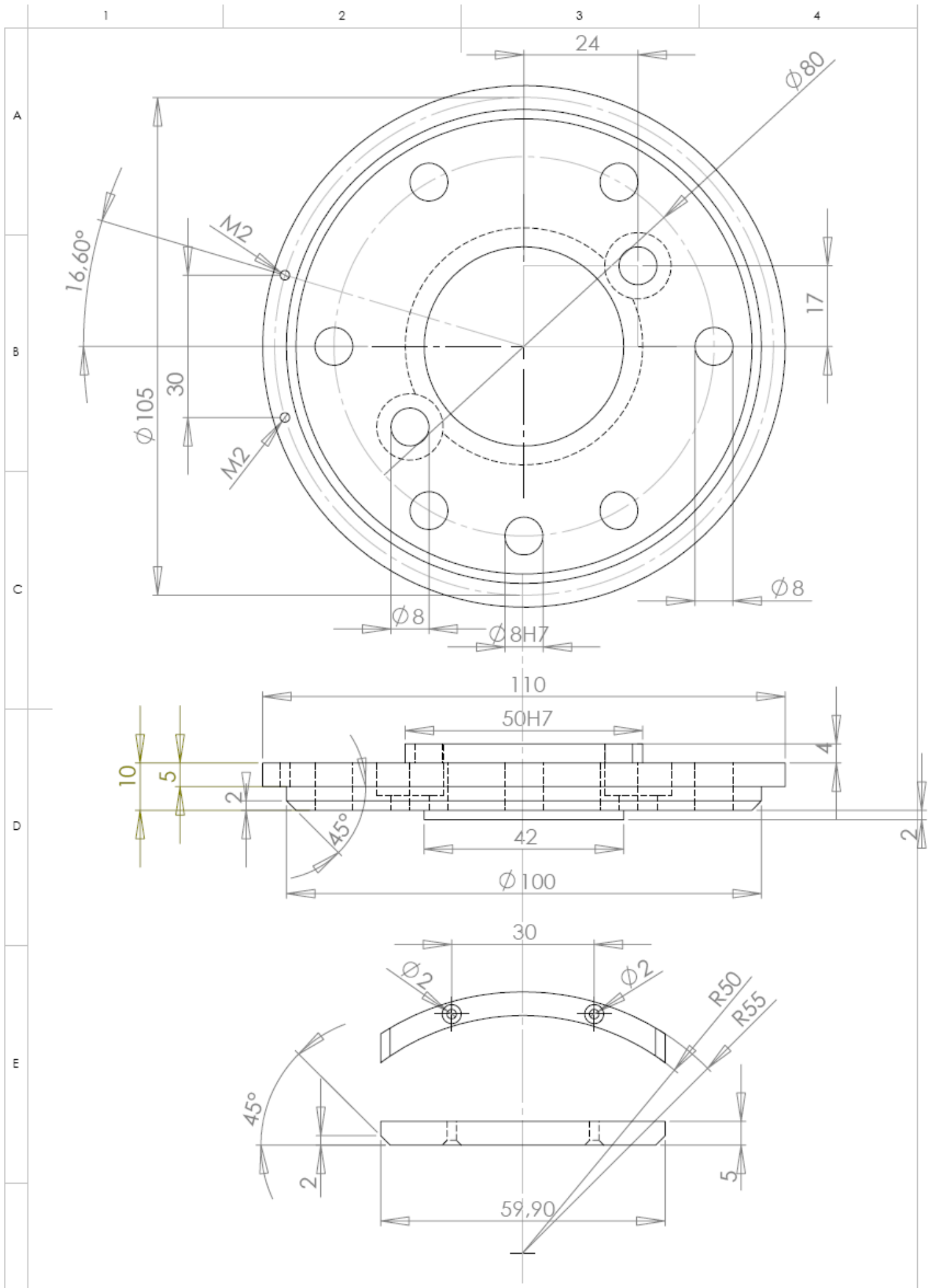
**Universidad Carlos III de Madrid**

Dimensiones en mm  
 ESCALA 1:1

AUTOR:  
 José Álvarez Paramio

TÍTULO:  
 Brida robot.

Plano  
 nº II



Universidad Carlos III de Madrid

Dimensiones en mm

SCALA 1:1

AUTOR:  
José Álvarez Paramio

TÍTULO:  
Brida pinza mecánica.

Plano  
nº III

1

2

3

4

A

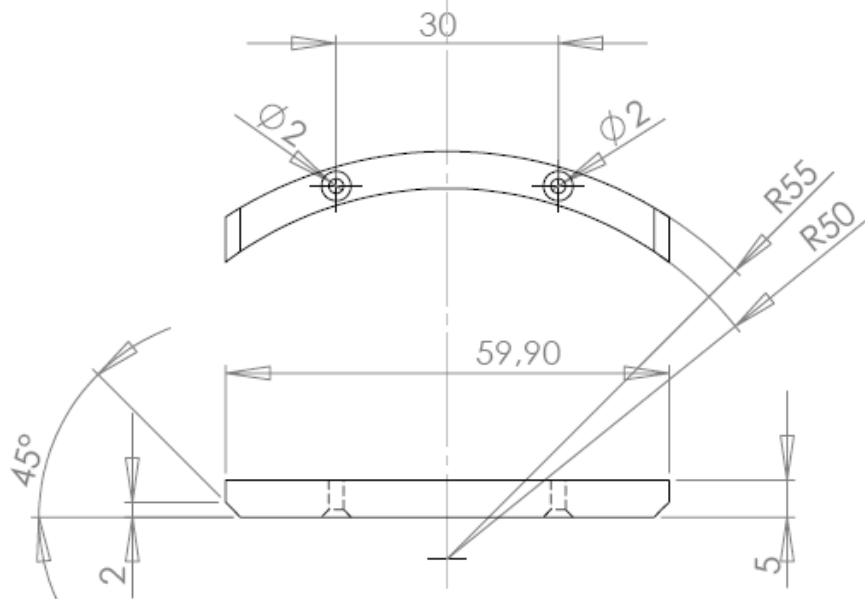
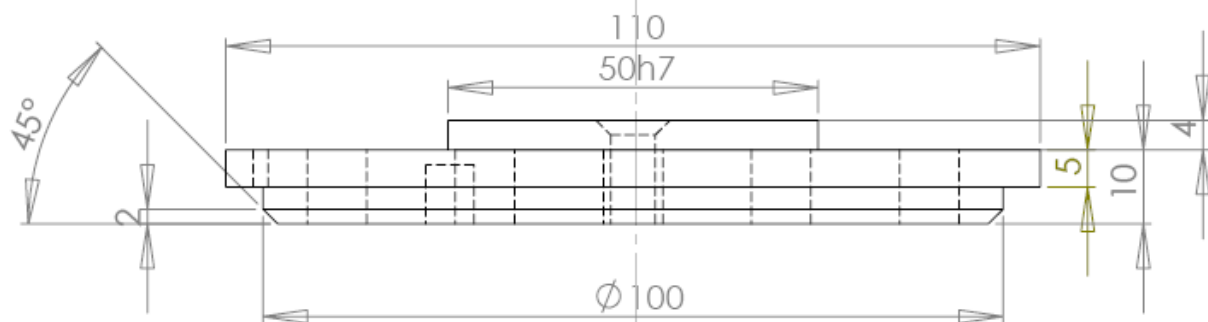
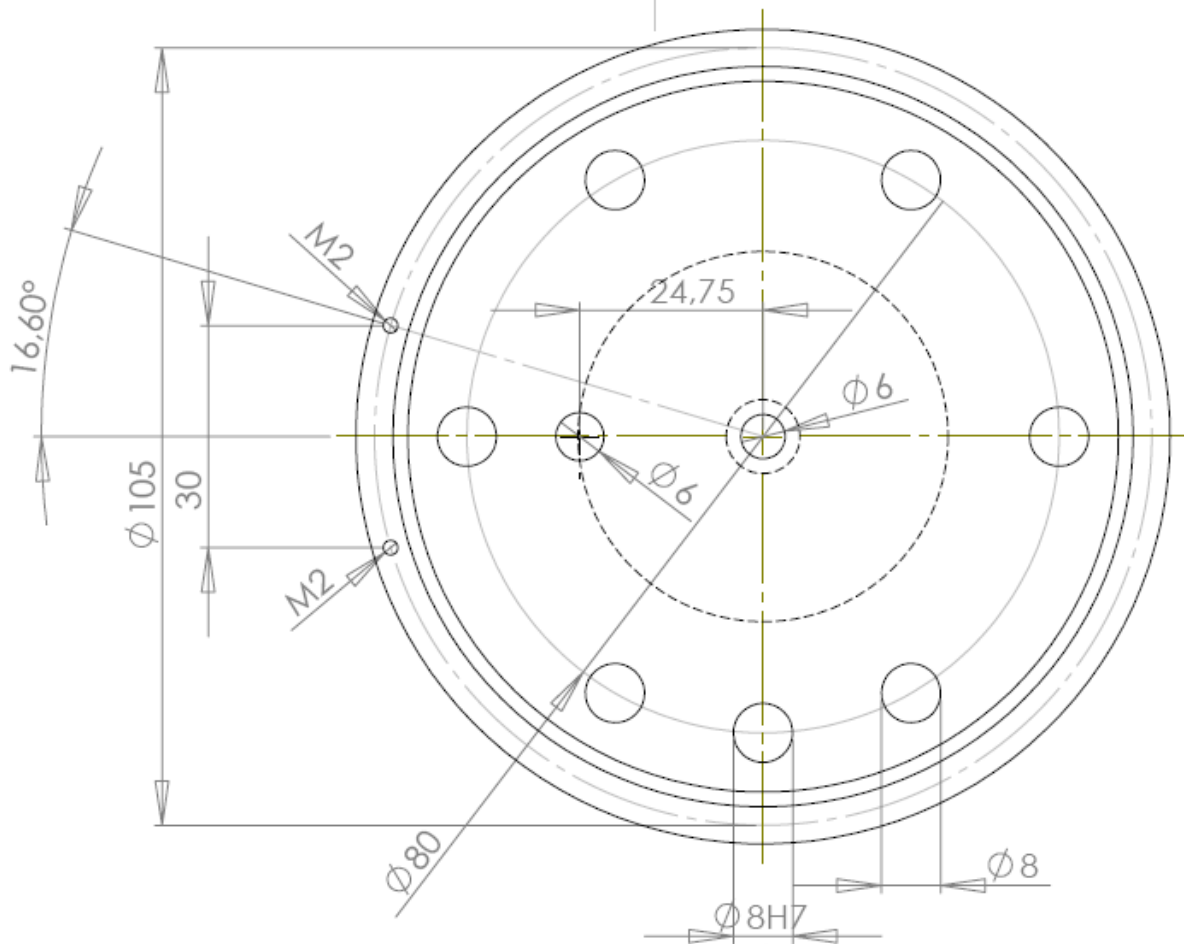
B

C

D

E

F



Universidad Carlos III de Madrid

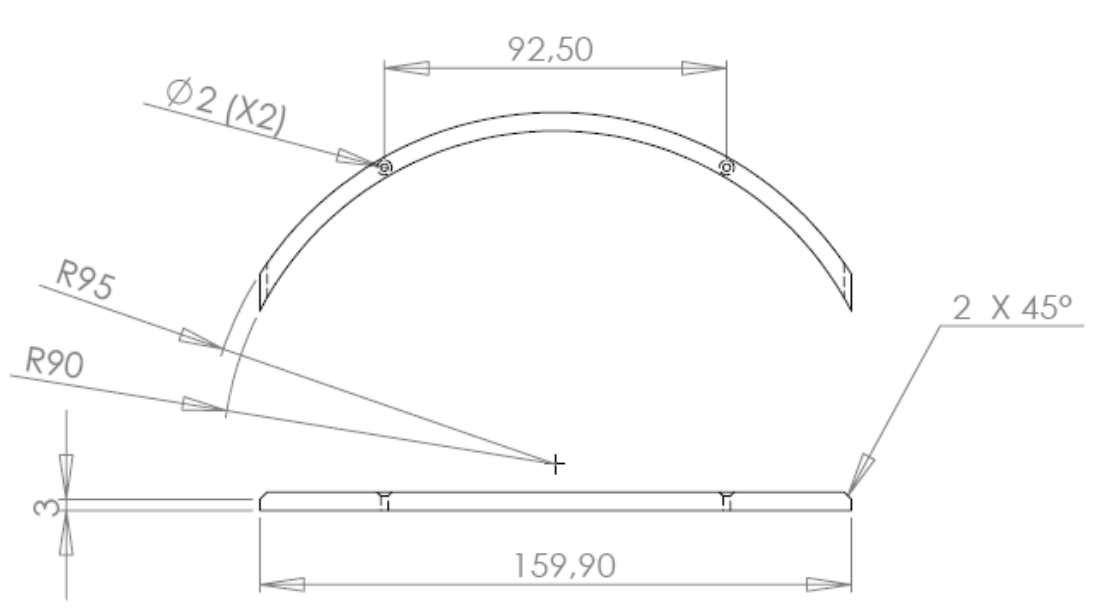
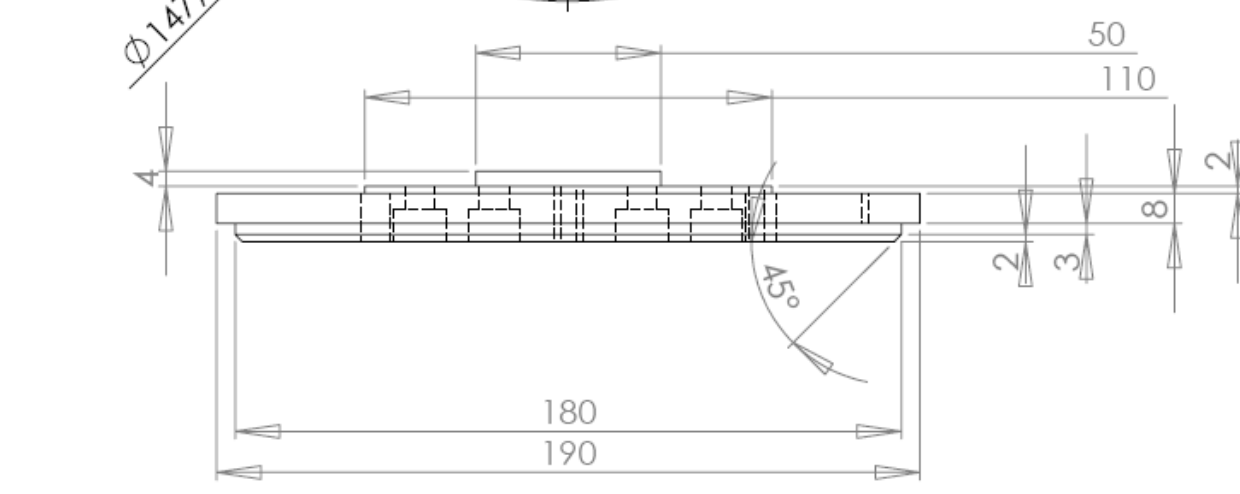
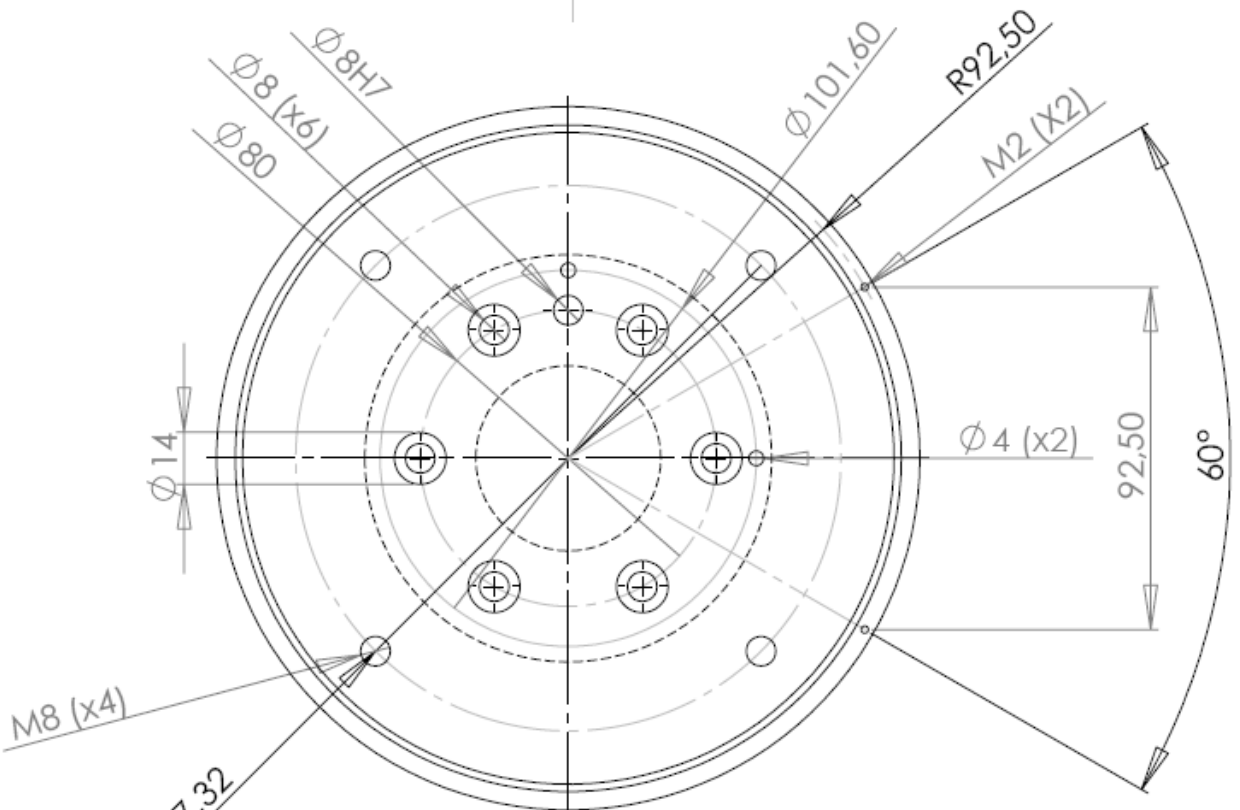
Dimensiones en mm

SCALA 1:1

AUTOR:  
José Álvarez Paramio

TÍTULO:  
Brida garra neumática.

Plano  
nº IV



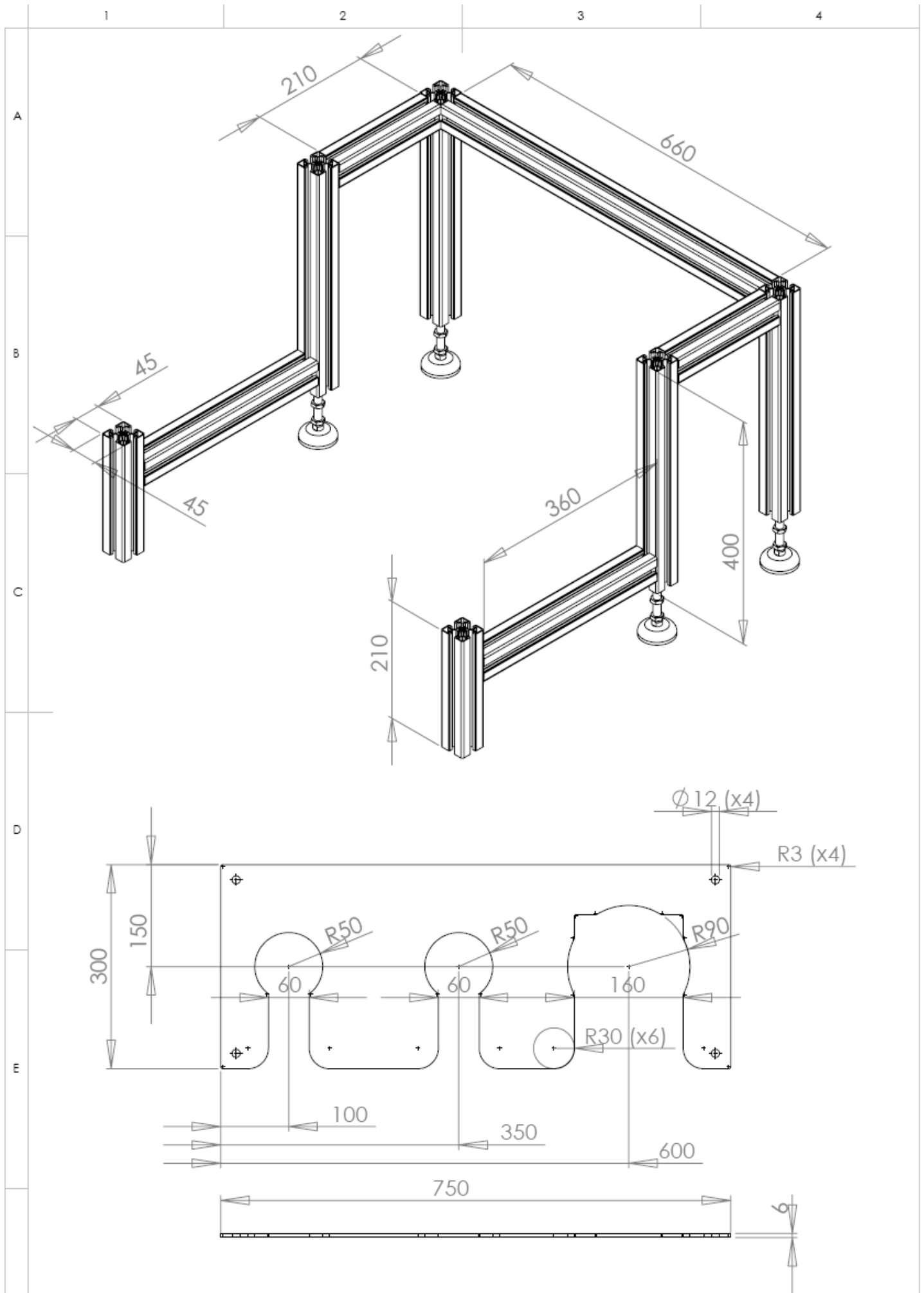
**Universidad Carlos III de Madrid**

Dimensiones en mm  
 SCALA 1:2

AUTOR:  
 José Álvarez Paramio

TÍTULO:  
 Brida herramienta de mecanizado.

Plano  
 nº V



**Universidad Carlos III de Madrid**

Dimensiones en mm  
 ESCALA 1:7

AUTOR:  
 José Álvarez Paramio

TÍTULO:  
 Sistema de almacenaje de herramientas.

Plano  
 nº VI

1

2

3

4

A

B

C

D

E

F

800

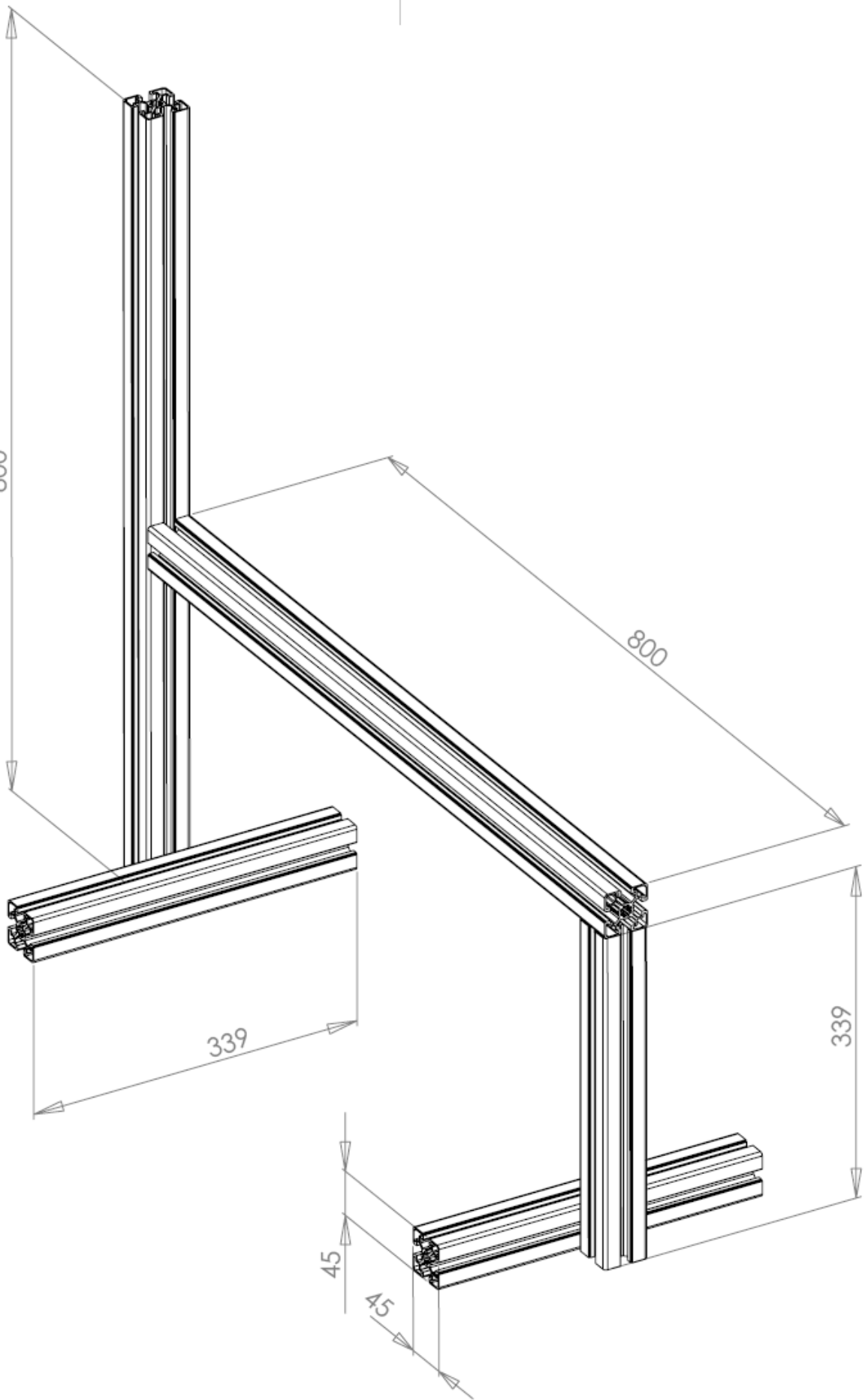
800

339

339

45

45



**Universidad Carlos III de Madrid**

Dimensiones en mm  
 ESCALA 1:5

AUTOR:  
 José Álvarez Paramio

TÍTULO:  
 Sistema de almacenaje auxiliar.

Plano  
 nº VII

## 9.2 Programas rapid para el robot real.

### 9.2.1 Cambio herramienta.

**MODULE** Cambio\_Herramienta

```
#####
!*****DATOS DE PROGRAMA*****
#####

!herramientas empleadas en este modulo
!Plato maestro
PERS tooldata master_plate:=
[TRUE, [[0,0,46.18], [1,0,0,0]], [2, [0,0,20], [1,0,0,0], 0,0,0]];

!objetos de trabajo empleados en este modulo
!Mesa de herramientas
TASK PERS wobjdata mesa_herramientas:= [FALSE, TRUE, "", [[300,-
1155,155], [6.12303176911189E-17,0,0,1]], [[0,0,0], [1,0,0,0]]];

#####
!*****OBJETIVOS*****
#####

CONST jointtarget aprox_mesa_herramientas_OFF:=[ [-
92.19,65.61,52.82,0,37.18,-2.19], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST jointtarget aprox_mesa_herramientas_ON:=[ [-
90,4.64,49.51,0,40.49,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget ap_mot:=[ [638.04,-372.77,460.78], [8.51999E-05,-
0.707075,0.707138,7.99736E-05], [-2,0,-
1,0], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget motor_40:=[ [600,-150,65], [4.32963728535968E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17], [-2,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget motor_20:=[ [600,150,65], [4.32963728535968E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17], [-2,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget motor_10:=[ [600,150,46], [4.32964E-17,-
0.707107,0.707107,4.32964E-17], [-2,0,-
1,0], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget motor_30:=[ [600,150,105], [4.32963728535968E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17], [-2,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget pinza_30:=[ [100,150,100], [4.32963728535968E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17], [-
1,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget pinza_20:=[ [100,150,60], [4.32963728535968E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17], [-
1,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget pinza_10:=[ [100,150,37], [4.32963728535968E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17], [-
1,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget pinza_40:=[ [100,-150,60], [4.32963728535968E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17], [-
1,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```



DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```

CONST robtarget garra_40:=[[350,-150,60],[-4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-2,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget garra_20:=[[350,149,60],[4.4697299924543E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.68139635708552E-17],[-2,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget garra_10:=[[350.02,149.00,39.98],[0.00776349,-
0.707009,0.707121,0.00763709],[-2,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget garra_30:=[[350,149,100],[-4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-2,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

```

```

!VARIABLE DE ERRORES
VAR bool ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA;

```

```

!#####
!*****TRAYECTORIAS*****
!#####

```

```

!*****PINZA MECANICA*****

```

```

PROC Cojo_pinza()
!Si el robot ya tiene una herramienta acoplada: ERROR
IF DI10_1 = 1 OR DI10_2 = 1 THEN !
    TPWrite "ERROR: YA HAY UNA HERRAMIENTA ACOPLADA.";
    STOP;
ENDIF
SET DO10_1; !Se prepara el mecanismo de acople por seguridad
MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_OFF,v1000,z100, master_plate\WObj:=wobj0;
MoveL pinza_30,v1000,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
MoveL pinza_20,v1000,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
MoveL pinza_10,v10,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
WaitTime 1;
Reset DO10_1; !Se activa el mecanismo de acople de herramienta
! RUTINA DE VERIFICACIÓN DE PINZA ACOPLADA
WaitUntil DI10_1 = 1 \MaxTime := 5 \TimeFlag :=
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA;
!Si no se detecta la pinza mecánica en 5seg:ERROR
IF ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA THEN
TPWrite "ERROR: NO SE DETECTA LA HERRAMIENTA DEBIDO A UNA DE LAS
SIGUIENTES CAUSAS:";
TPWrite " - LA HERRAMIENTA NO SE ENCUENTRA EN SU LUGAR
CORRESPONDIENTE";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE COMPRIMIDO";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
TPWrite "EL PROCESO SE DETENDRA";
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA := FALSE;
STOP;
ENDIF
!Si se detecta: se pasa al siguiente punto
WaitTime 2;
MoveL pinza_20,v10,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;

```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
!Si no se verifica el correcto acople de la pinza mecánica: ERROR
  IF DI10_1 = 0 THEN
TPWrite "ERROR: NO SE DETECTA LA HERRAMIENTA DEBIDO A UNA DE LAS
SIGUIENTES CAUSAS:";
TPWrite "  - LA HERRAMIENTA NO SE HA ACOPLADO CORRECTAMENTE";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE DE HERRAMIENTA";

TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE COMPRIMIDO";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
TPWrite "EL PROCESO SE DETENDRA";
STOP;
  ENDIF

!Si se verifica el correcto acople: se prepara para su uso
  MoveL pinza_40,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_ON,v1000,fine,tool0\WObj:=wobj0;
ENDPROC

PROC Dejo_pinza()
!Si no hay herramienta acoplada: ERROR
IF DI10_1 = 0 AND DI10_2 = 0 THEN
TPWrite "ERROR: NO HAY HERRAMIENTA QUE DESACOPLAR.";
  STOP;
ENDIF

!Si la herramienta acoplada no es la pinza: ERROR
IF NOT (DI10_1 = 1 AND DI10_2 = 0) THEN
TPWrite "ERROR: ESTA RUTINA NO CORRESPONDE CON LA HERRAMIENTA ACOPLADA
ACTUALMENTE.";
  STOP;
ENDIF

!Si la herramienta acoplada es la pinza: se continua.
  MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_ON,v1000,fine,master_plate\WObj:=wobj0;
  MoveL pinza_40,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveL pinza_20,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveL pinza_10,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  WaitTime 1;
  Set DO10_1; !Desacoplo herramienta
! RUTINA DE VERIFICACIÓN DE PINZA DESACOPLADA
  WaitUntil DI10_1 = 0 \MaxTime := 5 \TimeFlag :=
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA;
!Si la pinza no se deja de detectar en 5 seg: ERROR
  IF ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA THEN
TPWrite "ERROR: EL PROCESO SE DETENDRA DEBIDO A UNA DE LAS SIGUIENTES
CAUSAS:";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA := FALSE;
STOP;
  ENDIF

!Si se deja de detectar: se pasa al siguiente punto
  WaitTime 2;
  MoveL pinza_20,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
!Si la pinza no se ha desacoplado: ERROR
  IF DI10_1 = 1 THEN
TPWrite "ERROR: EL PROCESO SE DETENDRA DEBIDO A UNA DE LAS SIGUIENTES
CAUSAS:";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
STOP;
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
    ENDIF
!Si se ha desacoplado correctamente: se prepara el robot
  MoveL pinza_30,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_OFF,v1000,z100,master_plate\WObj:=wobj0;
ENDPROC

!*****GARRA NEUMATICA*****

PROC Cojo_garra()
!Si el robot ya tiene una herramienta acoplada: ERROR
IF DI10_1 = 1 OR DI10_2 = 1 THEN
  TPWrite "ERROR: YA HAY UNA HERRAMIENTA ACOPLADA.";
  STOP;
ENDIF
  SET DO10_1; !Se prepara el mecanismo de acople por seguridad
  MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_OFF,v1000,z100,master_plate\WObj:=wobj0;
  MoveL garra_30,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveL garra_20,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveL garra_10,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  WaitTime 1;
  Reset do10_1; !Se activa el mecanismo de acople de herramienta
! RUTINA DE VERIFICACIÓN DE GARRA ACOPLADA
  WaitUntil DI10_2 = 1 \MaxTime := 5 \TimeFlag :=
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA;
!Si no se detecta la garra neumática en 5seg:ERROR
  IF ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA THEN
TPWrite "ERROR: NO SE DETECTA LA HERRAMIENTA DEBIDO A UNA DE LAS
SIGUIENTES CAUSAS:";
TPWrite "  - LA HERRAMIENTA NO SE ENCUENTRA EN SU LUGAR
CORRESPONDIENTE";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE COMPRIMIDO";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
TPWrite "EL PROCESO SE DETENDRA";
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA := FALSE;
STOP;
  ENDIF
!Si se detecta: se pasa al siguiente punto
  WaitTime 2;
  MoveL garra_20,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
!Si no se verifica el correcto acople de la garra neumática: ERROR
  IF DI10_2 = 0 THEN
TPWrite "ERROR: NO SE DETECTA LA HERRAMIENTA DEBIDO A UNA DE LAS
SIGUIENTES CAUSAS:";
TPWrite "  - LA HERRAMIENTA NO SE HA ACOPLADO CORRECTAMENTE";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE DE HERRAMIENTA";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE COMPRIMIDO";
TPWrite "  - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
TPWrite "EL PROCESO SE DETENDRA";
STOP;
  ENDIF
!Si se verifica el correcto acople: se prepara para su uso
  MoveL garra_40,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_ON,v1000,fine,tool0\WObj:=wobj0;
ENDPROC
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
PROC Dejo_garra ()
!Si no hay herramienta acoplada: ERROR
IF DI10_1 = 0 AND DI10_2 = 0 THEN
TPWrite "ERROR: NO HAY HERRAMIENTA QUE DESACOPLAR.";
STOP;
ENDIF
!Si la herramienta acoplada no es la garra: ERROR
IF NOT (DI10_1 = 0 AND DI10_2 = 1) THEN
TPWrite "ERROR: ESTA RUTINA NO CORRESPONDE CON LA HERRAMIENTA ACOPLADA
ACTUALMENTE.";
STOP;
ENDIF
!Si la herramienta acoplada es la garra: se continua.
MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_ON,v1000,fine,master_plate\WObj:=wobj0;
MoveL garra_40,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
MoveL garra_20,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
MoveL garra_10,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
WaitTime 1;
Set do10_1; !Desacoplo herramienta
! RUTINA DE VERIFICACIÓN DE GARRA DESACOPLADA
WaitUntil DI10_2 = 0 \MaxTime := 5 \TimeFlag :=
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA;
!Si la garra no se deja de detectar en 5 seg: ERROR
IF ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA THEN
TPWrite "ERROR: EL PROCESO SE DETENDRA DEBIDO A UNA DE LAS SIGUIENTES
CAUSAS:";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA := FALSE;
STOP;
ENDIF
!Si se deja de detectar: se pasa al siguiente punto
WaitTime 2;
MoveL garra_20,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
!Si la garra no se ha desacoplado: ERROR
IF DI10_2 = 1 THEN
TPWrite "ERROR: EL PROCESO SE DETENDRA DEBIDO A UNA DE LAS SIGUIENTES
CAUSAS:";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
STOP;
ENDIF
!Si se ha desacoplado correctamente: se prepara el robot
MoveL garra_30,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_OFF,v1000,z100,master_plate\WObj:=wobj0;
ENDPROC
```

!\*\*\*\*\*HERRAMIENTA DE MECANIZADO\*\*\*\*\*

```
PROC Cojo_motor ()
!Si el robot ya tiene una herramienta acoplada: ERROR
IF DI10_1 = 1 OR DI10_2 = 1 THEN
TPWrite "ERROR: YA HAY UNA HERRAMIENTA ACOPLADA.";
STOP;
ENDIF
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
    SET DO10_1; !Se prepara el mecanismo de acople por seguridad
    MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_OFF,v1000,z100,master_plate\WObj:=wobj0;
    MoveL motor_30,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
    MoveL motor_20,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
    MoveL motor_10,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
    WaitTime 1;
    Reset DO10_1; !Se activa el mecanismo de acople de herramienta
! RUTINA DE VERIFICACIÓN DE MOTOR ACOPLADA
    WaitUntil DI10_1 = 1 AND DI10_2 = 1 \MaxTime := 5 \TimeFlag :=
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA;
Si no se detecta la herramienta de mecanizado en 5seg:ERROR
    IF ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA THEN
TPWrite "ERROR: NO SE DETECTA LA HERRAMIENTA DEBIDO A UNA DE LAS
SIGUIENTES CAUSAS:";
TPWrite " - LA HERRAMIENTA NO SE ENCUENTRA EN SU LUGAR
CORRESPONDIENTE";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE COMPRIMIDO";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
TPWrite "EL PROCESO SE DETENDRA";
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA := FALSE;
STOP;
        ENDIF
!Si se detecta: se pasa al siguiente punto
    WaitTime 2;
    MoveL motor_20,v10,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
!Si no se verifica el correcto acople: ERROR
    IF DI10_1 = 0 AND DI10_2 = 0 THEN
TPWrite "ERROR: NO SE DETECTA LA HERRAMIENTA DEBIDO A UNA DE LAS
SIGUIENTES CAUSAS:";
TPWrite " - LA HERRAMIENTA NO SE HA ACOPLADO CORRECTAMENTE";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE DE HERRAMIENTA";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE COMPRIMIDO";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
TPWrite "EL PROCESO SE DETENDRA";
STOP;
        ENDIF
!Si se verifica el correcto acople: se prepara para su uso
    MoveL motor_40,v1000,fine,master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
    MoveL ap_mot, v1000, fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
    MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_ON,v1000,fine,tool0\WObj:=wobj0;
    Set DO10_16;
    Set DO10_15;
ENDPROC

PROC Dejo_motor()
!Si no hay herramienta acoplada: ERROR
IF DI10_1 = 0 AND DI10_2 = 0 THEN
TPWrite "ERROR: NO HAY HERRAMIENTA QUE DESACOPLAR.";
STOP;
ENDIF
!Si la herramienta acoplada no es la de mecanizado: ERROR
IF NOT (DI10_1 = 1 AND DI10_2 = 1) THEN
TPWrite "ERROR: ESTA RUTINA NO CORRESPONDE CON LA HERRAMIENTA ACOPLADA
ACTUALMENTE.";
STOP;
ENDIF
ENDIF
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
!Si la herramienta acoplada es la de mecanizado: se continua.
  Reset DO10_15;
  Reset DO10_16;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_ON,v1000,z100,master_plate\WObj:=wobj0;
  MoveL ap_mot, v1000, fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveL motor_40,v1000,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveL motor_20,v1000,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveL motor_10,v10,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  WaitTime 1;
  Set DO10_1;
! RUTINA DE VERIFICACIÓN DE MOTOR DESACOPLADO
  WaitUntil DI10_1 = 0 AND DI10_2 = 0 \MaxTime := 5 \TimeFlag :=
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA;
!Si la herramienta de mecanizado no se deja de detectar en 5seg: ERROR
  IF ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA THEN
TPWrite "ERROR: EL PROCESO SE DETENDRA DEBIDO A UNA DE LAS SIGUIENTES
CAUSAS:";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
ERROR_CAMBIO_HERRAMIENTA := FALSE;
STOP;
  ENDIF
!Si se deja de detectar: se pasa al siguiente punto
  WaitTime 2;
  MoveL motor_20,v10,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
!Si la herramienta de mecanizado no se ha desacoplado: ERROR
  IF DI10_1 = 1 AND DI10_2 = 1 THEN
TPWrite "ERROR: EL PROCESO SE DETENDRA DEBIDO A UNA DE LAS SIGUIENTES
CAUSAS:";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA";
TPWrite " - FALLO EN EL SISTEMA DE IDENTIFICACION DE HERRAMIENTA";
  STOP;
  ENDIF
!Si se ha desacoplado correctamente: se prepara el robot
  MoveL motor_30,v1000,fine, master_plate\WObj:=mesa_herramientas;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_herramientas_OFF,v1000,z100, master_plate\WObj:=wobj0;
ENDPROC
ENDMODULE
```

## 9.2.2 Ensamblado del bastidor del módulo de aguas.

**MODULE** Ensamblaje\_Bastidor

```
#####  
*****DATOS DE PROGRAMA*****  
#####
```

!herramientas empleadas en este modulo

!Pinza mecánica

**TASK PERS** tooldata pinza

:=[TRUE, [[0,24,304.18],[1,0,0,0]], [5,[0,0,1],[1,0,0,0],0,0,0]];

!objetos de trabajo empleados en este modulo

!Area de ensamblaje

**TASK PERS** wobjdata ensamblaje

:=[FALSE,TRUE,"", [[1532,31,176],[0.707107,0,0,0.707107]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

!Area de subensamblaje

**TASK PERS** wobjdata subensamblajes

:=[FALSE,TRUE,"", [[400,722,129],[6.12303176911189E-17,0,0,1]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

!Almacén de racores

**TASK PERS** wobjdata RACORES:= [FALSE,TRUE,"", [[-672.5,880,182],[1,0,0,0]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

!Almacén de barras horizontales largas

**TASK PERS** wobjdata HL:= [FALSE,TRUE,"", [[-250.5,1483.5,152],[1,0,0,0]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

!Almacén de barras horizontales cortas

**TASK PERS** wobjdata HC:= [FALSE,TRUE,"", [[-606,1278,156],[1,0,0,0]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

!Almacén de barras horizontales medias

**TASK PERS** wobjdata HM:= [FALSE,TRUE,"", [[-349,1383.5,150],[1,0,0,0]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

!Almacén de barras verticales

**TASK PERS** wobjdata V:= [FALSE,TRUE,"", [[-610.5,1179,153],[1,0,0,0]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

```
#####  
*****OBJETIVOS*****  
#####
```

**CONST** jointtarget aprox\_mesa\_almacen:=

[[90,4.64,49.51,0,40.49,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

**CONST** robtarget E1\_20:= [[247,-2.22044604925031E-13,100],[-4.35788199605262E-32,-

0.707106781186547,0.707106781186548,8.65927457071936E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

**CONST** robtarget E1\_10:= [[247,-1.11022302462516E-13,3],[-4.35788199605262E-32,-

0.707106781186547,0.707106781186548,8.65927457071936E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

**CONST** robtarget Rd\_20:= [[2.22045E-13,-35,200],[7.15559E-32,-7.27364E-16,1,6.12303E-17],[0,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

**CONST** robtarget Rd\_10:= [[0,-35,3],[7.2914E-06,1.00754E-05,1,1.40823E-05],[0,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget HL_aprox:=[[0,0,200],[-4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget HL_1:=[[0,0,130],[4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget HL_10:=[[545,-1.11022302462516E-13,200],[8.65927457071936E-17,0.707106781186548,0.707106781186547,9.58734039131576E-32],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget HL_20:=[[545,-1.11022302462516E-13,5],[8.65927457071936E-17,0.707106781186548,0.707106781186547,9.58734039131576E-32],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget HL_30:=[[487.5,0,5],[-4.32964E-17,0.707107,0.707107,4.32964E-17],[1,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget HL_40:=[[487.5,0,200],[-4.32963728535968E-17,0.707106781186548,0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget E2_20:=[[247,215,100],[4.32963728535968E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget E2_10:=[[247,215,3],[4.32963728535968E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Ri_10:=[[1025,-14,200],[6.12303E-17,7.27364E-16,1,6.12303E-17],[1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Ri_20:=[[1025,-14,3],[6.12303E-17,7.27364E-16,1,6.12303E-17],[1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Ri_30:=[[975,-14,3],[6.12303E-17,7.27364E-16,1,6.12303E-17],[1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Ri_40:=[[975,-14,200],[6.12303E-17,7.27364E-16,1,6.12303E-17],[1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST jointtarget aprox_mesa_ensamblaje
:=[[0,4.64,49.51,0,40.49,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget ensHLly3_20:=[[2,-1,200],[4.32964E-17,-0.707107,0.707107,-4.32964E-17],[0,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget ensHLly3_10:=[[2,-1,5],[4.32964E-17,-0.707107,0.707107,-4.32964E-17],[0,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget E3_20:=[[173,-2.22044604925031E-13,100],[4.32963728535968E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget E3_10:=[[173,-1.11022302462516E-13,3],[4.32963728535968E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget HL_2:=[[0,0,105],[4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget E4_20:=[[173,215,100],[4.32963728535968E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget E4_10:=[[173,215,3],[-4.32963728535968E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,-4.32963728535968E-17],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

```



DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget ensHL2y6_40:=[[-17.5, 826, 200], [-4.32964E-17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget ensHL2y6_30:=[[-17.5, 826, 5], [-4.32964E-17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget ensHL2y6_10:=[[-17.5, 774, 5], [8.65927E-17, 0.707107, 0.707107, 8.71576E-32], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget ensHL2y6_20:=[[-17.5, 774, 200], [-4.32964E-17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget E5_20:=[98.999999999999996, -5.55111512312578E-13, 100], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget E5_10:=[98.999999999999998, -4.44089209850063E-13, 3], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget HL_3
:=[0, 0, 80.000000000000001], [4.32963728535968E-17, 0.707106781186548, -0.707106781186547, -4.32963728535967E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget E6_20:=[99, 215, 100], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget E6_10:=[99, 215, 3], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget T1_20
:=[247, 79.999999999999998, 100], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget T1_10:=[247, 80, 3], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget HL_4
:=[0, 0, 55.000000000000001], [4.32963728535968E-17, 0.707106781186548, -0.707106781186547, -4.32963728535967E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget T2_20:=[173, 135, 100], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget T2_10:=[173, 135, 3], [9.58734039131576E-32, -0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget ensHL4_40:=[[-5.5, 310, 200], [-4.32964E-17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget ensHL4_30:=[[-5.5, 310, 5], [-4.32964E-17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget ensHL4_10:=[[-5.5, 258, 5], [-4.32964E-17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget ensHL4_20:=[[-5.5, 258, 200], [-4.32964E-17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget T3_20
:=[ [98.99999999999996, 79.99999999999998, 100], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget T3_10
:=[ [98.99999999999998, 80, 3], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget HL_5
:=[ [0, 0, 30.00000000000001], [4.32963728535968E-17, 0.707106781186548, -
0.707106781186547, -4.32963728535967E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget T4_20:=[ [25, 135, 100], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget T4_10:=[ [25, 135, 3], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget ensHL5_40:=[ [-12, 570, 200], [-4.32964E-
17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-
17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
CONST robtarget ensHL5_30:=[ [-12, 570, 5], [-4.32964E-
17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-
17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
CONST robtarget ensHL5_10:=[ [-12, 516, 5], [-4.32964E-
17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-
17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
CONST robtarget ensHL5_20:=[ [-12, 516, 200], [-4.32964E-
17, 0.707107, 0.707107, 4.32964E-
17], [0, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
CONST robtarget E7_20:=[ [25, -1.11022302462516E-
13, 100], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget E7_10:=[ [25, -1.11022302462516E-
13, 3], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget HL_6:=[ [0, 0, 5], [4.32963728535968E-
17, 0.707106781186548, -0.707106781186547, -4.32963728535967E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget E8_20:=[ [25, 215, 100], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget E8_10:=[ [25, 215, 3], [9.58734039131576E-32, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 8.65927457071936E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget HM_aprox:=[ [0, 0, 200], [4.32963728535968E-17, -
0.707106781186547, 0.707106781186548, 4.32963728535968E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]]];
CONST robtarget HM_1:=[ [-1.11022E-13, 0, 35], [7.84419E-32, -
0.707107, 0.707107, 8.65927E-
17], [1, 0, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
CONST robtarget ensHM1_40:=[ [-495, 440, 205], [6.12303E-
17, 7.24505E-16, 1, 5.27354E-33], [-1, 0, -
2, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
CONST robtarget ensHM1_30:=[ [-495, 440, 5], [6.12303E-17, 7.24505E-
16, 1, 5.27354E-33], [-1, 0, -2, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
CONST robtarget ensHM1_10:=[ [-495, 365, 5], [6.12303E-17, 7.24505E-
16, 1, 5.27354E-33], [-1, 0, -2, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]]];
```



---

```

CONST robtarget ensHC5_20:=[[ -500, 625, 205], [6.12303E-
17, 7.24505E-16, 1, 5.27354E-33], [-1, 0, -
2, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget HC_6:=[[0, 0, 10], [-8.65927457071935E-
17, 0.707106781186548, -0.707106781186547, -2.61472919763157E-32], [0, 0, -
1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget ensHC6_40:=[[473.5, 705, 205], [6.12303E-
17, 7.24505E-16, 1, 5.27354E-33], [0, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget ensHC6_30:=[[473.5, 705, 10], [6.12303E-
17, 7.24505E-16, 1, 5.27354E-33], [0, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget ensHC6_10:=[[473.5, 645, 10], [6.12303E-
17, 7.24505E-16, 1, 5.27354E-33], [0, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget ensHC6_20:=[[473.5, 645, 205], [6.12303E-
17, 7.24505E-16, 1, 5.27354E-33], [0, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget V_aprox:=[[13, 0, 200], [4.32964E-17, 0.707107, -
0.707107, -4.32964E-17], [0, 0, -
1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V_1:=[[13, -4.44089E-13, 87.5], [8.65927E-
17, 0.707107, -0.707107, -3.48631E-32], [0, 0, -
1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V1_10:=[[491, 11, 425], [7.71486E-16, 5.68564E-
17, 0.707107, -0.707107], [0, 0, -2, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget V1_20:=[[491, 11, 138], [7.71486E-16, 5.68564E-
17, 0.707107, -0.707107], [0, 0, -
2, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V1_30:=[[491, 50, 138], [7.71486E-16, 5.68564E-
17, 0.707107, -0.707107], [0, 0, -
2, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V_2:=[[13, -4.44089E-13, 62.5], [8.65927E-
17, 0.707107, -0.707107, -3.48631E-32], [0, 0, -
1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V2_10:=[[ -483.5, -10, 425], [8.41903E-16, 2.16482E-
17, 0.707107, -0.707107], [-1, -1, -
1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V2_20:=[[ -483.5, -10, 138], [8.41903E-16, 2.16482E-
17, 0.707107, -0.707107], [-1, -1, -
1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V2_30:=[[ -483.5, 50, 138], [-1.39143E-15, -2.16482E-
17, -0.707107, 0.707107], [-1, -1, -
1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V_3:=[[13, -2.22044604925031E-13, 37.5], [-
8.65927094555908E-17, 0.707106781186548, -0.707106781186547, -
3.62516027752382E-23], [0, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget V3_10:=[[ -503, 757, 425], [0.5, -0.5, -0.5, 0.5], [-1, -
2, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
CONST robtarget V3_20:=[[ -503, 757, 143], [0.5, -0.5, -0.5, 0.5], [-1, -
2, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V3_30:=[[ -450, 757, 143], [0.5, -0.5, -0.5, 0.5], [-1, -
2, 0, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V_4:=[[13, -2.22045E-13, 12.5], [8.65927E-
17, 0.707107, -0.707107, -8.71576E-33], [0, 0, -
1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V4_10:=[[471, 783, 425], [0.5, -0.5, 0.5, -
0.5], [0, 1, 1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V4_20:=[[471, 783, 143], [0.5, -0.5, 0.5, -
0.5], [0, 1, 1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget V4_30:=[[450, 783, 143], [0.5, -0.5, 0.5, -
0.5], [0, 1, 1, 0], [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]];
CONST robtarget ensHC4_10:=[[478.5, 387, 10], [6.12303E-
17, 7.24505E-16, 1, 5.27354E-33], [0, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];

```

---

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget ensHC4_20:=[[478.5,387,205],[6.12303E-
17,7.24505E-16,1,5.27354E-33],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget ensHC4_30:=[[478.5,450,10],[6.12303E-
17,7.24505E-16,1,5.27354E-33],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget ensHC4_40:=[[478.5,450,205],[6.12303E-
17,7.24505E-16,1,5.27354E-33],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget ensHC3_10:=[[-495.5,370,10],[6.12303E-
17,7.24505E-16,1,5.27354E-33],[-1,0,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget ensHC3_20:=[[-495.5,377,205],[6.12303E-
17,7.24505E-16,1,5.27354E-33],[-1,0,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget ensHC3_30:=[[-495.5,440,10],[6.12303E-
17,7.24505E-16,1,5.27354E-33],[-1,0,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget ensHC3_40:=[[-495.5,440,205],[6.12303E-
17,7.24505E-16,1,5.27354E-33],[-1,0,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_iz_10:=[[472.5,850,200],[1.45882E-05,-1,-
0.000144142,2.30968E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_iz_20:=[[472.5,850,0],[1.45882E-05,-1,-
0.000144142,2.30968E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_iz_30:=[[472.5,792,0],[1.45137E-05,-1,-
0.000144732,2.71201E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_iz_40:=[[472.5,800,200],[1.45882E-05,-1,-
0.000144142,2.30968E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_drch_10:=[[-500,850,200],[1.45882E-05,-1,-
0.000144142,2.30968E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_drch_20:=[[-500,850,0],[1.45882E-05,-1,-
0.000144142,2.30968E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_drch_30:=[[-500,772,0],[1.45882E-05,-1,-
0.000144142,2.30968E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_drch_40:=[[-500,782,200],[1.45882E-05,-1,-
0.000144142,2.30968E-
06],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget Tapa_00:=[[-17,775,4],[8.65927E-
17,0.707107,0.707107,6.10103E-32],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget Tapa_10:=[[6.17561557447743E-
13,774,800],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST jointtarget aux_tapa_1
:=[[180,4.64,49.51,0,40.49,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Tapa_80:=[[-16.5,774,225],[-4.32964E-
17,0.707107,0.707107,4.32964E-17],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST jointtarget aux_tapa_off
:=[[175,4.64,49.51,0,40.49,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget tapa_of_10:=[[-43.5,2500,470],[0.5,0.5,-0.5,-
0.5],[1,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapa_of_20:=[[-43.5,2550,375],[0.5,0.5,-0.5,-
0.5],[1,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget tapa_on_10:=[[-18.5,2500,400],[0.5,-0.5,0.5,-
0.5],[-2,-1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST jointtarget aux_tapa_on:=[[-
175,4.64,49.51,0,40.49,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget tapa_on_20:=[[-29,2550,375],[0.5,-0.5,0.5,-
0.5],[-2,-1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapa_of_15:=[[-43.5,2500,375],[0.5,0.5,-0.5,-
0.5],[1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget tapa_of_25
:=[6.499999999999999,2525,375],[0.5,0.5,-0.5,-0.5],[1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget tapa_on_15:=[[-18.5,2500,375],[0.5,-0.5,0.5,-
0.5],[-2,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget tapa_on_25:=[[-68.5,2550,375],[0.5,-0.5,0.5,-
0.5],[-2,-1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapa_on_12:=[[-
118.5,2500,400],[2.16481864267984E-17,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.16481864267984E-17],[1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST jointtarget aux_tapa_on_2:=[0.53,-
5.41,29.29,0,60.71,0.53],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget tapav2_10:=[[-488,85,305],[0.000130765,-
0.707137,-0.707077,-0.0003931],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapav2_20:=[[-488,85,244],[0.000136326,-
0.707128,-0.707086,-0.00039654],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapav1_10:=[480,85,305],[0.000130765,-
0.707137,-0.707077,-0.0003931],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapav1_20:=[480,85,244],[0.000136326,-
0.707128,-0.707086,-0.00039654],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapav4_10:=[470,690,305],[0.000130765,-
0.707137,-0.707077,-0.0003931],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapav4_20:=[470,690,244],[0.000136326,-
0.707128,-0.707086,-0.00039654],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapav3_10:=[[-500,690,305],[0.000130765,-
0.707137,-0.707077,-0.0003931],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget tapav3_20:=[[-500,690,244],[0.000136326,-
0.707128,-0.707086,-0.00039654],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_ens_h14_10:=[[-390,330,200],[1.05649E-05,-
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_ens_h14_20:=[[-390,330,0],[1.05649E-05,-
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_ens_h14_30:=[[-390,259,0],[1.05649E-05,-
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_ens_h14_40:=[360,346,200],[1.05649E-05,-
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget aux_ens_h14_50:=[360,346,0],[1.05649E-05,-
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget aux_ens_hl4_60:=[[360,277,0],[1.05649E-05,-  
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget ensHL14:=[[360.03,285.92,18.49],[4.61638E-05,-  
0.999968,0.00798704,1.07586E-  
05],[0,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget aux_ens_hl5_10:=[[ -390,590,200],[1.05649E-05,-  
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget aux_ens_hl5_20:=[[ -390,590,0],[1.05649E-05,-  
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget aux_ens_hl5_30:=[[ -390,520,0],[1.05649E-05,-  
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget aux_ens_hl5_40:=[[360,600,200],[1.05649E-05,-  
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget aux_ens_hl5_50:=[[360,600,0],[1.05649E-05,-  
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget aux_ens_hl5_60:=[[360,532,0],[1.05649E-05,-  
0.999969,0.00794662,-3.11434E-06],[-1,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget tapa_01:=[[ -17,850,4],[8.65927E-  
17,0.707107,0.707107,6.10103E-32],[-1,0,-  
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
CONST robtarget tapa_02:=[[ -17,850,100],[8.65927E-  
17,0.707107,0.707107,6.10103E-32],[-1,0,-  
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
!#####  
!*****TRAYECTORIAS*****  
!#####
```

```
PROC HL1 ()  
  ConfJ\Off;  
  ConfL\Off;  
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;  
  MoveL E1_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;  
  MoveL E1_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;  
  WaitTime 1;  
  SET DO10_2; !Cojo e1  
  WaitTime 1;  
  MoveL E1_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;  
  MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;  
  MoveL Rd_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;  
  WaitTime 1;  
  SET DO10_5; !Activo sistema de agarre del subensamblaje  
  RESET DO10_2; !Dejo e1  
  WaitTime 1;  
  MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;  
  MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;  
  MoveL HL_1,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;  
  WaitTime 1;  
  SET DO10_2; !Cojo hl1  
  WaitTime 1;
```



```
MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
MoveL HL_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo h11 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL E2_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
MoveL E2_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo e2
WaitTime 1;
MoveL E2_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
MoveL Ri_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo e2 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL Ri_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo subensamblaje HL1
RESET DO10_5; !Desactivo sistema de agarre del subensamblaje
WaitTime 1;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveJ ensHLly3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHLly3_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
SET DO10_7; !Activo sistema de agarre del ensamblaje
RESET DO10_2; !Dejo el subensamblaje HL1
WaitTime 1;
MoveL ensHLly3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HL2 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL E3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL E3_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo e3
  WaitTime 1;
  MoveL E3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL Rd_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  WaitTime 1;
  SET DO10_5; !Activo sistema de agarre del subensamblaje
  RESET DO10_2; !Dejo e3
  WaitTime 1;
  MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
  MoveL HL_2,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo h12
```



```
WaitTime 1;
MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
MoveL HL_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo hl2 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL E4_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
MoveL E4_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo e4
WaitTime 1;
MoveL E4_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
MoveL Ri_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo e4 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL Ri_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo subensamblaje HL2
RESET DO10_5; !Desactivo sistema de agarre del subensamblaje
WaitTime 1;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHL2y6_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL2y6_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL2y6_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Ensamblo el subensamblaje HL2
WaitTime 1;
MoveL ensHL2y6_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
SET DO10_2;
MoveL aux_iz_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_iz_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_iz_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_iz_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_iz_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_drch_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
RESET DO10_2;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HL3 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL E5_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL E5_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
```

```
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo e5
WaitTime 1;
MoveL E5_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Rd_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
SET DO10_5; !Activo sistema de agarre del subensamblaje
RESET DO10_2; !Dejo e5
WaitTime 1;
MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
MoveL HL_3,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo hl3
WaitTime 1;
MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
MoveL HL_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo hl3 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL E6_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
MoveL E6_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo e6
WaitTime 1;
MoveL E6_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
MoveL Ri_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo e6 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL Ri_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo subensamblaje HL3
RESET DO10_5; !Desactivo sistema de agarre del subensamblaje
WaitTime 1;
MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHLly3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHLly3_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
SET DO10_7;
RESET DO10_2; !Ensamblo el subensamblaje HL3
WaitTime 1;
MoveL ensHLly3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HL4 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL T1_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
```

```
MoveL T1_10, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo t1
WaitTime 1;
MoveL T1_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
MoveL Rd_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Rd_10, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
SET DO10_5; !Activo sistema de agarre del subensamblaje
RESET DO10_2; !Dejo t1
WaitTime 1;
MoveL Rd_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_aprox, v1000, fine, pinza\WObj:=HL;
MoveL HL_4, v1000, fine, pinza\WObj:=HL;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo hl4
WaitTime 1;
MoveL HL_aprox, v1000, fine, pinza\WObj:=HL;
MoveL HL_10, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo hl4 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL T2_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
MoveL T2_10, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo t2
WaitTime 1;
MoveL T2_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
MoveL Ri_10, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo t2 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL Ri_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo subensamblaje HL4
RESET DO10_5; !Desactivo sistema de agarre del subensamblaje
WaitTime 1;
MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHL4_40, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL4_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL4_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Ensamblo el subensamblaje HL4
WaitTime 1;
MoveL ensHL4_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
SET DO10_2;
MoveL aux_ens_hl4_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl4_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl4_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_ens_hl4_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
```

```
MoveL aux_ens_hl4_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl4_40, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl4_50, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl4_60, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_ens_hl4_50, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl4_40, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
RESET DO10_2;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HL5 ()
  ConfJ\Off;
  Confl\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL T3_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL T3_10, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo t3
  WaitTime 1;
  MoveL T3_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL Rd_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL Rd_10, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  WaitTime 1;
  SET DO10_5; !Activo sistema de agarre del subensamblaje
  RESET DO10_2; !Dejo t3
  WaitTime 1;
  MoveL Rd_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_aprox, v1000, fine, pinza\WObj:=HL;
  MoveL HL_5, v1000, fine, pinza\WObj:=HL;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo hl5
  WaitTime 1;
  MoveL HL_aprox, v1000, fine, pinza\WObj:=HL;
  MoveL HL_10, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo hl5 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL T4_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL T4_10, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo t4
  WaitTime 1;
  MoveL T4_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL Ri_10, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL Ri_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL Ri_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo t4 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL Ri_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo subensamblaje HL5
  RESET DO10_5; !Desactivo sistema de agarre del subensamblaje
  WaitTime 1;
  MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
```

```
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHL5_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL5_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL5_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Ensambló el subensamblaje HL5
WaitTime 1;
MoveL ensHL5_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
SET DO10_2;
MoveL aux_ens_hl5_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl5_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl5_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_ens_hl5_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl5_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl5_40, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl5_50, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl5_60, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_ens_hl5_50, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_ens_hl5_40, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
RESET DO10_2;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HL6 ()
  ConfJ\Off;
  Confl\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL E7_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL E7_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo e7
  WaitTime 1;
  MoveL E7_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL Rd_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  WaitTime 1;
  SET DO10_5; !Activo sistema de agarre del subensamblaje
  RESET DO10_2; !Dejo e7
  WaitTime 1;
  MoveL Rd_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
  MoveL HL_6,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo hl6
  WaitTime 1;
  MoveL HL_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HL;
  MoveL HL_10,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_20,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL HL_30,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo hl6 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL HL_40,v1000,fine,pinza\WObj:=subensamblajes;
  MoveL E8_20,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  MoveL E8_10,v1000,fine,pinza\WObj:=RACORES;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo e8
  WaitTime 1;
```

```
MoveL E8_20, v1000, fine, pinza\WObj:=RACORES;
MoveL Ri_10, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_20, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL Ri_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo e8 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL Ri_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveL HL_30, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo subensamblaje HL6
RESET DO10_5; !Desactivo sistema de agarre del subensamblaje
WaitTime 1;
MoveL HL_40, v1000, fine, pinza\WObj:=subensamblajes;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHL2y6_40, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL2y6_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHL2y6_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Ensambo el subensamblaje HL6
WaitTime 1;
MoveL ensHL2y6_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
SET DO10_2;
MoveL aux_iz_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_iz_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_iz_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_iz_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_iz_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
MoveL aux_drch_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL aux_drch_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
RESET DO10_2;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HM12 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL HM_aprox, v1000, fine, pinza\WObj:=HM;
  MoveL HM_1, v1000, fine, pinza\WObj:=HM;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo hml
  WaitTime 1;
  MoveL HM_aprox, v1000, fine, pinza\WObj:=HM;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL ensHM1_40, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHM1_30, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHM1_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo hml ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL ensHM1_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje, v1000, z100, pinza\WObj:=wobj0;
```



```

MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL HM_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HM;
MoveL HM_2,v1000,fine,pinza\WObj:=HM;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo hm2
WaitTime 1;
MoveL HM_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HM;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHM2_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHM2_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHM2_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo hm2 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL ensHM2_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HC12 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  MoveL HC_1,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo hc1
  WaitTime 1;
  MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL ensHC1_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHC1_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHC1_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo hc1 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL ensHC1_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  MoveL HC_2,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo hc2
  WaitTime 1;
  MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL ensHC2_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHC2_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHC2_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo hc2 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL ensHC2_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HC34 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;

```

```
MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
MoveL HC_3,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo hc3
WaitTime 1;
MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveJ ensHC3_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHC3_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHC3_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo hc3 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL ensHC3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
MoveL HC_4,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo hc4
WaitTime 1;
MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHC4_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHC4_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHC4_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo hc4 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL ensHC4_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC HC56 ()
  ConfJ\Off;
  Confl\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  MoveL HC_5,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo hc5
  WaitTime 1;
  MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL ensHC5_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHC5_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL ensHC5_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo hc5 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL ensHC5_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  MoveL HC_6,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo hc6
  WaitTime 1;
```



```
MoveL HC_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=HC;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHC6_40,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHC6_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL ensHC6_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo hc6 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL ensHC6_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC V1 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
  MoveL V_1,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo v1
  WaitTime 1;
  MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveJ V1_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL V1_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo v1 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL V1_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL V1_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC V2 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
  MoveL V_2,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo v2
  WaitTime 1;
  MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveJ V2_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL V2_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo v2 ensamblado
  WaitTime 1;
  MoveL V2_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL V2_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC V3 ()
  ConfJ\Off;
  ConfL\Off;
  MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
  MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
  MoveL V_3,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
```

```
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo v3
WaitTime 1;
MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveJ V3_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL V3_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo v3 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL V3_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL V3_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC V4 ()
ConfJ\Off;
ConfL\Off;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
MoveL V_4,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo v4
WaitTime 1;
MoveL V_aprox,v1000,fine,pinza\WObj:=V;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveJ V4_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL V4_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo v4 ensamblado
WaitTime 1;
MoveL V4_30,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL V4_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Tapa_OFF ()
ConfL\Off;
ConfJ\Off;
MoveAbsJ aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=wobj0;
MoveL ensHL2y6_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL Tapa_00,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
SET DO10_2; !Cojo tapa
RESET DO10_7; !Desactivo sistema de agarre del ensamblaje
WaitTime 1;
MoveL Tapa_01,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL Tapa_02,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ
aprox_mesa_ensamblaje,v1000,z100,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aux_tapa_off,v1000,z100,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL tapa_of_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL tapa_of_15,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveL tapa_of_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
WaitTime 1;
RESET DO10_2; !Dejo tapa en almacen auxiliar
WaitTime 1;
MoveL tapa_of_25,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
MoveAbsJ aprox_mesa_almacen,v1000,z100,pinza\WObj:=ensamblaje;
ENDPROC
```

```
PROC Tapa_ON ()
  ConFL\Off;
  ConfJ\Off;
  MoveAbsJ aux_tapa_on,v1000,z100,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapa_on_25,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapa_on_20,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  SET DO10_2; !Cojo tapa de almacén auxiliar
  WaitTime 1;
  MoveL tapa_on_15,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapa_on_10,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapa_on_12,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveAbsJ aux_tapa_on_2,v1000,z100,pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL Tapa_80,v1000,fine,pinza\WObj:=ensamblaje;
  WaitTime 1;
  RESET DO10_2; !Dejo tapa ensamblada
  WaitTime 1;
  MoveAbsJ aux_tapa_on_2,v1000,z100,pinza\WObj:=ensamblaje;
  SET DO10_2;
  MoveL tapav1_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav1_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav1_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav2_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav2_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav2_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav3_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav3_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav3_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav4_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav4_20, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  MoveL tapav4_10, v1000, fine, pinza\WObj:=ensamblaje;
  RESET DO10_2;
  MoveAbsJ aux_tapa_on_2,v1000,z100,pinza\WObj:=ensamblaje;
  RESET DO10_7;
ENDPROC
!Secuencia para la fabricación de un bastidor
PROC main ()
  Cojo_pinza;
  HL1;
  HM12;
  HL2;
  Tapa_OFF;
  HL3;
  HC12;
  HL4;
  HC34;
  HL5;
  HC56;
  HL6;
  V1;
  V2;
  V3;
  V4;
  Tapa_ON;
  Dejo_pinza;
ENDPROC
ENDMODULE
```

### 9.2.3 Mecanizado de piezas grandes.

**MODULE** Corte\_baldosas

```
#####
!*****DATOS DE PROGRAMA*****
#####

!herramientas empleadas en este módulo
!Garra neumática
TASK PERS tooldata garra
:=[TRUE, [[0,0,215.18], [1,0,0,0]], [3.5, [0,0,75], [1,0,0,0], 0,0,0]];
!Herramienta de mecanizado
TASK PERS tooldata motor:=[TRUE, [-
139.85,0,456.18], [1,0,0,0]], [15, [0,0,200], [1,0,0,0], 0,0,0]];

!objetos d etrabajo empleados en este módulo
!Almacen de baldosas
TASK PERS wobjdata almacenbaldosas
:=[FALSE,TRUE,"", [[242.5,1000,129], [1,0,0,0]], [[0,0,0], [1,0,0,0]]];
!Area de mecanizado
TASK PERS wobjdata zonadecorte
:=[FALSE,TRUE,"", [[1144.5,21,175], [0.707106781186548,0,0,-
0.707106781186547]], [[0,0,0], [1,0,0,0]]];

#####
!*****OBJETIVOS*****
#####

CONST robtarget baldosa_30:=[[0,0,200], [-4.32963603440867E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963603440867E-17], [0,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget baldosa_20:=[[-2.77555756156289E-
14,2.22044604925031E-13,9.999999999999999], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535968E-17], [0,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget baldosa_10:=[[-2.77555756156289E-14,-
1.11022302462516E-13,-3.33066907387547E-13], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535968E-17], [0,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST jointtarget aprox_mesa_almacen
:=[[90,4.64,49.51,0,40.49,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST jointtarget aprox_mesa_ensamblaje
:=[[0,4.64,49.51,0,40.49,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza4_400:=[[-150,-
200,62.8], [1.04589167905263E-31,-
0.707106781186547,0.707106781186548,8.65927457071936E-
17], [0,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza4_240:=[[-150,-200,0], [-2.71771820574141E-
32,-0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32], [0,0,-
4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza4_250:=[[150,-200,0], [-2.71771820574141E-
32,-0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32], [-1,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza4_260:=[[191.02175586475,-
104.31761359696,0], [-2.71771820574141E-32,-
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_270:=[[189.119373089723,-
91.3676440439399,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_280:=[[176.722212423242,-
87.1688994820501,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_290:=[[157.354339346739,-
94.3717297081499,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_300:=[[136.736017151509,-
93.0007762603802,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_310:=[[107.415824590673,-
35.4545478559201,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_320:=[[165.813762591473,-
7.87014226583982,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_330:=[[174.107460112454,-
12.4045756607001,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_340:=[[183.559565022885,-
12.4718673092401,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_350:=[[190.952849989737,-
5.70478836362009,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_360
:=[[191.02175586475,4.31761359696026,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_370:=[[150,100,0],[-2.71771820574141E-
32,-0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_380
:=[[51.9011075930423,58.2207420899801,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_390
:=[[49.3816273573951,57.96475389154,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_10
:=[[49.3816273573951,57.96475389154,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_20
:=[[39.5419584418369,62.7476296579097,0],[-2.71771820574141E-32,-
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_30
:=[[37.2060359763379,73.4358235188202,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_40
:=[[44.0318274216011,90.8681961793403,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_50
:=[[43.9664422942704,109.58915804357,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_60:= [[-
13.3563215271155,142.97187370945,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[-1,0,-
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_70:= [[-
41.6558383167347,82.97674725177,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_80:= [[-
36.9367033373195,73.24373186237,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_90:= [[-
39.5378600286392,62.74437311514,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_100:= [[-
45.0775449306959,58.7280857142498,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_110:= [[-
51.901107593042,58.2207420899803,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_120:= [[-150,100,0],[-2.71771820574141E-
32,-0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_130:= [[-
191.02175586475,4.31761359696026,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_140:= [[-188.934867949573,-
8.84483556587012,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_150:= [[-176.17573344304,-
12.6934130329199,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_160:= [[-150.394343915119,-
5.04401120960019,0],[-2.71771820574141E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,2.71771820574141E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza4_170:= [[-124.650597387137,-
12.81925515578,0],[-2.71771820574141E-32,-
```









DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_240:=[[150,-150,0],[4.32963866019785E-
17,-0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963866019785E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_250:=[[108.97824413525,-
54.3176135969607,0],[4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_260:=[[111.829792734012,-
40.3321628542708,0],[4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_270:=[[125.926694693095,-
38.0957126163608,0],[4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_280:=[[132.301827637646,-
41.3685109821202,0],[4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_290:=[[139.092382566388,-
43.6580334179404,0],[4.32963728535968E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_300
:=[[194.661895990324,5.49502975196958,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_310
:=[[128.835327714366,39.7121725298597,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_320
:=[[125.919578320437,38.0675084433693,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_330
:=[[122.728312220466,37.0564101178794,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_340
:=[[110.706133777188,41.586916946879,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_350
:=[[108.97824413525,54.317613596959,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_360:=[[150,150,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_370
:=[[54.3176135969608,191.02175586475,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza2_380
:=[[40.3321628543174,188.17020726601,0],[4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget Pieza2_390
:=[ [38.0957126163563,174.07330530691,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17], [-1,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_400
:=[ [41.3140077500646,167.82523579988,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17], [-1,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_410
:=[ [43.5901532550634,161.17580150146,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-17], [-1,0,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_420:=[ [-
5.3806072844134,105.32422985618,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_430:=[ [-
39.6904663859088,171.20535022274,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_440:=[ [-
38.0584266608395,174.10257406332,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_450:=[ [-
37.056136059151,177.27319830102,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_460:=[ [-
41.5875135248972,189.29434765171,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_470:=[ [-
54.3176135969599,191.02175586475,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_480:=[ [-150,150,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_490:=[ [-
108.97824413525,54.3176135969603,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_500:=[ [-
110.042604564712,42.4928002745104,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza2_510:=[ [-
120.491328660723,36.8550525882103,0], [4.32963728535968E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32963728535967E-
17], [0,0,4,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget dejobaldosa_30:=[ [0,4.44089209850063E-13,200], [-
1.83995210002002E-18,0.707106781186548,-0.707106781186547,-
8.47527936071735E-17], [0,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget dejobaldosa_20:=[ [3.97083189246361E-07,-
2.22044604925031E-13,9.99999999999999], [5.09725795063086E-
09,0.707106781186548,-0.707106781186547,5.09725795062962E-09], [0,-1,-
1,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
CONST robtarget dejobaldosa_10:=[[6.93889390390723E-15,0,0],[4.3298843492403E-17,0.707106781186548,-0.707106781186547,-4.32962979857542E-17],[0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_400:=[[200,150,62.8],[6.97261119368419E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,8.65927457071936E-17],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_370:=[[200,150,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_380
:=[[101.901107593042,108.22074208998,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_390
:=[[99.381627357395,107.96475389154,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_10
:=[[99.381627357395,107.96475389154,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_20:=[[89.5419584418831,112.7476296579,-0.000493458656047885],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_30
:=[[87.2060359763378,123.43582351882,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_40:=[[94.0318274216036,140.86819617933,-0.000546367928011549],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_50
:=[[93.9664422942704,159.58915804357,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_60:=[[36.6436784767257,192.97187371064,-0.000499943100029654],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_70
:=[[8.3441616832653,132.97674725177,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_80:=[[13.0632966626752,123.24373186236,-0.000556076672042494],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_90
:=[[10.4621399713606,112.74437311514,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_100:=[[4.9224550692136,108.7280857142,-0.000497802225996047],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Pieza3_110:=[[1.901107593042,108.22074208998,0],[2.51174018952174E-32,-
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_120:=[[-100,150,0],[2.51174018952174E-
32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_130:=[[-
141.02175586475,54.3176135969601,0],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_140:=[[-
138.934867949563,41.1551644341499,-
0.00048801568208745],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_150:=[[-
126.17573344304,37.3065869670799,0],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_160:=[[-
100.394343915086,44.9559887904298,-
0.00050339091706153],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_170:=[[-
74.6505973871368,37.1807448442201,0],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_180:=[[-60.2248224603487,-
20.6437156964003,-0.000476438984042815],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_190:=[[-115.813762591473,-
42.12985773416,0],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_200:=[[-124.530050116865,-
37.3995873589097,-0.000541859839997549],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_210:=[[-134.436217021845,-
37.86492778703,0],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_220:=[[-141.135928589677,-
44.7275484203202,-0.000495711587000791],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_230:=[[-141.02175586475,-
54.3176135969603,0],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_240:=[[-99.9999999999999,-
150,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-
2.51174018952174E-32],[0,0,-4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_250:=[[-4.3176135969602,-
108.97824413525,0],[2.51174018952174E-32,-
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[0,0,-
4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
  CONST robtarget Pieza3_260:=[ [8.63229668621792,-
110.88057748773,-0.00048928169205098],[2.51174018952174E-32,-
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_270:=[[12.8311005179451,-123.27778757676,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_280:=[[5.98536205530356,-140.78819053933,-0.000555552308045826],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_290:=[[6.03355770572975,-159.58915804357,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_300:=[[63.3560328193574,-192.971963443261,-0.000499943279996806],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_310:=[[91.6558383167348,-132.97674725177,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_320:=[[87.3166605718466,-124.80226789626,-0.000541716183022345],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_330:=[[87.864927787029,-115.56378297816,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_340:=[[94.7275484203672,-108.86407141029,-0.0004957115989912],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_350:=[[104.31761359696,-108.97824413525,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Pieza3_360:=[[200,-150,0],[2.51174018952174E-32,-0.707106781186547,0.707106781186548,-2.51174018952174E-32],[-1,0,-5,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Piezal_530:=[[200,-200,62.8],[8.65927457071935E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,-1.04589167905263E-31],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Piezal_520:=[[200,-200,0],[4.32963728535968E-17,-0.707106781186547,0.707106781186548,4.32963728535968E-17],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Piezal_240:=[[200,100,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Piezal_250
:=[[104.31761359696,141.02175586475,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Piezal_260
:=[[90.0712937175065,137.88914500854,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9];
  CONST robtarget Piezal_270
:=[[88.4494519488476,123.39290349831,0],[4.32963728535967E-
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_280
:= [[89.5398389124984,121.48393830699,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_290
:= [[90.5423373650407,119.52738797124,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_300
:= [[88.1033681242375,76.0598169621194,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_310
:= [[50.0000000000002,55.0000000000004,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_30
:= [[50.0000000000005,55.0000000000004,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_40
:= [[11.0280909371386,77.5013564955502,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_50
:= [[11.0303646160978,122.50261136059,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_60
:= [[11.5626050540814,123.41044959602,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_70
:= [[12.0340089873817,124.3513152054,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_80
:= [[9.56104889254734,138.28040557249,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-17],[-1,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_90:= [[-
4.31761359695985,141.02175586475,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_100:= [[-
99.9999999999997,100,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_110:= [[-
58.97824413525,4.31761359695937,0],[4.32963728535967E-
17,0.707106781186548,-0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_120:= [[-62.1119162149428,-
9.9296612258104,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_130:= [[-76.609550750598,-
11.5491747132106,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_140:=[[-78.5174612807593,-
10.4593959539296,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_150:=[[-80.4729516163227,-
9.45749907292925,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_160:=[[-144.968582723211,-
51.6824932818296,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_170:=[[-77.4974430417261,-
88.969666797899,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_180:=[[-76.5895782872836,-
88.4374098403802,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_190:=[[-75.6486847946044,-
87.9659910126205,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_200:=[[-61.7196805235477,-
90.4388666579505,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_210:=[[-58.9782441352503,-
104.31761359696,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Piezal_220:=[[-99.9999999999997,-
200,0],[4.32963728535967E-17,0.707106781186548,-
0.707106781186547,4.32963728535968E-
17],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```

```
!#####
!*****TRAYECTORIAS*****
!#####
```

```
PROC cojobaldosa()
    MoveAbsJ
    aprox_mesa_almacen,v1000,fine,garra\WObj:=almacenbaldosas;
    MoveJ baldosa_30,v1000,z100,garra\WObj:=almacenbaldosas;
    MoveL baldosa_20,v1000,z100,garra\WObj:=almacenbaldosas;
    MoveL baldosa_10,v1000,fine,garra\WObj:=almacenbaldosas;
    WaitTime 1;
    !Función de la garra: vacío
    Set DO10_2;
    Set DO10_3;
    WaitTime 1;
    MoveJ baldosa_30,v1000,z100,garra\WObj:=almacenbaldosas;
    MoveAbsJ
    aprox_mesa_ensamblaje,v1000,fine,garra\WObj:=almacenbaldosas;
ENDPROC
```



```
PROC dejobaldosa ()
  MoveAbsJ
aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
  MoveL dejobaldosa_30, v1000, z100, garra\WObj:=zonadecorte;
  MoveL dejobaldosa_20, v1000, z100, garra\WObj:=zonadecorte;
  MoveL dejobaldosa_10, v1000, z100, garra\WObj:=zonadecorte;
  WaitTime 1;
  Set DO10_7; !Activo sistema de agarre área mecanizado
!Función de la garra: soplado para liberación de la baldosa
  Reset DO10_3;
  Reset DO10_2;
  WaitTime 1;
  MoveL dejobaldosa_30, v1000, z100, garra\WObj:=zonadecorte;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
ENDPROC
PROC Corto_Pieza1 ()
  MoveAbsJ
aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
  MoveJ Pieza1_530, v200, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_520, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_240, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_250, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_260, Pieza1_270, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_280, Pieza1_290, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_300, Pieza1_310, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_30, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_40, Pieza1_50, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_60, Pieza1_70, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_80, Pieza1_90, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_100, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_110, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_120, Pieza1_130, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_140, Pieza1_150, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_160, Pieza1_170, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_180, Pieza1_190, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza1_200, Pieza1_210, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_220, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_520, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza1_530, v200, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
ENDPROC
PROC Corto_Pieza2 ()
  ConFL\Off;
  MoveAbsJ
aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
  MoveL Pieza2_11, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza2_10, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_20, Pieza2_30, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_40, Pieza2_50, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_60, Pieza2_70, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_80, Pieza2_90, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_100, Pieza2_110, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza2_120, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza2_130, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_140, Pieza2_150, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_160, Pieza2_170, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_180, Pieza2_190, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza2_200, Pieza2_210, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
```



```
MoveC Pieza2_220, Pieza2_230, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveL Pieza2_240, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveL Pieza2_250, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_260, Pieza2_270, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_280, Pieza2_290, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_300, Pieza2_310, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_320, Pieza2_330, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_340, Pieza2_350, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveL Pieza2_360, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveL Pieza2_370, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_380, Pieza2_390, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_400, Pieza2_410, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_420, Pieza2_430, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_440, Pieza2_450, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_460, Pieza2_470, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveL Pieza2_480, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveL Pieza2_490, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveC Pieza2_500, Pieza2_510, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveL Pieza2_11, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
MoveAbsJ
aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
ENDPROC
PROC Corto_Pieza3 ()
  MoveAbsJ
  aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
  MoveJ Pieza3_400, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_370, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_380, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_390, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_10, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_20, Pieza3_30, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_40, Pieza3_50, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_60, Pieza3_70, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_80, Pieza3_90, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_100, Pieza3_110, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_120, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_130, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_140, Pieza3_150, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_160, Pieza3_170, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_180, Pieza3_190, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_200, Pieza3_210, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_220, Pieza3_230, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_240, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_250, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_260, Pieza3_270, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_280, Pieza3_290, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_300, Pieza3_310, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_320, Pieza3_330, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveC Pieza3_340, Pieza3_350, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_360, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza3_370, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveJ Pieza3_400, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveAbsJ
  aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
ENDPROC
PROC Corto_Pieza4 ()
  MoveAbsJ
  aprox_mesa_ensamblaje, v1000, fine, garra\WObj:=almacenbaldosas;
  MoveJ Pieza4_400, v1000, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
  MoveL Pieza4_240, v100, fine, motor\WObj:=zonadecorte;
```

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE  
ROBOTIZADA

---

```
MoveL Pieza4_250,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_260,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_270,Pieza4_280,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_290,Pieza4_300,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_310,Pieza4_320,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_330,Pieza4_340,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_350,Pieza4_360,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_370,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_380,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_390,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_10,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_20,Pieza4_30,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_40,Pieza4_50,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_60,Pieza4_70,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_80,Pieza4_90,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_100,Pieza4_110,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_120,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_130,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_140,Pieza4_150,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_160,Pieza4_170,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_180,Pieza4_190,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_200,Pieza4_210,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveC Pieza4_220,Pieza4_230,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveL Pieza4_240,v100,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveJ Pieza4_400,v1000,fine,motor\WObj:=zonadecorte;  
MoveAbsJ  
aprox_mesa_ensamblaje,v1000,fine,garra\WObj:=almacenbaldosas;  
ENDPROC  
ENDMODULE
```

### **9.3 Hojas de características.**

- I. IRB2400 (ABB).**
- II. SWS-071 (SCHUNK).**
- III. MHQG2-40D (SMC).**
- IV. VGS3010 (PIAB).**
- V. SM3002 Y AFD71 (PUSHCORP).**



# IRB 2400

## Industrial Robot

### MAIN APPLICATIONS

Arc welding  
Cutting/Deburring  
Glueing/Sealing  
Grinding/Polishing  
Machine tending  
Material handling



### Most popular industrial robot

IRB 2400 is the world's most popular industrial robot in its class. It comprises a complete family of application optimized robots that maximize the efficiency of your arc welding, process and tending applications.

The IRB 2400 is a real hard worker. It can take additionally 35 kg load on axis 1 and 15 kg additional load on the upper arm - still keeping 100 % duty cycle.

The IRB 2400L model has 1.8 meters reach, 7 kg load capacity, large working range and slim arm and wrist. Other models offer handling capacity of up to 20 kg, excellent motion

control, large load offset and unlimited motion in axis 6. This means there's an IRB 2400 robot to give you excellent performance in your material handling, tending and process applications. All models offer you inverted mounting capability.

The compact design of the IRB 2400 ensures ease of installation. The robust construction and use of minimum parts contribute to high reliability and long intervals between maintenance.

The Foundry Plus version is washable with high pressure steam and it's supplied with increased environment protection meeting IP 67 standard.

# IRB 2400

## Industrial Robot

### TECHNICAL DATA, IRB 2400 INDUSTRIAL ROBOT

#### SPECIFICATIONS

Robot version	Handling capacity	Reach	Protection
IRB 2400L	7 kg	1.8 m	Foundry, Clean room
IRB 2400-10	12 kg	1.5 m	FoundryPlus, Clean room
IRB 2400-16	20 kg	1.5 m	FoundryPlus, Clean room

Mounting Floor and inverted all versions. Wall IRB 2400-10

Supplementary load	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Upper arm,			
-wrist end	1 kg	2 kg	2 kg
-rear end	10 kg	10 kg	10 kg
Base unit	35 kg	35 kg	35 kg

#### Number of axes

Robot manipulator	6
External devices	6

Integrated signal supply	23 poles, 50 V DC
	10 poles, 250 V AC

Integrated air supply	Max. 8 bar
-----------------------	------------

#### PERFORMANCE

Positional repeatability	0.06 mm (average result from ISO test)		
--------------------------	--	--	--

Axis movements	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
----------------	-----------	-------------	-------------

#### Working range

#### Positioning

Axis 1, Rotation	360°	360°	360°
Axis 2, Arm	200°	200°	200°
Axis 3, Arm	125°	125°	125°

#### Re-orientation

Axis 4, Wrist	370°	400°	400°
Axis 4, Option	-	Unlimited	Unlimited
Axis 5, Bend	240°	240°	240°
Axis 6, Rotation	800°	800°	800°
Axis 6, Option	Unlimited	Unlimited	Unlimited

Axis movements	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
----------------	-----------	-------------	-------------

#### Max. speed

#### Positioning

Axis 1, Rotation	150°/s	150°/s 90°*	150°/s
Axis 2, Arm	150°/s	150°/s 90°*	150°/s
Axis 3, Arm	150°/s	150°/s 90°*	150°/s

#### Re-orientation

Axis 4, Wrist	360°/s	360°/s	360°/s
Axis 5, Bend	360°/s	360°/s	360°/s
Axis 6, Rotation	450°/s	450°/s	450°/s

\*For wall mounted version

#### ELECTRICAL CONNECTIONS

Supply voltage	200-600 V, 50/60 Hz
Rated power, supply transformer	4 kVA/7.8 kVA with external axes

#### PHYSICAL

Dimensions	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Total height	1,731 mm	1,564 mm	1,564 mm
Manipulator bases	723x600 mm	723x600 mm	723x600 mm

#### Weight

Robot	380 kg	380 kg	380 kg
-------	--------	--------	--------

#### ENVIRONMENT

Ambient temperature	
Basic manipulator in operation	5°C - 45°C

Relative humidity	Max. 95%
-------------------	----------

Degree of protection	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Standard and Clean Room versions	IP54	IP54	IP54
Foundry or Foundry Plus versions	IP55/67	IP67	IP67
Clean Room	US Federal Standard 209, class 100		

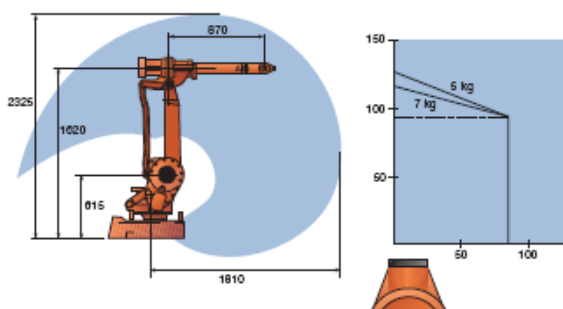
Noise level	Max. 70 dB (A)
-------------	----------------

Emission	EMC/EMI-shielded
----------	------------------

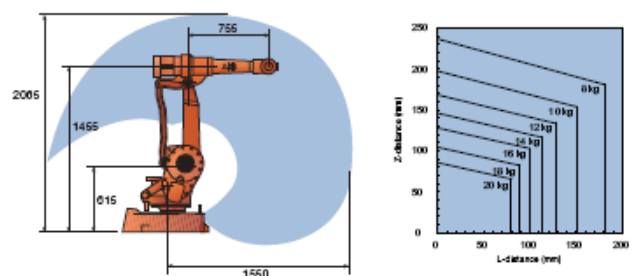
DATA AND DIMENSIONS MAY BE CHANGED WITHOUT NOTICE.

#### WORKING RANGE AND LOAD DIAGRAM

IRB 2400L



IRB 2400-10, IRB 2400-16





### Product description

**Light and compact with an extremely strong locking force**

#### No-Touch-Locking™

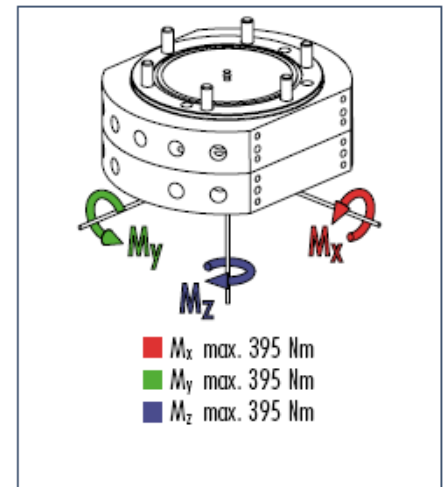
Locking without touching. Ensures that the SWS is securely locked even when the SWK and SWA do not touch. A maximum distance of 5 mm is possible.

#### Patented, self-retaining locking system

A larger piston diameter and the OD locking mechanism increase the permissible moment load. Steel components made from stainless Rc 58.

**Air feed-through with specially developed rubber seals**

### Moment load



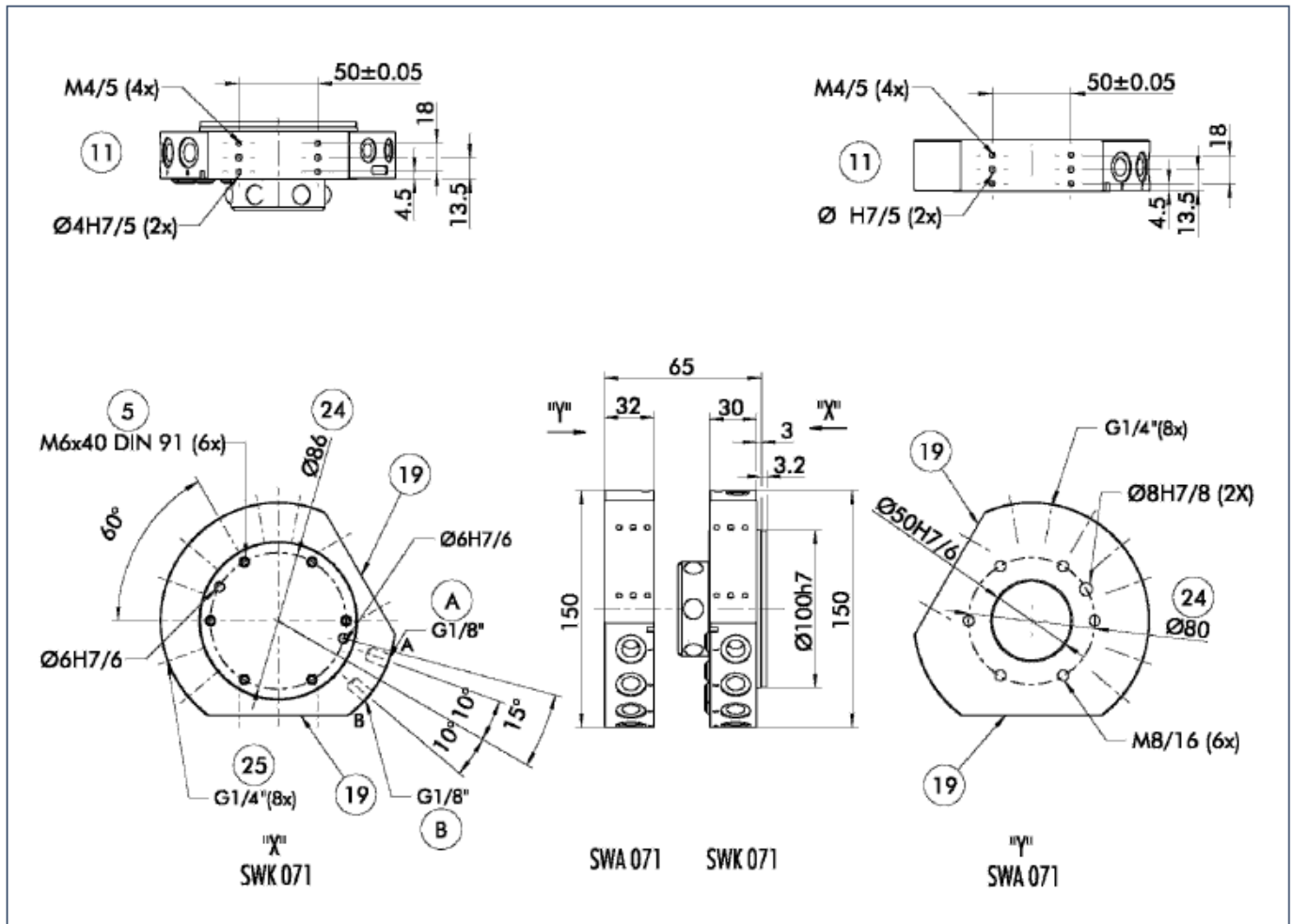
① The dynamic moment load can be up to three times larger than the static moment load. Tests have shown that the system will only begin to fail in the event of 12-fold static moment.

### Technical data

Designation	SWS-071		
Maximum payload	[kg]	79	A larger payload is possible with smaller moments
Locking force (at 6 bar)	[N]	8075	In the event of higher tensile forces the system "falls" into the self-locking position
Repeat accuracy	[mm]	0.015	Tested at 1 million cycles
Weight	[kg]	3.1	1.8 kg head; 1.3 kg adapter
Min./max. distance on locking	[mm]	5.0	No-Touch-Locking™ technology allows the parts to be coupled without the head and the adapter touching
Pneumatic energy transmission	8x pneumatic G 1/4"		Max. 7 bar
Maximum permissible XY offset	[mm]	± 2	Maximum permissible XY offset when locking
Maximum permissible angular offset	[°]	± 1	Maximum permissible angular offset around the Z axis when locking



### Main views



The drawing shows the quick-change system in the basic version, the dimensions do not include the options described below.

- A Locked air connection
- B Unlocked air connection
- 5 Through-bore for screw connection with screw (enclosed)
- 11 Drilling pattern on both sides
- 19 Screw connection area for options
- 24 Bolt pitch circle
- 25 Air feed-through

### Electrical options

Designation		Detailed data sheet
R19	19 pins, 5 A/250 VAC*, MS connector	See "SWS options" chapter
R26	26 pins, 5 A/250 VAC*, MS connector	See "SWS options" chapter
G19	19 pins, 5 A/250 VAC*, MS connector, pivotable connector socket	See "SWS options" chapter
G26	26 pins, 3 A/250 VAC*, MS connector, pivotable connector socket	See "SWS options" chapter
MT8	8 pins, 20 A/500 VAC**	See "SWS options" chapter
MT14	14 pins, 13 A/500 VAC**	See "SWS options" chapter

\* 250 VAC grounding done by customer

\*\* 500 VAC grounding done by customer

### How to order (example)

SW  -071-



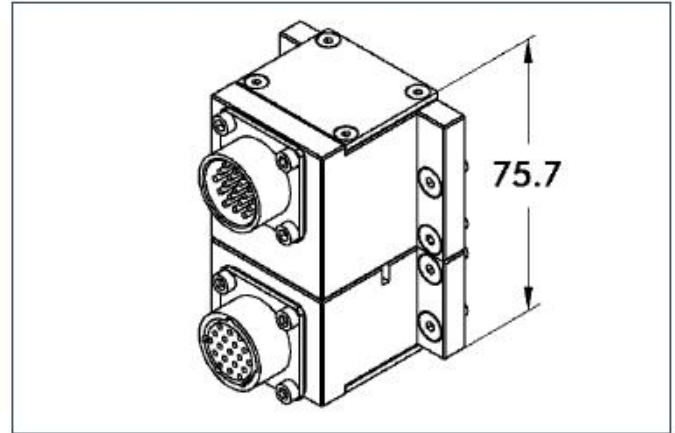
Options	Examples
SWS-071	
Option B	SWK-071-000-000
Option A	(SWK-071, head side, no option)
K = head	SWA-071-R19-000
A = adapter	(SWA-071, adapter plate side, with R19 option)
	SWA-071-T19-F02
	(SWA-071, head side, with T19 option and F02 option)

### Typical set-up on the robot



- ① Adapter plate on ISO flange
- ② Quick-change head SWK
- ③ Quick-change adapter SWA
- ④ Option 1: Electric modules (e.g. R19)
- ⑤ Cable connector for option 1
- ⑥ Option 2

### Quick-change connector R19/R26/R32



Option: Miniature quick-change connector with protected contact and splash-proof contact pins (5 Amp/250 VAC per pin). With tool coding as an option.  
R19 = 19-pin

Designation	ID	Fits Description
R19 head	9935815	SWK 19 pins, 5 Amp/250 VAC* E option with miniature quick-change connector
R19 adapter	9935816	SWA 19 pins, 5 Amp/250 VAC* E option with miniature quick-change connector
R14 adapter	9935100	SWA tool coding 0-9 tools, 5 Amp/250 VAC* 14 pins can be used by customer – see drawing, fits R19 head
R10 adapter	9941385	SWA tool coding 0-99 tools, 5 Amp/250 VAC* 10 pins can be used by customer – see drawing, fits R19 head

\* 250 VAC grounding done by customer

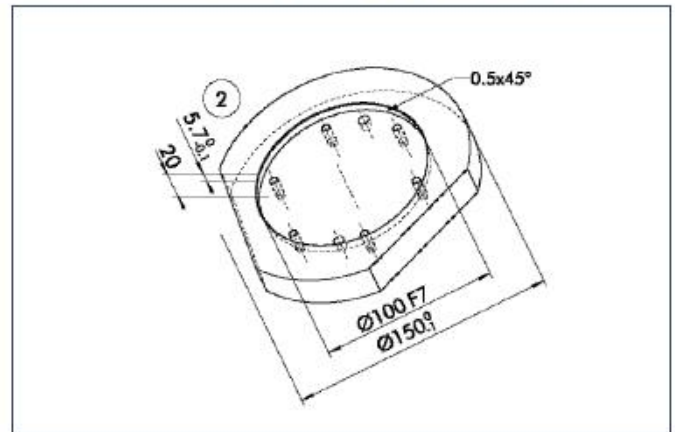
### Cable connectors



Cable connector for the connection between the R19 module and the cable

Cable connectors for	Straight		90°	
	ID	Designation	ID	Designation
R19 head	0301240	KAS-19B-K-0	0301248	KAS-19B-K-90
R19; R14; R10 adapter	0301241	KAS-19B-A-0	0301249	KAS-19B-A-90

### Design information for adapter plate

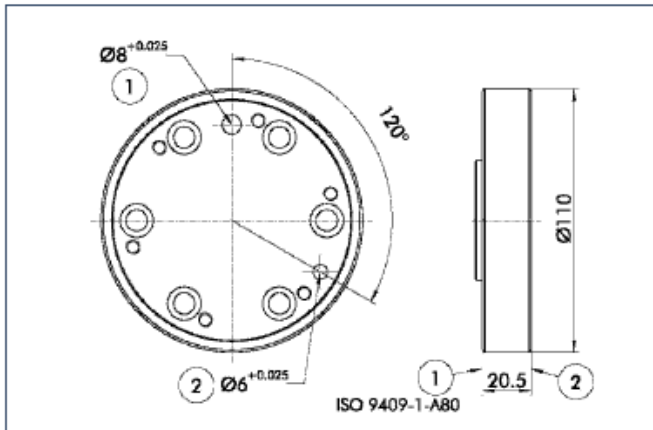


② Tool-side connection

Adapter design recommendation. An adapter is required to seal the piston chamber.



### Standard adapter plates for ISO flanges

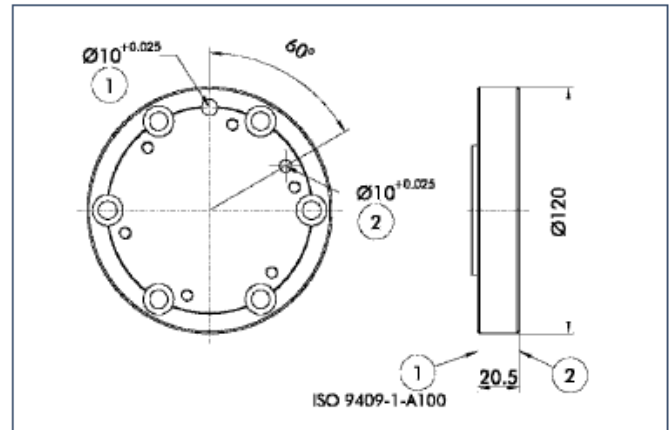


- ① Robot-side connection
- ② Tool-side connection

#### Adapter plate A80

For mounting the SWK-071 directly to a flange in accordance with ISO 9409-1-080-6-M8

Designation	ID
A-SWK-071-ISO-A-80	0302209



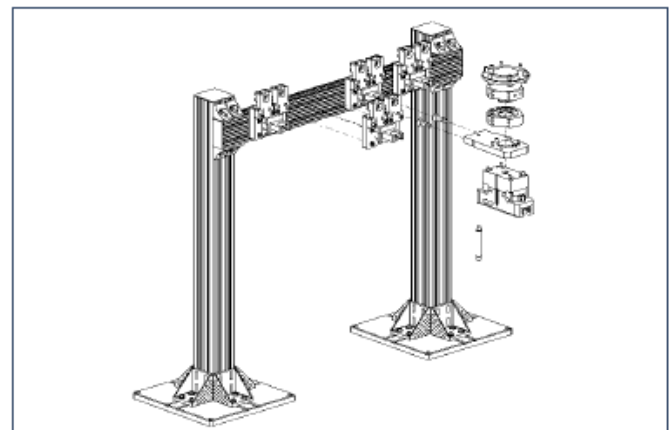
- ① Robot-side connection
- ② Tool-side connection

#### Adapter plate A100

For mounting the SWK-071 directly to a flange in accordance with ISO 9409-1-100-6-M8

Designation	ID
A-SWK-071-ISO-A-100	0302210

### Modular quick-change rack SWM-M



The modular "medium" quick-change rack has been designed for the SWS-071 size. The system's modular structure enables you to assemble your rack on an individual basis. Depending on the number of tools, the storage position and tool size allows you to create a rack tailor-made to your application.

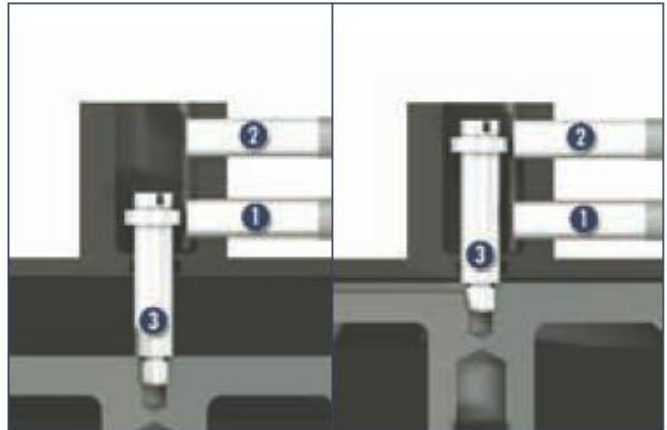
### Typical set-up on the robot



#### when using the SIP piston stroke control

- ① Adapter plate on ISO flange
- ② SIP piston stroke control
- ③ Proximity switch
- ④ Quick-change head SWK
- ⑤ Quick-change adapter SWA
- ⑥ Option 1 (example: R19)
- ⑦ Cable connector (KAS) for option 1
- ⑧ Option 2

### Mode of operation of the SIP



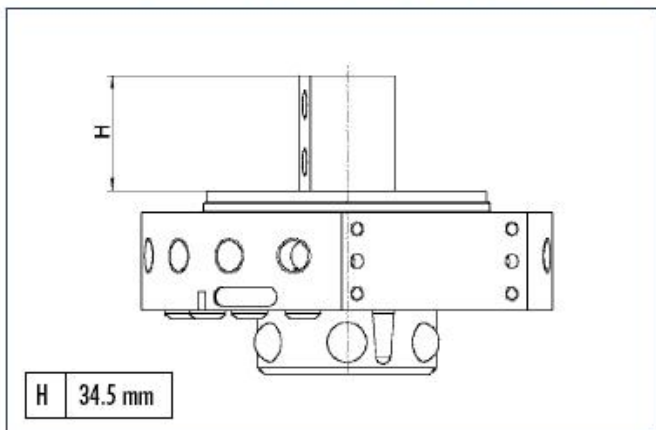
#### Locked

#### Unlocked

- ① Sensor for locked (INW 80/S 0301508 or 0301408)
- ② Sensor for unlocked (INW 80/S 0301508 or 0301408)
- ③ Sensor target

Using the piston stroke control it is possible to monitor the locked and unlocked position of the quick-change head by means of inductive proximity switches.

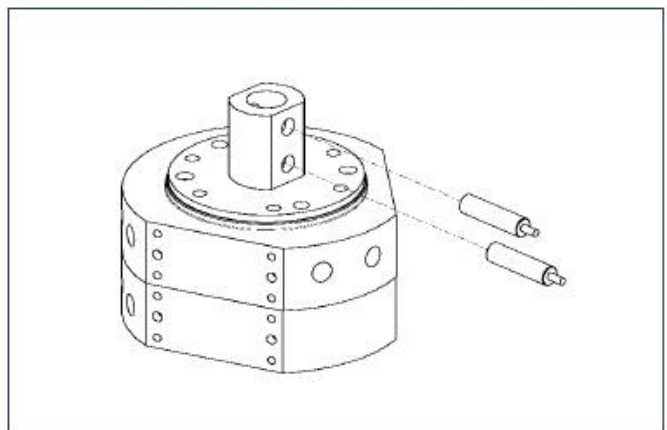
### Minimum height of adapter plate for SIP-071



H 34.5 mm

The drawing shows the minimum height of the adapter plate needed for installing a piston stroke control.

### Proximity switch installation position

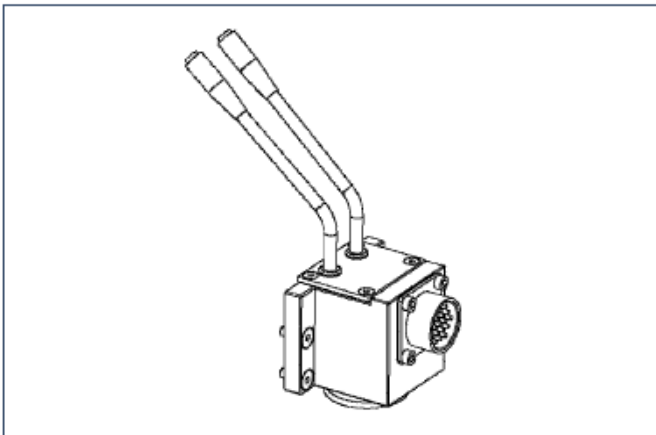


#### Inductive proximity switch

Designation	ID
INW 80/S-M12	0301508
INW 80/S-M8	0301408

Inductive proximity switch in conjunction with R19-W

Designation	ID
IN-B 80/S-M8	0301477

**Electronic module R19-W****With connection option for proximity switch**

The piston stroke control proximity switches can be monitored via the R19-W electronic module. In order to do this, the cables are connected directly to the module.

Designation	ID	
R19-W	9942041	19 pins 5 A/250 VAC*, 15 are free and 4 pins are needed for the proximity switches

\* 250 VAC grounding done by customer

Option also available for other electronic modules



# Pinzas neumáticas de apertura paralela. Ejecución reforzada

## Serie **MHQG2**

ø32, ø40 (Por favor referirse a las nuevas series MHZ)

Dispone de guía reforzada.

Posibilidad de montaje de detectores de estado sólido con LED indicador.



### Características técnicas

Fluido		Aire comprimido
Presión de trabajo	Doble efecto	
	Simple efecto	Normalm. abiertos
		Normalm. cerrados
Temperatura ambiente y de fluido		-10 a 60°C
Repetibilidad		ø32/40: ±0.02mm
Frecuencia máxima de trabajo		ø32/40: 60c.p.m
Lubricación		No necesaria
Funcionamiento		Doble efecto, efecto simple
Detectores magnéticos (opción)		Detector de estado sólido: D-Y59, D-Y69

### Modelo

Funcionamiento	Modelo	Diámetro (mm)	Fuerza de presión <sup>(1)</sup> (valor efectivo) (N)	Carrera de apertura/cierre (ambos lados) (mm)	Peso <sup>(2)</sup> (g)	
Doble efecto	MHQG2-32D	32	Presión externa: 88 Presión interna: 139	20	1100	
	MHQG2-40D	40	Presión externa: 158 Presión interna: 247	28	1940	
Simple efecto	Normalm. abierta	MHQG2-32S	32	69	20	1110
		MHQG2-40S	40	130	28	1960
	Normalm. cerrada	MHQG2-32C	32	127	20	1110
		MHQG2-40C	40	227	28	1960



1) Los valores de fuerza interna y externa en el caso del modelo con doble efecto, y la fuerza externa de presión para el efecto simple en condición normalmente abierta y la fuerza de presión interna para el efecto simple normalmente cerrada.

2) Excepto el peso de los detectores magnéticos, se refieren a una presión de 0,5MPa.

3) Para más detalles, véase CAT. E230.

## VGS™3010 FC75P



### VENTOSAS CÓNCAVAS, PLANAS CON REFUERZOS

- ▶ Tecnología patentada COAX® .
- ▶ Adecuadas para superficies aceitosas ligeramente curvas y planas, por ej. chapa de acero o aluminio en procesos de prensado.
- ▶ Debido a la alta fricción de la goma, las ventosas pueden soportar altas fuerzas de tensión en aceleraciones rápidas en planos horizontales, incluso en superficies aceitosas.
- ▶ Las ventosas DURAFLEX® están fabricadas en un material revolucionario, poliuretano que combina la suave elasticidad de la goma con la excepcional resistencia al desgaste del poliuretano.
- ▶ DURAFLEX® es un material que no deja marcas.
- ▶ Ventosa con rácor moldeado con rosca G3/8" macho, extraíble.

### DATOS TÉCNICOS

Descripción	Unidad	Valor
Presión de alimentación máxima	MPa	0.7
Nivel de ruido	dB(A)	65-74
Temperatura de trabajo	°C	10-50
Peso	g	111-133
Material		PP, PA, NBR, AL, SS, PU

### CARGA RECOMENDADA CON FACTOR DE SEGURIDAD 2 Y TIEMPO DE RESPUESTA PARA UNA UNIDAD, 40° SHORE

Presión de alimentación	Consumo de aire y potencia del compresor, funcionamiento continuo	Material a manipular (ver tabla abajo)	Carga perpendicular recomendada con factor de seguridad 2	Carga paralela (total) recomendada con factor de seguridad 2	Tiempo de respuesta a 50 -kPa con Pi12-2	Tiempo de respuesta a 50 -kPa con Pi12-3
MPa			N	N	s	s
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Aglomerado	102	117	El tiempo de respuesta varía dependiendo de la calidad y porosidad del material a manipular.	
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Cartón corrugado	57	71		
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Acero seco	100	131	0.053	0.051
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Acero aceitoso	100	63	0.053	0.051

## CARGA RECOMENDADA CON FACTOR DE SEGURIDAD 2 Y TIEMPO DE RESPUESTA PARA UNA UNIDAD, 60° SHORE

Presión de alimentación	Consumo de aire y potencia del compresor, funcionamiento continuo	Material a manipular (ver tabla abajo)	Carga perpendicular recomendada con factor de seguridad 2	Carga paralela (total) recomendada con factor de seguridad 2	Tiempo de respuesta a 50 -kPa con PI12-2	Tiempo de respuesta a 50 -kPa con PI12-3
MPa			N	N	s	s
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Aglomerado	117	121	El tiempo de respuesta varía dependiendo de la calidad y porosidad del material a manipular.	
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Cartón corrugado	59	58		
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Acero seco	123	90	0.053	0.051
0.314	0.47 NI/s, 155 W	Acero aceitoso	113	34	0.053	0.051

**Observación:** La potencia del compresor se calcula de acuerdo a: 5.5 W de energía eléctrica consumida por NI/min de aire comprimido producido, válido para un compresor de tamaño normal de 7 bar.

**NOTA:** Los tiempos de respuesta no son válidos para el compensador de nivel LC30.

**Definición de material:** Cartón corrugado = B Flauta 3 mm, 80 segundos Gurley.

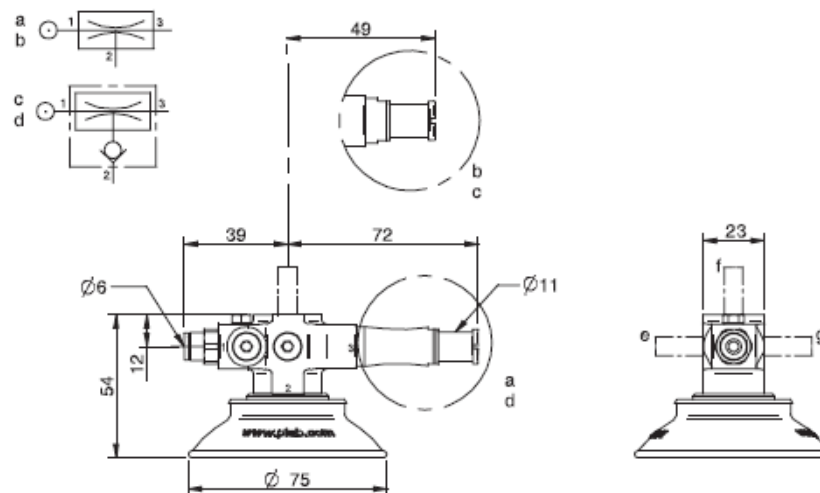
## CÓMO HACER UN PEDIDO

1. COAX® cartucho		Código VGS
	Sin COAX® cartucho (unidad esclava con un tapón ciego M14)	AA
b	COAX® cartucho Pi12-2	AB
a	COAX® cartucho Pi12-3	AC
c	COAX® cartucho Pi12-2, válvula antirretorno	AD
d	COAX® cartucho Pi12-3, válvula antirretorno	AE
2. Montaje/Orientación		Código VGS
	4x M4 superior, 1x tapón G1/8" montaje a nivel	00
f	M8 16 mm superior	01
g	M8 16 mm derecha	02
e	M8 16 mm izquierda	03
f	M8 27mm superior, incluye kit de perfil	04
g	M8 27mm derecha, incluye kit de perfil	05
e	M8 27 mm izquierda, kit de perfil	06
f	M8 22 mm superior, kit de perfil	07
g	M8 22 mm derecha, kit de perfil	08
e	M8 22 mm izquierda, kit de perfil	09
g	Junta esférica VGS™3010, conexión derecha	11
e	Junta esférica VGS™3010, conexión izquierda	12
g	Acoplamiento cilíndrico VGS™3010, conexión derecha	13
e	Acoplamiento cilíndrico VGS™3010, conexión izquierda	14
	Compensador de nivel LC30	15

Más información sobre LC30 vea los datos técnicos separados.

3. Ventosa con conexión		Código VGS
	Sin ventosa	BA
	FC75P 40° Shore A	BR
	FC75P 60° Shore A	BS

Ejemplo	Código VGS
VGS™3010 FC75P – Pi12-3, M8 27 mm superior incluye kit de perfil, FC75P 40° Shore A	VGS3010 AC 04 BR





## SM3002 High Speed Servo Motor

The SM3002 is a 2.0 horsepower (1.5 kW) High Speed Servo Motor that has been developed as an alternative to inefficient and high maintenance air motors. The unit uses a 30,000 rpm, water cooled, servo motor to produce exceptional performance in a compact and light weight package. The motor utilizes a manual "ER" Series collet that has the ability to clamp a very wide range of tool shaft diameters. With a manual collet operator intervention is required when the media needs to be replaced. For applications where the abrasive media or the tools have a long life the manual collet is the ideal solution. The SM3002 can be easily mounted in any orientation using the thru holes provided in the motor housing.



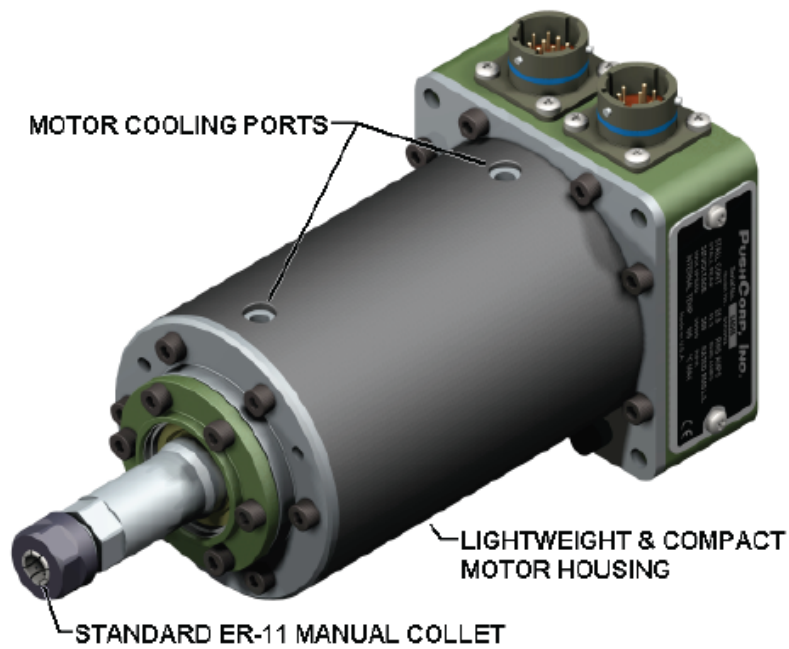
**SM3002**

For additional information download the [SM3002 Manual \(.pdf\)](#)

### **FEATURES**

- 2.0 horsepower (1.5 kW) servo motor (Liquid Cooling Required)
- 30,000 maximum RPM (Reversible)
- Sealed ceramic bearings for high rotational speeds
- $\pm 5\%$  speed regulation
- Manual "ER" Series collet
- Collets available from 1/16 - 1/4 inch (0.5mm - 7 mm)
- **PushCorp** proprietary high-speed shaft seal
- All fittings, fasteners, and threaded holes are METRIC





#### TOOL SPECIFICATIONS:

Power: 2.0 hp (1.5 kW)\*  
Continuous Stall Torque: 1.22 lb.-ft. (1.7 N·m)\*  
Speed Range: 60-30000 RPM\*  
Speed Regulation:  $\pm 5\%$  (Reversible)  
Tool Weight: 6 lbs. (3 kg)  
\* Liquid Cooled

Requires power amplifier and cables.  
Call for appropriate ordering information.

#### COLLET SPECIFICATIONS:

Standard ER-11 Collet

*Specifications subject to change without notice.*

## SM3002 High Speed Servo Motor



## AFD70 Series Passive Compliance Force Device

The *PushCorp* Passive *AFD70 Series* force device is a simple, low-cost compliant unit for many applications. Using a low friction cylinder and linear rail technology this device delivers up to 50 lb. (222 N) of force. The unit is equipped standard with an internal position sensor to monitor the location of the carriage. Fitted with a manual or electrically controlled pneumatic regulator, the *AFD70 Series* can make quick work of many force based applications.

The *70 Series* can be equipped as either an *AFD71* single acting with only positive force application, or an *AFD72* double acting with positive and negative force capability. The unit may also be ordered in three different standard mounting configurations.

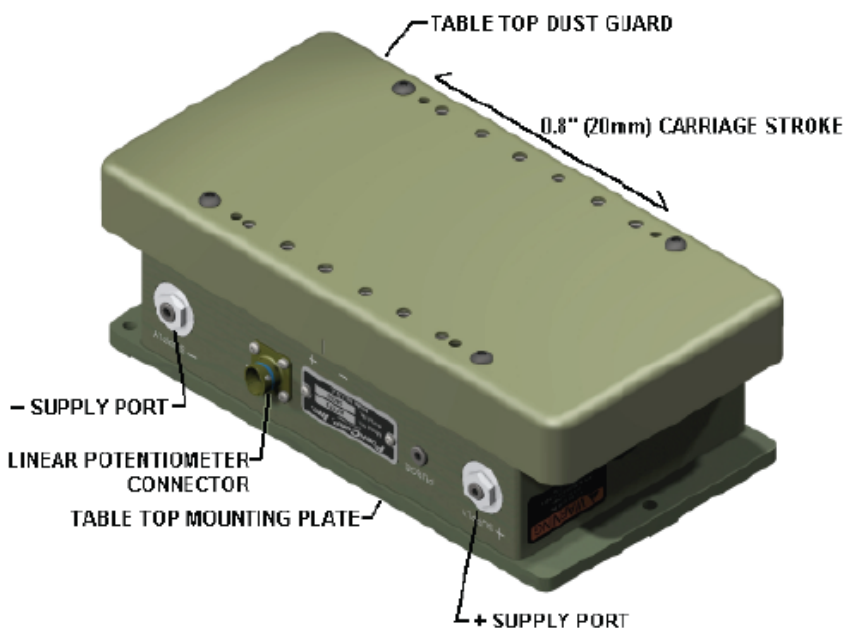


AFD70-3 Table Top

For additional information download the [AFD70 Manual](#) (.pdf)

### FEATURES

- Single or Double acting force application
- Carriage position sensor
- Integral cartridge air filter
- 50 lb. (222 N) Maximum applied force
- 0.8 in. (20 mm) Linear compliant stroke
- Low Cost
- User supplied pressure regulator
- Rigid, light weight mechanical design
- All fittings, fasteners, and threaded holes are METRIC



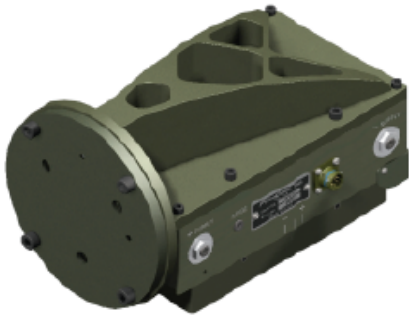
AFD70-3 TABLE TOP

### SPECIFICATIONS:

Maximum Applied Force: 50 lb. (222 N)  
Force Resolution: 0.7 lb./psi (45.2 N/bar)  
Max. Payload Weight: 40 lb. (23 kg)  
Weight: AFD70-1 - 17 lb (7.7 kg) (excluding payload)  
AFD70-2 - 12 lb (5.5 kg) (excluding payload)  
AFD70-3 - 12 lb (5.5 kg) (excluding payload)  
Compliant Stroke: 0.8 in. (20mm)  
Mounting flange: Standard or User specified hole pattern  
Supply air: Dry, 5µm Filtered, Non-lubricated, 80 psi (5.5 Bar) max.

*Specifications subject to change without notice.*

## Standard Mounting Configurations



AFD70-1 Vertical



AFD70-2 Horizontal



AFD70-3 Table Top

The *PushCorp, Passive AFD70 Series Compliant Force Device* was designed as an inexpensive alternative to the active *AFD1000 Series*. In some applications the *AFD70* can provide comparable performance to the *AFD1000* at a lower cost. The simplicity of the *AFD70 Series* does, however, require more integration effort from the end user. Since the *AFD70 Series* does not employ a separate controller, the unit must rely on innovative features. The *AFD70 Series* uses glass cylinders with graphite pistons, and linear ball bearings to greatly reduce operating friction. This allows the unit to be reliably used at lower force levels. It has the same physical dimensions as the *AFD1000 Series*, and the same bolt patterns. This means that all of the *AFD1000* mounting options are available and that most of the *PushCorp* process equipment will bolt right up.

The *AFD70 Series* requires the user to supply regulated pressure to control the force output. An *AFD71* requires one regulator and the *AFD72* needs two. The force output resolution is highly dependant on the regulator accuracy. The regulator can be manual or electrically

controlled based on the application. If a constant force is required and the orientation does not change, a manual regulator is sufficient. If the force and/or orientation changes during the process, then an electrically controlled regulator is necessary to provide gravity compensation. This means that the process equipment weight must be compensated for, which requires calculation and adjustment of the regulator pressure at all times during the process.

The *AFD70 Series* has a linear potentiometer installed inside the unit to monitor the carriage position. A connector on the outside of the unit is connected to a high-flex cable. The cable must be connected to a power supply and an analog input device. The position of the carriage can be monitored continuously during the *AFD's* operation.

If the end-user has the skills to setup the gravity compensation and linear potentiometer, the *AFD70 Series* may be the ideal solution. On the other hand, if easier setup and higher performance is desired, the active *AFD1000 Series* would be a better choice.

