

**Universidad Carlos III de Madrid**  
**Escuela Politécnica Superior**

Dpto. de INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



**Ingeniería Técnica Industrial en**  
**Electrónica Industrial**

**Proyecto Fin de Carrera**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN**  
**SENSOR DE FUERZA PAR EN**  
**UN ROBOT ABB IRB 1600 (I)**

Alumno: Gonzalo Cortés Utrero  
Tutor: Santiago Martínez de la Casa

Leganés, 2012

Dedicado a mi abuelo Victoriano Cortés.

# ÍNDICE

<b>I. LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>II. LISTA DE FIGURAS. ....</b>	<b>6</b>
<b>III. LISTA DE CÓDIGOS.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1. Descripción del proyecto. ....	10
1.2. Objetivos. ....	10
1.3. Estructura del proyecto.....	11
<b>2. FUNDAMENTOS DEL PROYECTO. ....</b>	<b>12</b>
2.1. Robot manipulador. ....	12
2.1.1. Definición de robot industrial.....	12
2.1.2. Historia y evolución de los robots. ....	13
2.1.3. Clasificación de los robots. ....	17
2.2. Sensores. ....	19
2.2.1. Definición de sensor. ....	19
2.2.2. Historia de los sensores. ....	20
2.2.3. Características de los sensores. ....	20
2.2.3.1 Características estáticas de un sensor. ....	20
2.2.3.2 Características dinámicas de un sensor. ....	21
2.2.4. Clasificación de los sensores utilizados en robots. ....	22
2.2.4.1 Sensores internos. ....	22
2.2.4.1.1 Sensores de posición. ....	22
2.2.4.1.2 Sensores de velocidad. ....	28
2.2.4.1.3 Sensores de aceleración. ....	28
2.2.4.2 Sensores externos.....	29
2.2.4.2.1 Detección de alcance.....	29
2.2.4.2.2 Detección de proximidad. ....	32
2.2.4.2.3 Sensores de contacto. ....	35
2.2.4.2.4 Detección de fuerza y torsión.....	36
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA. ....</b>	<b>39</b>
3.1. Introducción. ....	39
3.2. Arquitectura hardware.....	40
3.2.2. Robot ABB IRB 1600.....	41
3.2.2.2 Características generales. ....	41
3.2.2.3 Ejes del manipulador. ....	42
3.2.2.4 Dimensiones del IRB 1600. ....	43
3.2.2.5 Rango de movimientos. ....	44
3.2.2.6 Velocidad. ....	44
3.2.2.7 Rango de trabajo.....	44
3.2.2.8 Diagrama de carga. ....	45
3.2.2.9 Posiciones extremas del manipulador. ....	46
3.2.2.10 Controlador IRC5 de robot ABB IRB 1600. ....	47
3.2.2.11 FlexPendant. ....	49
3.2.2.11.1 Detalle del menú del FlexPendant.....	52

3.2.3. Sensor JR3 85M35A3. ....	54
3.2.3.2 Dimensiones. ....	55
3.2.3.3 Interfaz electrónico.....	55
3.2.3.4 Matriz de calibración. ....	56
3.3. Arquitectura Software.....	57
3.3.1. Introducción.....	57
3.3.2. Visual Studio 2008 .....	57
3.3.2.1 Interfaz.....	58
3.3.2.2 Sistema de proyectos. ....	59
3.3.2.3 Editores y diseñadores.....	60
3.3.2.4 Herramientas de compilación y depuración.....	62
3.3.2.5 Herramientas de implementación.....	63
3.3.3. RobotStudio .....	64
3.3.3.1 Introducción.....	64
3.3.3.2 Estación.....	64
3.3.3.3 Interfaz.....	64
3.3.3.3.2 Área gráfica. ....	65
3.3.3.3.3 La ventana de salida. ....	65
3.3.3.4 Navegadores. ....	65
3.3.3.5 La barra de estado. ....	71
3.3.3.6 Barras de herramientas. ....	72
3.3.3.6.1 Barra de herramientas Crear componente. ....	72
3.3.3.6.2 Barra de herramientas Simulación. ....	73
3.3.3.6.3 Barra de herramientas Nivel de selección.....	73
3.3.3.6.4 Barra de herramientas Ajustar a cuadrícula.....	73
3.3.3.6.5 Barra de herramientas Medidas.....	73
3.3.3.6.6 Barra de herramientas Mano alzada.....	74
3.3.3.6.7 Barra de herramientas Ver. ....	74
3.3.3.6.8 Barra de herramientas Elementos.....	74
3.3.3.6.9 La barra de herramientas Tiempo de movimiento.....	75
3.3.3.7 Menús.....	75
3.3.4. Software inicial de JR3.....	76
3.3.4.1 Desarrollo del funcionamiento. ....	76
3.3.4.2 Interfaz inicial JR3. ....	77
<b>4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>81</b>
4.1. Introducción.....	81
4.2. Desarrollo de la recepción y envío de datos desde el PC.....	82
4.2.1. Funciones principales del nuevo software. ....	82
4.2.2. Desarrollo del funcionamiento. ....	82
4.2.2.1 Sockets.....	82
4.2.3. Nuevas declaraciones y creación de fichero txt. ....	85
4.2.4. Conexión con el PC. ....	86
4.2.5. Extracción de los valores leídos por el sensor. ....	87
4.2.6. Almacenar datos en fichero txt. ....	88
4.2.7. Rango de medidas a enviar.....	88
4.2.8. Eliminación de ruido producido por el sensor.....	89
4.2.9. Creación de la trama a enviar.....	90
4.2.10. Envío de la trama.....	91
4.2.11. Inicio del envío de datos.....	92
4.3. Desarrollo de la recepción e interpretación de los datos desde el robot ABB. ....	93

4.3.1. Declaración de variables.....	93
4.3.2. Creación de la conexión.....	94
4.3.3. Generación del movimiento.....	94
4.3.4. Extracción de la trama.....	95
4.4. Modificaciones la nueva interfaz para la aplicación.....	96
4.4.1. Funciones principales del nuevo software.....	96
4.4.2. Descripción del interfaz.....	96
<b>5. INSTRUCCIONES DE PUESTA EN MARCHA.....</b>	<b>99</b>
5.1. Puesta en marcha hardware.....	99
5.1.1. Conexión del hardware.....	99
5.2. Puesta en marcha del software.....	100
<b>6. EXPERIMENTOS Y COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>103</b>
6.1. Medidas recogidas por el sensor JR3.....	103
6.1.1. Medida de fuerza en eje z.....	103
6.1.2. Medida de fuerza en eje y – Par en eje x.....	106
6.1.3. Medida de fuerza en eje x – Par en eje y.....	108
6.1.4. Par en eje z.....	110
6.1.5. Conclusiones.....	113
6.2. Análisis de movimientos.....	113
6.2.2. Movimientos sobre el eje X.....	114
6.2.2.2 Desplazamiento en sentido positivo, eje x.....	114
6.2.2.3 Desplazamiento en sentido negativo, eje x.....	118
6.2.3. Movimiento sobre el eje Y.....	121
6.2.3.2 Desplazamiento en sentido positivo, eje y.....	121
6.2.4. Desplazamiento en sentido negativo, eje y.....	125
6.2.5. Movimiento sobre el eje Z.....	127
6.2.6. Desplazamiento en sentido positivo, eje z.....	128
6.2.6.2 Desplazamiento en sentido negativo, eje z.....	131
6.3. Conclusión del estudio de movimientos.....	134
<b>7. PRESUPUESTO.....</b>	<b>136</b>
7.1. Medidas.....	136
7.1.1. Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.....	136
7.1.2. Capítulo 2: Software y hardware.....	136
7.1.3. Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.....	137
7.2. Cuadro de precios.....	138
7.2.1. Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.....	138
7.2.2. Capítulo 2: Software y hardware.....	138
7.2.3. Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.....	138
7.3. Presupuesto.....	139
7.3.1. Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.....	140
7.3.2. Capítulo 2: Software y hardware.....	140
7.3.3. Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.....	140
7.4. Resumen del presupuesto.....	140
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>142</b>
<b>9. TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>144</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>146</b>

<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>147</b>
11.1. Archivos .CPP.....	147
11.1.1. DlgProxy.cpp.....	147
11.1.2. Jr3pci.cpp.....	149
11.1.3. Jr3pciDlg.cpp.....	151
11.1.4. ProgDlg.cpp.....	173
11.1.5. StdAfx.cpp.....	177
11.2. Cabeceras .h.....	178
11.2.1. DlgProxy.h.....	178
11.2.2. Jr3Pci.h.....	180
11.2.3. Jr3pciDlg.h.....	181
11.2.4. ProgDlg.h.....	185
11.2.5. Resource.h.....	187
11.2.6. StdAfx.h.....	191
11.3. Archivo de RAPID.....	192

### I. Lista de tablas.

<i>Tabla 2 1. Clasificación genérica de robots.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2 2. Clasificación de robots según generación.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2 3. Clasificación de robots según su estructura mecánica.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3 1. Rangos de movimiento en robot ABB IRB 1600.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3 2. Tabla de velocidades máximas del robot.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3 3. Definición panel de control IRB5.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3 4. Definición botones Flexpendant.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3 5. Asignación de pins.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 6 1. Valores de fuerza en eje z.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 6 2. Valores de fuerza en eje y – Par en eje x.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 6 3. Valores de fuerza en eje x – Par en eje y.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 6 4. Valores de Par en eje z.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 6 5. Distancia total en milímetros del desplazamiento.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 6 6. Tiempo total del movimiento.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 6 7. Frecuencia de envío de datos.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 6 8. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje X positivo.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 6 9. Desplazamiento real y datos enviados.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 6 10. Distancia total en milímetros del desplazamiento.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 6 11. Tiempo total del movimiento.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 6 12. Frecuencia de envío de datos.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 6 13. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje X negativo.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 6 14. Desplazamiento real y datos enviados.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 6 15. Distancia total en milímetros del desplazamiento.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 6 16. Tiempo total del movimiento.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 6 17. Frecuencia de envío de datos.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 6 18. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje X negativo.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 6 19. Desplazamiento real y datos enviados.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 6 20. Distancia total en milímetros del desplazamiento.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 6 21. Tiempo total del movimiento.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 6 22. Frecuencia de envío de datos.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 6 23. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje Y negativo.....</i>	<i>126</i>

Tabla 6 24. Distancia total en milímetros del desplazamiento.....	128
Tabla 6 25. Tiempo total del movimiento.....	128
Tabla 6 26. Frecuencia de envío de datos.....	129
Tabla 6 27. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje Z positivo. ....	129
Tabla 6 28. Desplazamiento real y datos enviados .....	130
Tabla 6 29. Distancia total en milímetros del desplazamiento.....	131
Tabla 6 30. Tiempo total del movimiento.....	131
Tabla 6 31. Frecuencia de envío de datos.....	132
Tabla 6 32. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje Z negativo. ....	132
Tabla 6 33. Desplazamiento real y datos enviados. ....	133
Tabla 6 34. Frecuencia de envío media y tiempo medio de ejecución de un dato.....	134
Tabla 6 35. Porcentaje en la desviación de la trayectoria. ....	135
Tabla 7 1. Medidas – Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico. ....	136
Tabla 7 2. Medidas – Capítulo 2: Software y hardware.....	136
Tabla 7 3. Medidas – Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.....	137
Tabla 7 4. Cuadro de precios – Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico. ....	138
Tabla 7 5. Cuadro de precios – Capítulo 2: Software y hardware.....	138
Tabla 7 6. Cuadro de precios – Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.....	139
Tabla 7 7. Cuadro de precios – Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico. ....	140
Tabla 7 8. Cuadro de precios – Capítulo 2: Software y hardware.....	140
Tabla 7 9. Cuadro de precios – Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.....	140

## II. Lista de figuras.

Fig. 2.1. Robot Unimate en línea de ensamble de GM. ....	14
Fig. 2.2. Brazo Stanford (1969).....	15
Fig. 2.3. Robot PUMA. ....	16
Fig. 2.4. Sistema sensorial humano. ....	20
Fig. 2.5. Características dinámicas de un sensor. ....	21
Fig. 2.6. Señal analógica. ....	23
Fig. 2.7. Potenciómetro. ....	23
Fig. 2.8. Resolvers.....	24
Fig. 2.9. LVDT.....	25
Fig. 2.10. Sincro. ....	26
Fig. 2.11. Inductosyn.....	26
Fig. 2.12. Señal digital. ....	27
Fig. 2.13. Encoder. ....	27
Fig. 2.14. Tacogenerador.....	28
Fig. 2.15. Acelerómetros.....	29
Fig. 2.16. Sensor inductivo.....	32
Fig. 2.17. Sensor efecto Hall. ....	33
Fig. 2.18. Sensor capacitivo. ....	34
Fig. 2.19. Sensor ultrasónico.....	34
Fig. 2.20. Sensor de proximidad óptico.....	35
Fig. 2.21. Representación de fuerzas en la muñeca.....	37
Fig. 2.22. Sensor JR3 85M35A3. ....	38
Fig. 3.1. Diagrama de bloques del sistema. ....	39
Fig. 3.2. Arquitectura hardware. ....	40
Fig. 3.3. Robot ABB IRB 1600.....	41

Fig. 3.4. Posiciones de trabajo disponibles para el robot ABB IRB 1600.....	42
Fig. 3.5. Ejes del manipulador IRB 1600. ....	42
Fig. 3.6. Vista posterior, lateral y superior del manipulador (dimensiones en mm). ....	43
Fig. 3.7. Rango de trabajo – Robot ABB IRB 1600. ....	45
Fig. 3.8. Diagrama de carga. ....	46
Fig. 3.9. Posiciones extremas del robot. ....	47
Fig. 3.1. Panel de control del IRC5. ....	48
Fig. 3.2. Flexpendant. ....	50
Fig. 3.3. Barra de estado – FlexPendant. ....	52
Fig. 3.4. Menú de configuración rápida.....	52
Fig. 3.5. Menú ABB. ....	53
Fig. 3.6. Sensor JR3 85M35A3.....	54
Fig. 3.7. Dirección de los ejes en sensor JR3 85M35A3. ....	54
Fig. 3.8. Dimensiones sensor JR3 85M35A3. ....	55
Fig. 3.9. Cable del sensor. ....	55
Fig. 3.10. Matriz de calibración. ....	57
Fig. 3.11. Menú de inicio.....	58
Fig. 3.12. IDE con la configuración de desarrollo general aplicada. ....	59
Fig. 3.13. Explorador de soluciones .....	59
Fig. 3.14. Vista de Código Fuente. ....	60
Fig. 3.15. Diseñador de páginas Web, vista Diseño.....	61
Fig. 3.16. Diseñador de páginas web, Vista dividida. ....	61
Fig. 3.17. Ventana Resultados con información de compilación. ....	62
Fig. 3.18. Formulario de Visual Basic en el modo de interrupción. ....	63
Fig. 3.19. Menú para generar archivo Windows installer. ....	63
Fig. 3.20. Interfaz Robotstudio. ....	64
Fig. 3.21. Navegador de Propiedades General. ....	65
Fig. 3.22. Navegador de Propiedades Detallado 1. ....	66
Fig. 3.23. Navegador de Propiedades Detallado 2. ....	67
Fig. 3.24. Navegador de objetos.....	68
Fig. 3.25. Navegador de objetos 1.....	68
Fig. 3.26. Navegador de objetos 2.....	69
Fig. 3.27. Navegador de Programas. ....	69
Fig. 3.28. Navegador de programas 1. ....	70
Fig. 3.29. Navegador de programas 2. ....	71
Fig. 3.30. Barra de Estado General. ....	71
Fig. 3.31. Barra de Estado Detallado. ....	71
Fig. 3.32. Barra Herramientas Crear Componente. ....	72
Fig. 3.33. Barra Herramientas Simulación.....	73
Fig. 3.34. Barra Herramientas Nivel Selección.....	73
Fig. 3.35. Barra Herramientas Ajustar Cuadrícula.....	73
Fig. 3.36. Barra Herramientas de Medidas.....	74
Fig. 3.37. Barra Herramientas Mano alzada. ....	74
Fig. 3.38. Barra Herramientas Ver.....	74
Fig. 3.39. Barra Herramientas Elementos.....	74
Fig. 3.40. Barra herramientas Tiempo de Movimiento.....	75
Fig. 3.41. Menú Contextual. ....	75
Fig. 3.42. Interfaz inicial de JR3. ....	77
Fig. 3.43. Interfaz JR3 inicial – Botones de conexión y cierre.....	78
Fig. 3.44. Interfaz JR3 – Botones “Start” y “Stop”. ....	78
Fig. 3.45. Interfaz JR3 inicial - Read Sensor INFO.....	78

Fig. 3.46. Interfaz JR3 inicial – Reset y Set Offsets.....	79
Fig. 3.47. Interfaz JR3 inicial – Scales. ....	79
Fig. 3.48. Interfaz JR3 inicial – Estados de la interfaz.....	80
Fig. 3.49. Interfaz JR3 inicial – Botón de INFO.....	80
Fig. 4.1. Diagrama de flujo del sistema. ....	81
Fig. 4.2. Comunicación entre los distintos sistemas. ....	82
Fig. 4.3. Diagrama de funcionamiento del protocolo de conexión.....	85
Fig. 4.4. Trama de datos enviada. ....	90
Fig. 4.5. Interfaz Sensor JR3 Adaptada.....	96
Fig. 4.6. Datos de conexiones. ....	97
Fig. 4.7. Botón de conectar.....	97
Fig. 4.8. Botón Visualizar valores.....	97
Fig. 4.9. Valores medidos por el sensor. ....	98
Fig. 4.10. Botón de stop para la visualización de datos.....	98
Fig. 4.11. Botón almacenar datos JR3. ....	98
Fig. 4.12. Archivo .txt generado con los valores del sensor. ....	98
Fig. 5.1. Conexión del sensor con el robot y el ordenador. ....	99
Fig. 5.2. Botón de encendido del robot.....	99
Fig. 5.3. Botón de selección de modo. ....	100
Fig. 5.4. Botón de inicio programa en Rapid. ....	100
Fig. 5.5. Botón de conectar.....	101
Fig. 5.6. Botón de play. ....	101
Fig. 5.7. Botón de stop.....	101
Fig. 5.8. Botón de finalizar programa en Rapid.....	102
Fig. 6.1. Medida de fuerza en eje z. ....	103
Fig. 6.2. Fuerza en eje z – 1 Kg.....	104
Fig. 6.3. Fuerza en eje z – 3 Kg.....	104
Fig. 6.4. Fuerza en eje z – 6 Kg.....	104
Fig. 6.5. Tabla datos sensor frente a peso eje Z.....	105
Fig. 6.6. Medida de fuerza en eje y – Par en eje x.....	106
Fig. 6.7. Fuerza en eje y – Par en eje x – 1 Kg. ....	106
Fig. 6.8. Fuerza en eje y – Par en eje x – 3 Kg. ....	107
Fig. 6.9. Fuerza en eje y – Par en eje x – 6 Kg. ....	107
Fig. 6.10. Tabla fuerza Y, momento X frente a peso. ....	108
Fig. 6.11. Medida de fuerza en eje x – Par en eje y.....	108
Fig. 6.12. Fuerza en eje x – Par en eje y – 1 Kg. ....	109
Fig. 6.13. Fuerza en eje x – Par en eje y – 3 Kg. ....	109
Fig. 6.14. Fuerza en eje x – Par en eje y – 6 Kg. ....	109
Fig. 6.15. Medidas de fuerza eje X, momento Y frente a peso.....	110
Fig. 6.16. Medida del Par en eje z.....	111
Fig. 6.17. Par en eje z – 1 Kg.....	111
Fig. 6.18. Par en eje z – 3 Kg.....	111
Fig. 6.19. Par en eje z – 6 Kg.....	112
Fig. 6.20. Medidas de fuerza eje Z frente a peso. ....	112
Fig. 6.21. Direcciones de desplazamiento del robot. ....	113
Fig. 6.22. Desplazamiento sobre eje X.....	114
Fig. 6.23. Valores desplazamientos sentido positivo eje X. ....	115
Fig. 6.24. Análisis de los valores de fuerza usados eje X positivo. ....	117
Fig. 6.25. Valores desplazamientos sentido negativo eje X. ....	118
Fig. 6.26. Análisis de los valores de fuerza usados, eje X negativo.....	120
Fig. 6.27. Movimiento sobre el eje Y.....	121

Fig. 6.28. Valores desplazamientos sentido positivo eje Y.....	121
Fig. 6.29. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Y positivo. ....	124
Fig. 6.30. Valores desplazamientos sentido negativo eje Y. ....	125
Fig. 6.31. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Y negativo. ....	127
Fig. 6.32. Movimiento sobre el eje z. ....	127
Fig. 6.33. Valores desplazamientos sentido positivo eje Z.....	128
Fig. 6.34. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Y negativo. ....	130
Fig. 6.35. Valores desplazamientos sentido negativo eje Z. ....	131
Fig. 6.36. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Z negativo. ....	133

### III. Lista de códigos.

Código 1: Nuevas declaraciones y creación de fichero txt.....	86
Código 2: Conexión con el PC.....	87
Código 3: Extracción de los valores leídos por el sensor.....	87
Código 4: Almacenar datos en fichero txt. ....	88
Código 5: Rango de medidas a enviar. ....	89
Código 6: Eliminación de ruido producido por el sensor.....	90
Código 7: Creación de la trama a enviar. ....	91
Código 8: Envío de la trama.....	91
Código 9: Inicio del envío de datos. ....	92
Código 10: Declaración de variables más importantes. ....	93
Código 11: Creación de la conexión.....	94
Código 12: Generación del movimiento.....	94
Código 13: Extracción de la trama.....	95

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Descripción del proyecto.

Este proyecto fin de carrera se basa en la implementación de una aplicación la cual permita la comunicación de un PC, un sensor fuerza par JR3 y un robot ABB IRB 1600.

Mediante SOLIDEDGE, se procede al diseño de las piezas necesarias para la instalación del sensor fuerza-par JR3.

En concreto, la aplicación debe permitir que el usuario pueda aplicar una fuerza a la herramienta situada en el extremo del robot ABB y mediante la lectura e interpretación de dicha fuerza, el robot se mueva desde su posición actual hasta una posición final en la misma dirección y una distancia proporcional a la fuerza aplicada.

Mediante la modificación del software facilitado por JR3 para la captura de datos del sensor, se crea una nueva aplicación la cual incluye una comunicación mediante un socket (TCP/IP) para el envío de un paquete de datos donde se incluyen los valores de fuerzas en los tres ejes cartesianos. Además, se incorpora al software la posibilidad de almacenar los datos extraídos del sensor JR3.

La modificación de dicha aplicación se desarrolla mediante lenguaje C++ en Microsoft Visual Studio 2008. La recepción de los datos en el robot ABB, y la programación de sus movimientos se realizan mediante Robot Studio en lenguaje de programación RAPID.

### 1.2. Objetivos.

El objetivo principal de este Proyecto Fin de Carrera es el diseño de una aplicación la cual proporcione al robot ABB la comunicación con un PC que le permita recibir los valores de fuerza aplicados en su herramienta para interpretarlos y realizar movimientos en la misma dirección, sentido y desplazándose una distancia proporcional a la fuerza aplicada.

El objetivo principal se puede dividir en los siguientes subobjetivos generales:

- Diseño hardware mediante SOLID EDGE de las piezas necesarias para la instalación del sensor JR3 en el extremo del robot ABB. Mediante dichas piezas se consigue una mejor fijación y protección del sensor fuerza-par JR3. (Parte II del proyecto).
- Crear comunicación mediante socket (TCP/IP) para el envío del paquete de datos con los valores de las fuerzas en los tres ejes cartesianos.
- Creación de un único paquete de datos con los tres valores de fuerza a enviar al robot para crear así un proceso más rápido y obtener de este modo una comunicación más fluida.
- Implementación mediante software de la opción de almacenamiento de datos extraídos del sensor fuerza-par JR3 para un mejor estudio.
- Modificación de la interfaz original adaptándola mejor a las necesidades del proyecto.

Los objetivos específicos de la parte I del proyecto se pueden dividir en:

- Creación de la conexión TCP/IP en el controlador del robot ABB.
- Recepción de los datos enviados por el PC al robot ABB.
- Interpretación de los datos enviados y extracción de la trama.
- Generación de los movimientos y trayectorias del robot con los valores de fuerzas recibidos.

### 1.3. Estructura del proyecto.

El proyecto se divide en 11 capítulos que se describen a continuación.

En el Capítulo 1 se realiza una descripción de los temas a tratar en el Proyecto Fin de Carrera así como una descripción de las partes que lo forman.

El Capítulo 2 recoge toda la información sobre la célula de trabajo utilizada en el proyecto. Se realiza una descripción y se nombran las características del robot ABB IRB 1600 y el sensor JR3 utilizados. También, a lo largo de este capítulo se nombran los aspectos históricos relacionados con estos elementos para conocer mejor su funcionamiento.

El Capítulo 3 es en el cual se describe el funcionamiento del sensor JR3 fuerza par utilizado. En este punto también se trata de interpretar los valores obtenidos durante unas pruebas de su funcionamiento.

El Capítulo 4 es el cual da a conocer el software empleado para el desarrollo de la aplicación. En este capítulo se realiza un breve tutorial con las principales funcionalidades de los entornos utilizados.

En el Capítulo 5 se describe todo lo que es la interfaz desarrollada y su funcionamiento. En este capítulo también se puede ver la interfaz proporcionada por JR3 y la variaciones que se han realizado sobre la misma para la nueva aplicación.

El Capítulo 6 trata el desarrollo de la nueva aplicación mediante Visual Studio 2008. En este capítulo se comentan las variaciones de código que se han realizado para modificar la aplicación y adaptarla a las necesidades del proyecto.

En el Capítulo 7 se el desarrollo del programa en RAPID encargado de realizar la comunicación con el PC. Este programa permitirá además al robot interpretar los datos recibidos y realizar los movimientos oportunos acorde a los mismos.

El Capítulo 8 trata las conclusiones obtenidas tras la realización de este proyecto, mientras que en el capítulo 9 se dan a conocer posibles trabajos futuros y mejoras de lo realizado.

En el Capítulo 10 se recoge toda la bibliografía utilizada en el proyecto.

Por último, en el capítulo 11 se encuentran los anexos del proyecto donde se puede ver el código integro utilizado.

## 2. FUNDAMENTOS DEL PROYECTO.

### 2.1. Robot manipulador.

#### 2.1.1. Definición de robot industrial

Existen ciertas dificultades a la hora de establecer una definición formal de lo que es un robot industrial [1]. La primera de ellas surge de la diferencia conceptual entre definir esta herramienta industrial en el mercado oriental frente al occidental. Así, mientras que en zonas orientales, 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 determinar 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 de Robótica (RIA, *Robotic Industry Association*), 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. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. 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.

Por último, la Federación Internacional de Robótica (IFR, *International Federation of Robotics*) distingue entre robot industrial de manipulación y otros robots:

"Por robot industrial de manipulación se entiende una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento"

En esta definición se debe entender que la reprogramabilidad y la multifunción se consiguen sin modificaciones físicas del robot.

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.

### 2.1.2. Historia y evolución de los robots.

El concepto de máquinas automatizadas se remonta a la antigüedad, con mitos de seres mecánicos vivientes. Los autómatas, o máquinas semejantes a personas, ya aparecían en los relojes de las iglesias medievales, y los relojeros del siglo XVIII eran famosos por sus ingeniosas criaturas mecánicas [2].

El control por realimentación, el desarrollo de herramientas especializadas y la división del trabajo en tareas más pequeñas que pudieran realizar obreros o máquinas fueron ingredientes esenciales en la automatización de las fábricas en el siglo XVIII. A medida que mejoraba la tecnología se desarrollaron máquinas especializadas para tareas como poner tapones a las botellas o verter caucho líquido en moldes para neumáticos. Sin embargo, ninguna de estas máquinas tenía la versatilidad del brazo humano, y no podía alcanzar objetos alejados y colocarlos en la posición deseada.

En la década de 1890 el científico Nikola Tesla, inventor, entre muchos otros dispositivos, de los motores de inducción, ya construía vehículos controlados a distancia por radio. Tesla fue un visionario que escribió sobre mecanismos inteligentes tan capaces como los humanos.

Las máquinas más próximas a lo que hoy en día se entiende como robots fueron los "teleoperadores", utilizados en la industria nuclear para la manipulación de sustancias radiactivas. Básicamente se trataba de servomecanismos que, mediante sistemas mecánicos, repetían las operaciones que simultáneamente estaba realizando un operador.

Inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial comienzan los primeros trabajos que llevan a los robots industriales. A finales de los 40 se inician programas de investigación en los laboratorios de *Oak Ridge* y *Argonne National Laboratories* para desarrollar manipuladores mecánicos para elementos radiactivos. Estos manipuladores eran del tipo "maestro-esclavo", diseñados para que reprodujeran fielmente los movimientos de brazos y manos realizados por un operario.

El inventor estadounidense George C. Devol desarrolló en 1954 un *dispositivo de transferencia programada articulada* (según su propia definición); un brazo primitivo que se podía programar para realizar tareas específicas.

En 1958, Devol se unió a Joseph F. Engelberger y, en el garaje de este último, construyeron un robot al que llamaron *Unimate*. Era un dispositivo que utilizaba un computador junto con un manipulador que conformaban una "máquina" que podía ser "enseñada" para la realización de tareas variadas de forma automática. En 1962, el primer *Unimate* fue instalado a modo de prueba en una planta de la *General Motors* para funciones de manipulación de piezas y ensamblaje, con lo que pasó a convertirse en el primer robot *industrial*. Devol y Engelberger fundarían más tarde la primera compañía dedicada expresamente a fabricar robots, *Unimation* (véase Fig 2.1), *Inc.*, abreviación de *Universal Automation*.

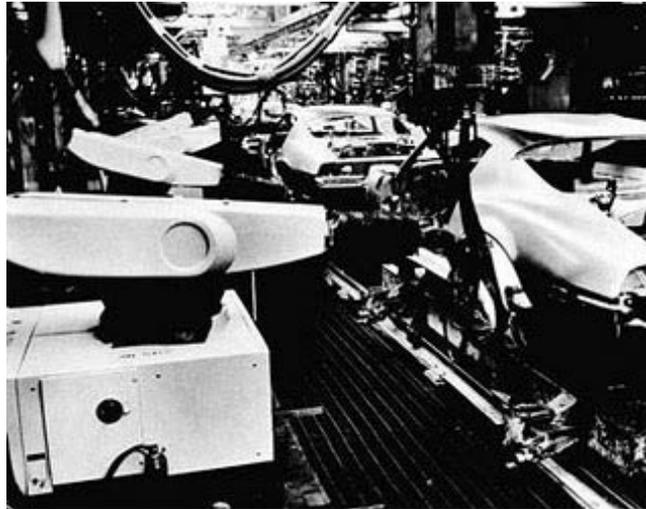


Fig. 2.1. Robot Unimate en línea de ensamble de GM.

Se puede considerar este punto como el inicio de la era de la Robótica tal como la conocemos, mediante la utilización de los robots programados, una nueva y potente herramienta de fabricación.

Durante la década de los 60, un nuevo concepto surge en relación con los anteriores avances. En vistas a una mayor flexibilidad, se hace necesaria la realimentación sensorial. En 1962, H. A. Ernst publica el desarrollo de una mano mecánica controlada por computador con sensores táctiles llamada *MH-1*. Este modelo evolucionó adaptándole una cámara de televisión dentro del proyecto *MAC*. También en 1962, Tomovic y Boni desarrollan una mano con un sensor de presión para la detección del objeto que proporcionaba una señal de realimentación al motor.

En 1963 se introduce el robot comercial *VERSATRAN* por la *American Machine and Foundry Company* (*AMF*). En el mismo año se desarrollan otros brazos manipuladores como el *Roehampton* y el *Edinburgh*.

En 1967 y 1968 *Unimation* recibe sus primeros pedidos para instalar varios robots de la serie *Unimate 2000* en las cadenas de montaje de *General Motors*. Al año siguiente los robots ensamblaban todos los coches *Chevrolet Vega* de esta compañía.

En 1968 se publica el desarrollo de un computador con "manos", "ojos" y "oídos" (manipuladores, cámaras de TV y micrófonos) por parte de McCarthy en el *Stanford Artificial Intelligence Laboratory*. En el mismo año, Pieper estudia el problema cinemático de un manipulador controlado por un computador. También este año, la compañía japonesa *Kawasaki Heavy Industries* negocia con *Unimation* la licencia de sus robots. Este momento marca el inicio de la investigación y difusión de los robots industriales en Japón. En la Fig 2.2 se puede observar un ejemplo de brazo manipulador fabricado en estas fechas.

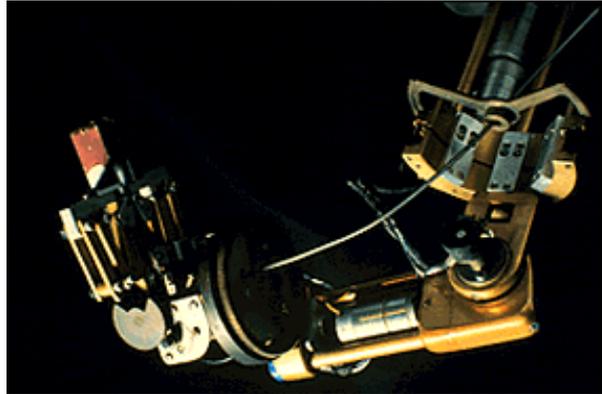


Fig. 2.2. Brazo Stanford (1969).

Las primeras aplicaciones industriales en Europa, aplicaciones de robots industriales en cadenas de fabricación de automóviles, datan de los años 1970 y 1971. En este último año, **Kahn y Roth** analizan el comportamiento dinámico y el control de un brazo manipulador.

Durante la década de los 70, la investigación en robótica se centra en gran parte en el uso de sensores externos para su utilización en tareas de manipulación. Es también en estos años cuando se consolida definitivamente la presencia de robots en las cadenas de montaje y plantas industriales en el ámbito mundial.

En 1972 se desarrolló en la universidad de *Nottingham*, Inglaterra, el *SIRCH*, un robot capaz de reconocer y orientar objetos en dos dimensiones. Este mismo año, la empresa japonesa *Kawasaki* instala su primera cadena de montaje automatizada en *Nissan*, Japón, usando robots suministrados por *Unimation, Inc.*

En 1973, **Bolles y Paul** utilizan realimentación visual en el brazo *Stanford* para el montaje de bombas de agua de automóvil. También este mismo año, la compañía sueca *ASEA* (futura *ABB*), lanza al mercado su familia de robots *IRB 6* e *IRB 60*, para funciones de perforación de piezas.

También este mismo año, la empresa *Cincinnati Milacron* introduce el T3 (*The Tomorrow Tool*), su primer robot industrial controlado por computador. Este manipulador podía levantar más de 45 kilogramos y seguir objetos móviles en una línea de montaje.

En 1975, **Will y Grossman**, en *IBM*, desarrollaron un manipulador controlado por computador con sensores de contacto y fuerza para montajes mecánicos. Este mismo año, el ingeniero mecánico estadounidense **Victor Scheinman**, cuando estudiaba la carrera en la Universidad de *Stanford*, California, desarrolló un manipulador polivalente realmente flexible conocido como *Brazo Manipulador Universal Programable (PUMA)*, siglas en inglés). El *PUMA* era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación en un lugar deseado que estuviera a su alcance. El concepto básico multiarticulado del *PUMA* (véase Fig 2.3) es la base de la mayoría de los robots actuales.



Fig. 2.3. Robot PUMA.

En 1976, estudios sobre el control dinámico llevados a cabo en los laboratorios *Draper*, Cambridge, permiten a los robots alinear piezas con movimientos laterales y rotacionales a la vez.

En 1979 Japón introduce el robot *SCARA* (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*), y la compañía italiana *DEA* (*Digital Electric Automation*), desarrolla el robot *PRAGMA* para la *General Motors*.

En la década de los 80 se avanza en las técnicas de reconocimiento de voz, detección de objetos móviles y factores de seguridad. También se desarrollan los primeros robots en el campo de la rehabilitación, la seguridad, con fines militares y para la realización de tareas peligrosas. Así por ejemplo, en 1982, el robot *Pedesco*, se usa para limpiar un derrame de combustible en una central nuclear. También se pone un gran énfasis en los campos de visión artificial, sensorización táctil y lenguajes de programación. Gracias a los primeros pasos dados por compañías como *IBM* o *Intellex Corporation*, que introdujo en 1984 el modelo ligero de ensamblaje 695, basado en el microprocesador *Intel 8087* y con software *Robot Basic*, una modificación del *Microsoft Basic*, actualmente se tiende al uso de una interfaz (el ordenador) y diversos lenguajes de programación especialmente diseñados, que evitan el "cuello de botella" que se producía con la programación "clásica". Esta puede ser ahora *on-line* u *off-line*, con interfaces gráficas (*user-friendly interfaces*) que facilitan la programación, y un soporte *SW+HW* que tiende a ser cada vez más versátil.

### 2.1.3. Clasificación de los robots.

La clasificación de los robots industriales se puede hacer de muchos tipos, dependiendo de los aspectos que se deseen reflejar. Una primera clasificación genérica sería esta [3]:

Tipo de Robots	Características
<b>Manipuladores</b>	Son sistemas mecánicos multifuncionales, con un sencillo sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos.
<b>Robots de repetición o aprendizaje</b>	Son manipuladores que se limitan a repetir una secuencia de movimientos, previamente ejecutada por un operador humano, haciendo uso de un controlador manual o un dispositivo auxiliar.
<b>Robots de control por computador</b>	Son manipuladores o sistemas mecánicos multifuncionales, controlados por un computador, que habitualmente suele ser un microordenador. Las grandes ventajas que ofrecen este tipo de robots, hacen que se vayan imponiendo en el mercado rápidamente.
<b>Robots inteligentes</b>	Son similares a los anteriores, pero, además, son capaces de relacionarse con el mundo que les rodea a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real.

Tabla 2 1. Clasificación genérica de robots.

Por otra parte, se puede realizar otro tipo de clasificación analizando en este caso la generación a la que pertenece el robot industrial.

Tipo de Robots	Características
<b>Robots de Primera Generación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.</li> <li>- Los dispositivos actúan como "esclavo" mecánico de un hombre, quien provee mediante su intervención directa el control de los órganos de movimiento.</li> <li>- Esta transmisión tiene lugar mediante servomecanismos actuados por las extremidades superiores del hombre. Casos típicos son la manipulación de materiales radiactivos, obtención de muestras submarinas, etc.</li> </ul>
<b>Robots de Segunda Generación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia.</li> <li>- El dispositivo actúa automáticamente sin intervención humana frente a posiciones fijas en las que el trabajo ha sido preparado y ubicado.</li> <li>- Ejecuta movimientos repetitivos en el tiempo, que obedecen a lógicas combinatorias, secuenciales, programadores paso a paso, neumáticos o Controladores Lógicos Programables.</li> <li>- Tienen una facilidad para una rápida reprogramación lo que convierte a estos Robots en unidades "versátiles" cuyo campo de aplicación no sólo se encuentra en la manipulación de materiales sino en todo los procesos de manufactura.</li> <li>- Usos: en el estampado en frío y en caliente asistiendo a las máquinas; herramientas para la carga y descarga de piezas; en la inyección de termoplásticos y metales no ferrosos; en los procesos de soldadura a punto y continua; en tareas de pintado; y reemplazando con ventaja algunas operaciones de máquinas convencionales.</li> </ul>
<b>Robots de Tercera Generación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural. Posee la capacidad para la planificación automática de sus tareas.</li> <li>- Son dispositivos que habiendo sido construidos para alcanzar determinados objetivos serán capaces de elegir la mejor forma de hacerlo teniendo en cuenta el ambiente que los circunda.</li> <li>- Deben poseer algunas condiciones que posibiliten su interacción con el ambiente y los objetos. Las mínimas aptitudes requeridas son: capacidad de reconocer un elemento determinado en el espacio y la capacidad de adoptar propias trayectorias para conseguir el objetivo deseado.</li> <li>- Los métodos de identificación empleados hacen referencia a la imagen óptica por ser esta el lenguaje humano en la observación de los objetos, sin embargo no puede asegurarse que la que es natural para el hombre, constituye la mejor solución para el robot.</li> </ul>

Tabla 2.2. Clasificación de robots según generación.

Por último, se describe en la siguiente tabla la clasificación de robots industriales dependiendo de su estructura mecánica y de los tipos de movimientos que este puede realizar.

Tipo	Descripción
<b>Robot cartesiano</b>	Robot donde el brazo está constituido por tres articulaciones prismáticas donde los ejes están dispuestos según un sistema de coordenadas cartesianas.
<b>Robot cilíndrico</b>	Robot donde el brazo está constituido por al menos una articulación rotativa y de una articulación prismática donde los ejes están dispuestos según un sistema de coordenadas cilíndricas.
<b>Robot Esférico (o polar)</b>	Robot cuyos ejes forman un sistema de coordenadas polar.
<b>Robot SCARA</b>	Robot que tiene dos articulaciones rotativas con ejes paralelos, para proporcionar conformidad en un plano dado.
<b>Robot articulado</b>	Robot cuyo brazo tiene al menos articulaciones rotativas
<b>Robot paralelo</b>	Robot donde el brazo (ejes principales) están constituidos por tres articulaciones prismáticas concurrentes

Tabla 2.3. Clasificación de robots según su estructura mecánica.

## 2.2. Sensores.

### 2.2.1. Definición de sensor.

Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.

Por ejemplo: existen sensores que se instalan en los vehículos y que detectan cuando la velocidad de desplazamiento supera la permitida. En esos casos, emiten un sonido que alerta al conductor y a los pasajeros.

Otro tipo de sensor muy habitual es aquel que se instala en la puerta de entrada de las viviendas y reacciona ante e movimiento. Si una persona se acerca al sensor, éste emite una señal y se enciende la iluminación. La utilización de estos sensores está vinculada a la seguridad, ya que evitan que alguien aproveche la oscuridad para ocultarse e ingrese en la casa sin ser advertido.

Los termómetros también son sensores ya que aprovechan la capacidad del mercurio para reaccionar ante la temperatura y, de este modo, permiten detectar si una persona tiene fiebre.

Los sensores, en definitiva, son dispositivos que permiten obtener información del entorno e interactuar con ella.

Cuando se desarrollan computadoras capaces de responder a órdenes de voz, por ejemplo, se las provee de micrófonos que son sensores capaces de captar las ondas sonoras y transformarlas. Si estos sensores están asociados a otros circuitos, la máquina podrá reaccionar al estímulo de acuerdo a lo requerido por el usuario.

### 2.2.2. Historia de los sensores.

Al igual que los seres humanos apelan a su sistema sensorial (véase Fig 2.3) para obtener información del entorno, las máquinas y los robots requieren de sensores para la interacción con el medio en el que se encuentran [5].

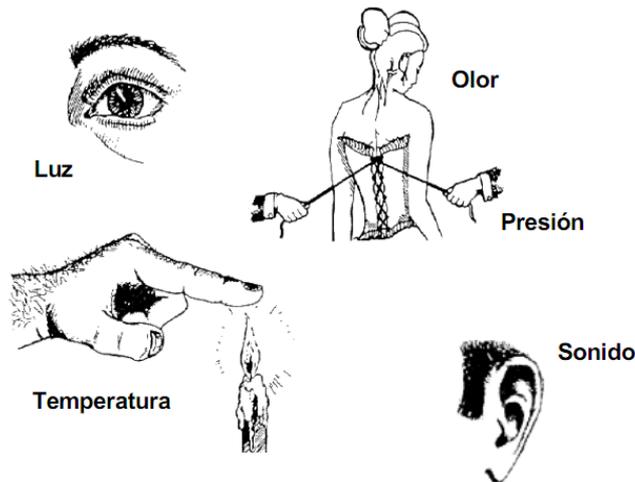


Fig. 2.4. Sistema sensorial humano.

Los sensores existen desde siempre, y nunca mejor dicho, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos. El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, tórrido. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas.

### 2.2.3. Características de los sensores.

#### 2.2.3.1 Características estáticas de un sensor.

Las características estáticas definen el comportamiento en régimen permanente del sensor:

- Rango: Valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- Exactitud: la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medida e ideal.
- Repetitividad: la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- Reproducibilidad: tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.

- Resolución: la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.
- Error: es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- No linealidades: la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal. No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.
- Sensibilidad: es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada:  $s = \partial V / \partial x$ .
- Excitación: es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.
- Estabilidad: es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.
- Ruido: se trata de la señal no deseada que se mezcla con la útil.

### 2.2.3.2 Características dinámicas de un sensor.

Las características dinámicas definen el comportamiento en régimen transitorio del sensor. En la Fig 2.4 se observan las distintas características dinámicas de un sensor.

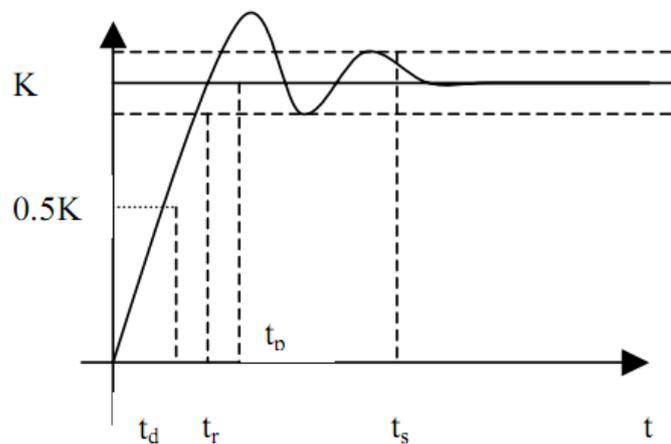


Fig. 2.5. Características dinámicas de un sensor.

Las características dinámicas más importantes son:

- Tiempo de retardo:  $t_d$ , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el 50% de su valor final.
- Tiempo de subida:  $t_r$ , es el tiempo que tarda la salida del sensor hasta alcanzar su valor final. => velocidad del sensor, es decir, lo rápido que responde ante una entrada.

- Tiempo de pico:  $t_p$ , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el pico máximo de su sobreoscilación.
- Pico de sobreoscilación:  $M_p$ , expresa cuanto se eleva la evolución temporal de la salida del sensor respecto de su valor final.
- Tiempo de establecimiento:  $t_s$ , el tiempo que tarda la salida del sensor en entrar en la banda del 5% alrededor del valor final y ya no vuelve a salir de ella

#### 2.2.4. Clasificación de los sensores utilizados en robots.

Para conseguir que el robot realice su tarea con la adecuada precisión es preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado como del estado de su entorno. Dependiendo de su situación, se pueden diferenciar dos tipos de sensores [6]:

- Sensores internos: sensores integrados en la propia estructura mecánica del robot, que dan información del estado del robot: fundamentalmente de la posición, velocidad y aceleración de las articulaciones.
- Sensores externos: dan información del entorno del robot: alcance, proximidad, contacto, fuerza, etc. Se utilizan para guiado de robots, para identificación y manipulación de objetos.

##### 2.2.4.1 Sensores internos.

Permiten a la unidad de control del robot obtener datos del estado de su estructura mecánica como posición, velocidad y aceleración.

###### 2.2.4.1.1 Sensores de posición.

Encargados de indicar a la unidad de control la posición del robot. Se pueden definir dos tipos de sensores de posición principalmente:

- Analógicos. Es aquel que puede entregar una salida variable dentro de un determinado rango (Véase Fig 2.6).

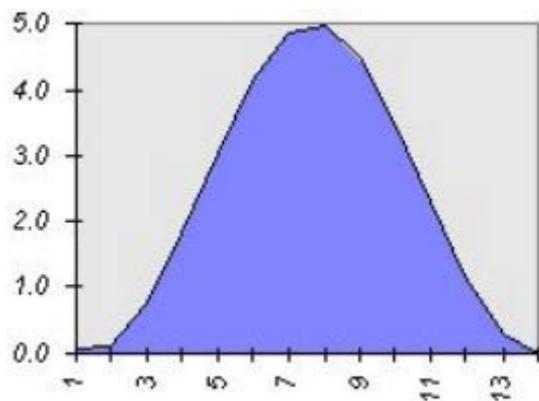


Fig. 2.6. Señal analógica.

Algunos ejemplos de sensores de posición analógicos son:

- i. Potenciómetros: Se usan para la determinación de desplazamientos lineales o angulares. Eléctricamente se cumple la relación  $\frac{V_{BC}}{V_{AC}} = \frac{R_{BC}}{R_{AC}}$  (véase Fig 2.7).

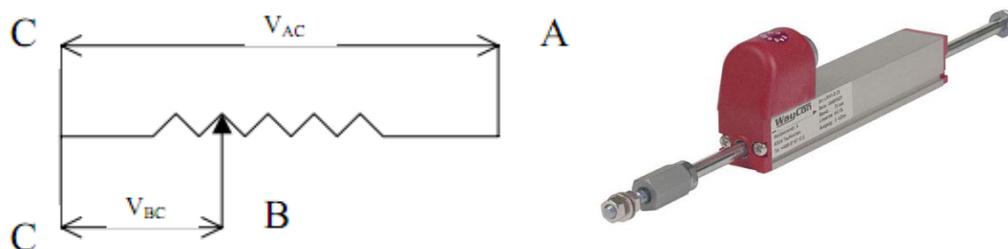


Fig. 2.7. Potenciómetro.

Este potencial puede medirse y disponer de un sistema de calibrado de manera que por cada potencial se obtenga proporcionalmente una distancia de desplazamiento.

Resolver. Los resolvers parecen pequeños motores pero son, esencialmente, transformadores rotativos diseñados de tal modo que su coeficiente de acoplamiento entre el rotor y el estator varía según sea la posición angular del eje (véase Fig 2.8)



Fig. 2.8. Resolvers.

En su diseño más simple, el resolver consta de dos bobinados en el estator, que detectan una señal senoidal de inducción, emitida por un tercer bobinado desde el rotor; una de las bobinas detectoras corresponde al seno y la otra al coseno (están ubicadas en posiciones separadas, obviamente, por un ángulo de  $90^\circ$ ). La bobina excitadora del rotor es alimentada por una señal de corriente alterna senoidal que le llega a través de anillos de metal (contactos) ubicados sobre el eje, y escobillas. Este diseño tiene el inconveniente de que el mecanismo de escobillas sufre un desgaste continuo, lo que hace posible, pasado cierto tiempo de uso, que desde ahí se ingrese ruido en la señal. Tanto el rotor como el estator están contruidos con un núcleo de hierro laminado.

Existe una solución de resolver sin escobillas, que está implementada por un transformador rotativo, con el primario sobre el estator y el secundario en el rotor.

- ii. LVDT. El transformador diferencial de variación lineal es un tipo de transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales. El transformador posee tres bobinas dispuestas extremo con extremo alrededor de un tubo. La bobina central es el devanado primario y las externas son los secundarios. Un centro ferromagnético de forma cilíndrica, sujeto al objeto cuya posición desea ser medida, se desliza con respecto al eje del tubo (véase Fig 2.9).



Fig. 2.9. LVDT.

Cuando una corriente alterna circula a través del primario, causa un voltaje que es inducido a cada secundario proporcionalmente a la inductancia mutua con el primario. La frecuencia del oscilador que causa la corriente alterna está en el rango de 1 a 10 kHz.

A medida que el núcleo se mueve, la inductancia mutua cambia, causando que el voltaje inducido en el secundario cambie. Las bobinas están conectadas en serie pero invertidas, así que el voltaje de salida es la diferencia (por eso es "diferencial") entre los dos voltajes secundarios. Cuando el núcleo está en su posición central, se encuentra equidistante a los dos secundarios, los voltajes inducidos son iguales pero de signo opuesto, así que el voltaje de salida es cero.

Cuando el núcleo es desplazado en una dirección, el voltaje en una bobina aumenta mientras que en la otra disminuye, causando que el voltaje de salida también aumente desde cero hasta su máximo. Este voltaje tiene la misma fase que el voltaje del primario. La magnitud del voltaje de salida es proporcional a la distancia en que fue desplazado el núcleo (hasta cierto límite), por eso el dispositivo es descrito como "lineal". La fase del voltaje indica la dirección del desplazamiento.

Debido a que el núcleo deslizante no toca el interior del tubo, puede moverse prácticamente sin fricción, haciendo del LVDT un dispositivo muy fiable. La ausencia de contactos deslizantes o rotatorios permite que el LVDT sea completamente sellado.

Los LVDT son usados para la realimentación de posición en servomecanismos y para la medición automática en herramientas y muchos otros usos industriales y científicos.

- iii. Sincro. Es un transductor de posición angular de tipo electromagnético. Su principio de funcionamiento puede resumirse diciendo que se trata de un

transformador, en el que uno de los devanados es rotativo. La configuración más habitual se basa en situar el primario en el rotor y monofásico y, por otra parte, el secundario en el estator y trifásico.

Cuando se aplica una tensión senoidal al devando primario, se recogen en los devanados secundarios de cada una de las fases tres tensiones, cuya amplitud y fase con respecto a la tensión del primario dependen de la posición angular del rotor. En la Fig 2.10 se representa un ejemplo de transductor sincro.



Fig. 2.10. Sincro.

- iv. Inductosyn. Es un transductor electromagnético utilizado para la medida de desplazamientos lineales, con precisión del orden de micras. Se emplea en máquinas medidoras de coordenada y máquinas herramientas de control numérico. El transductor consta de dos partes acopladas magnéticamente, una denominada escala fija y situada paralela al eje de desplazamiento y otra solapada a la anterior deslizante y solidaria a la parte móvil (véase Fig 2.11).

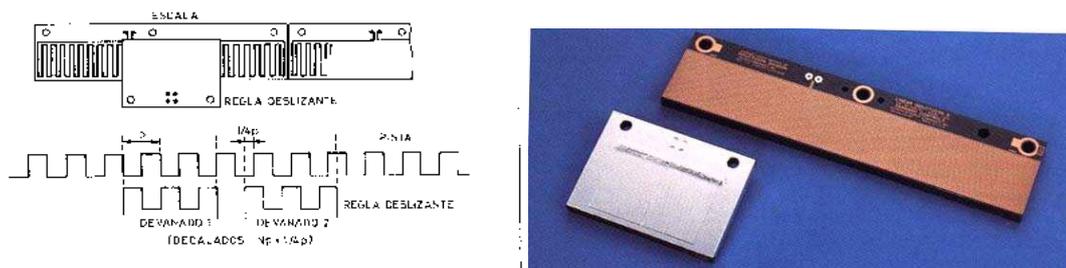


Fig. 2.11. Inductosyn.

La parte fija lleva grabado un circuito impreso con pistas en forma de onda rectangular con un paso  $p$ . La parte móvil tiene dos más pequeños, encarados con los de la escala, y desfasados entre si un número entero de pasos más  $\frac{1}{4}$  de paso (análogamente a lo visto para encoders incrementales). Si se excita la parte fija con una señal alterna en cada uno de los circuitos de la parte deslizante se recoge una tensión que es función del desplazamiento lineal y el paso de onda de la escala. La amplitud varía entre un máximo y un mínimo según las que los circuitos fijo y móvil estén enfrentados o decaídos  $\frac{1}{2}$  de paso. La medida se realiza

sumando el número de ciclos de señal de salida completos, más la variación dentro de un ciclo. La indeterminación del sentido se resuelve comparando la fase de los dos captadores.

- Digitales. Un sensor digital es aquel que entrega una salida del tipo discreta (véase Fig 2.12). Es decir, que el sensor posee una salida que varía dentro de un determinado rango de valores, pero a diferencia de los sensores analógicos, esta señal varía de a pequeños pasos pre-establecidos.

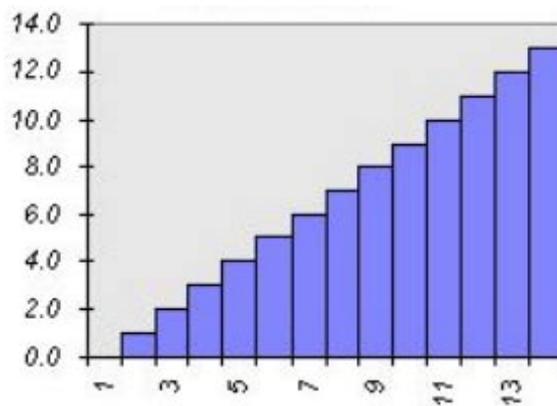


Fig. 2.12. Señal digital.

Algunos ejemplos de sensores de posición digitales son:

- Encoders: Constan de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí, de un sistema de iluminación y de un elemento fotorreceptor. En la Fig 2.13 se pueden ver las partes y un ejemplo de sensor encoder.

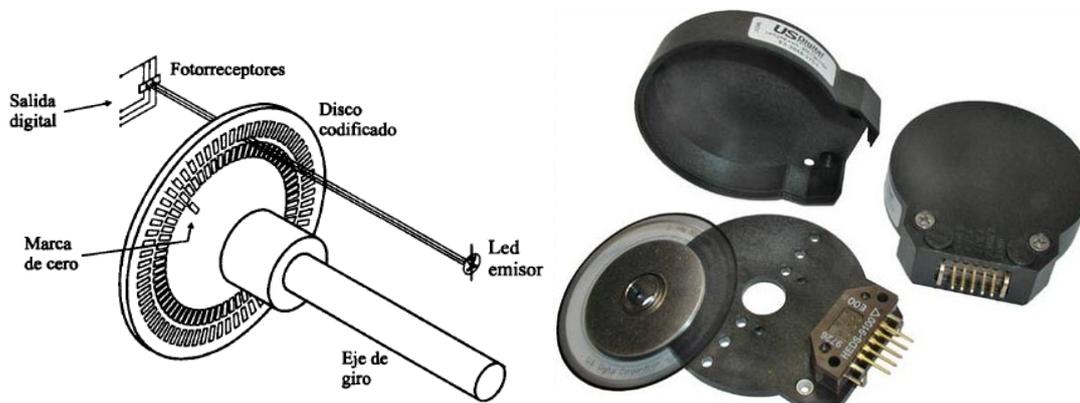


Fig. 2.13. Encoder.

El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco, a medida que el eje gira se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese las marcas, llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje.

La resolución depende del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco.

El funcionamiento de un encoder absoluto es similar, pero el disco se divide en un número de sectores (potencia de 2), codificándose cada uno de ellos con un código binario (código Gray), con zonas transparentes y opacas.

#### 2.2.4.1.2 Sensores de velocidad.

La captación de la velocidad se hace necesaria para mejorar el comportamiento dinámico de los actuadores del robot. La información de la velocidad de movimiento de cada actuador se realimenta normalmente a un bucle de control analógico implementado en el propio accionador del elemento motor. No obstante, en las ocasiones en las que el sistema de control del robot lo exija, la velocidad de giro de cada actuador es llevada hasta la unidad de control del robot.

Normalmente, y puesto que el bucle de control de velocidad es analógico, el sensor usado es una **tacogenerador** (véase Fig 2.13) que proporciona una tensión proporcional a la velocidad de giro de su eje. Su funcionamiento se basa en convertir la energía del eje en cuestión en energía eléctrica, proporcional a la rotacional y que puede ser fácilmente medida. Para generar la corriente a partir del giro se acopla al motor o eje que se va a medir, una espira situada dentro de un campo magnético fijo (creado por los dos imanes). Al girar el motor, la espira girará en el interior del campo magnético, lo que provocará una corriente eléctrica.



Fig. 2.14. Tacogenerador.

#### 2.2.4.1.3 Sensores de aceleración.

Los sensores de aceleración o acelerómetros son elementos que transforman la magnitud física de aceleración en otra magnitud eléctrica que será la que se emplea en los equipo de automatización o adquisición estándar. Los rangos de medida van desde las decimas de g, hasta los miles de g.

Para cubrir los diferentes rangos de medida, precisión y protección, existen una gran variedad de acelerómetros, fabricados con diferentes tecnologías, que permiten cubrir todas las necesidades. En la Fig 2.15 se muestran unos ejemplos de acelerómetros.



Fig. 2.15. Acelerómetros.

#### 2.2.4.2 Sensores externos.

El empleo de mecanismos de detección exteriores permite a un robot interactuar con su ambiente de una manera flexible. Esto contrasta con el funcionamiento preprogramado en el que a un robot se le enseña a realizar tareas repetitivas mediante una serie de funciones preprogramadas. Aunque esto está bastante lejos de la forma más predominante de funcionamiento de los robots industriales actuales, la utilización de la tecnología de detección para proporcionar a las máquinas un mayor grado de inteligencia en relación con su ambiente es, en realidad, un tema activo de investigación y desarrollo en el campo de la robótica.

Un robot que puede ver y sentir es más fácil de entrenar en la ejecución de las tareas complejas mientras que, al mismo tiempo, exige mecanismos de control menos estrictos que las máquinas preprogramadas. Un sistema sensible y susceptible de entrenamiento es también adaptable a una gama mucho más amplia de tareas, con lo que se consigue un grado de universalidad que se traduce, a la larga, en más bajos costes de producción y mantenimiento. La función de los sensores del robot puede dividirse en dos categorías principales: estado interno y estado externo. Los sensores de estado externo operan con la detección de variables tales como el alcance, la proximidad y el contacto. La detección externa, se utiliza para el guiado del robot, así como para la manipulación e identificación de objetos.

Los sensores de estado externo pueden clasificarse también como sensores de contacto y no contacto. Como su nombre lo indica, la primera clase de sensores responde al contacto físico, tal como el tacto, deslizamiento y torsión. Los sensores de no contacto se basan en la respuesta de un detector a las variaciones en la radiación electromagnética o acústica. Los ejemplos más destacados de los sensores de no contacto miden el alcance, la proximidad y las propiedades visuales de un objeto.

Es de interés destacar que la detección de alcance y la visión suelen proporcionar una información de guiado aproximado para un manipulador, mientras que la proximidad y el tacto están asociados con fases terminales de agarre del objeto. Los sensores de fuerza y torsión se utilizan como dispositivos de retroalimentación para controlar la manipulación de un objeto una vez que haya agarrado.

##### 2.2.4.2.1 Detección de alcance.

Un sensor de alcance mide la distancia desde un punto de referencia (que suele estar en el propio sensor) hasta objetos en el campo de operación del sensor. Los seres humanos estiman la distancia por medio de un procesamiento visual estereográfico. Los sensores de alcance se utilizan

para la navegación de robots y para evitar obstáculos, para aplicaciones más detalladas en las que se desean las características de localización y forma en general de objetos en el espacio de trabajo de un robot [7].

➤ Triangulación.

Uno de los métodos más sencillos para medir alcance es mediante técnicas de triangulación. Su funcionamiento consiste en que un objeto se ilumina por un estrecho haz de luz, que barre toda la superficie. El movimiento de barrido está en el plano definido por la línea desde el objeto hasta el detector y por la línea desde el detector hasta la fuente. Si el detector se enfoca sobre una pequeña parte de la superficie, entonces, cuando el detector vea la mancha luminosa, su distancia a la parte iluminada de la superficie puede calcularse a partir de la geometría de la figura, puesto que se conocen el ángulo de la fuente con la línea de base y la distancia entre la fuente y el detector.

El método anterior proporciona una medida puntual. Si la disposición de fuente-detector se desplaza en un plano fijo (hacia arriba y abajo y en sentido lateral en un plano perpendicular al papel y que contenga la línea de la base en la figura), será posible obtener una serie de puntos cuyas distancias desde el detector serán conocidas. Estas distancias se transforman con facilidad en coordenadas tridimensionales manteniendo un registro de la localización y orientación del detector a medida que se exploran los objetos.

➤ Método de iluminación estructural.

Este método consiste en proyectar una configuración de luz sobre un conjunto de objetos y en utilizar la distorsión de la sufrida para calcular el alcance.

Una de las configuraciones de luz de mayor difusión actual es una lámina de luz generada a través de una lente cilíndrica o de una hendidura estrecha. La intersección de la lámina de luz con objetos, en el espacio de trabajo, proporciona una franja de luz que se observa a través de una cámara de televisión desplazada en una cierta distancia desde la fuente de luz. La configuración de franjas se analiza con facilidad por una computadora para tener información del alcance. Por ejemplo una inflexión indica un cambio de superficie y una rotura corresponde a una separación entre superficies. Los valores de alcances específicos se calculan calibrando primero el sistema.

En una de las disposiciones más simples, la fuente de luz es perpendicular a la línea que une el origen de dicha lámina y el centro de la lente de la cámara. Al plano vertical que contiene esta línea le llamaremos plano de referencia. Es evidente que el plano de referencia es perpendicular a la lámina de luz y cualquier superficie de plano vertical que corte producirá una franja vertical de luz, en la que cada punto tendrá la misma distancia perpendicular al plano de referencia. El objetivo de la disposición es situar la cámara de modo que cada una de dichas franjas verticales aparezca también vertical en el plano de la imagen. De esta manera, cada punto a lo largo de la misma columna de la imagen será reconocido como que tiene la misma distancia al plano de referencia.

➤ Telémetro de tiempo de vuelo.

En esta sección se examinan tres métodos para determinar las distancias basadas en el concepto de tiempo de vuelo. Dos de los métodos utilizan un láser, mientras que el tercero está basado en la ultrasónica.

Un método para utilizar un láser para determinar la distancia consistente en medir el tiempo que tarda un pulso de luz emitido para retornar de forma coaxial (es decir, a lo largo de la misma trayectoria) desde una superficie reflectora. La distancia a la superficie viene dada por la simple relación  $D = c T / 2$ , en donde T es el tiempo de tránsito del pulso y c es la velocidad de la luz. Es de interés destacar que, puesto que la luz se desplaza a una velocidad aproximada de 1 pie/ns, la instrumentación electrónica de apoyo debe ser capaz de una resolución de tiempo de 50 PS para poder conseguir una exactitud de  $\pm \frac{1}{4}$  pulgada en distancia.

Un sistema de láser pulsado descrito por Jarvis produce una disposición bidimensional con valores proporcionales a la distancia: la exploración bidimensional con valores proporcionales a la distancia. La exploración bidimensional se realiza desviando la luz láser a través de un espejo giratorio. El margen de trabajo de este dispositivo es del orden de magnitud de 1 a 4 metros, con una exactitud de  $\pm 0.25$ cm. La luz detectada se visualiza como una imagen en la que la intensidad en cada punto es proporcional a la distancia entre el sensor y la superficie reflectora en ese punto (más oscura cuanto más próxima esta). Las zonas brillantes alrededor de los contornos de los objetos representan la discontinuidad en el alcance, determinada mediante un postprocesamiento en una computadora.

Una alternativa a la luz pulsada es utilizar un láser de haz continuo y medir el retardo (es decir, el desplazamiento de fase) entre los haces saliente y de retorno. Supóngase que un haz de luz de láser de longitud de onda l está dividido en dos haces. Uno de ellos denominado haz de referencia se desplaza una distancia L de un dispositivo de medición de fase y el otro se desplaza a una distancia D de una superficie reflectora. Puesto que la longitud de onda de la luz láser es pequeña (por ejemplo, 632.8 nm para un láser de helio-neón), el método no resulta práctico para las aplicaciones robóticas. Una solución simple a este problema es modular la amplitud de la luz de láser utilizando una forma de onda de longitud de onda mucho mayor (por ejemplo, una onda sinusoidal moduladora de frecuencia  $f = 10$ Mhz tiene una longitud de 30 metros). Pero la señal de referencia es ahora la función modulante. La señal de láser modulada se envía al banco y el haz de retorno de la señal moduladora, que luego se compara con la de referencia para determinar el desplazamiento de fase.

Una ventaja importante en la técnica de la luz continua frente a la luz pulsada es que la primera proporciona información de la intensidad y del alcance. Sin embargo, los sistemas continuos exigen una potencia considerablemente mayor. Las incertidumbres en las mediciones de la distancia obtenidas por una u otra técnica exigen promediar la señal de retorno para reducir el error.

Un telémetro ultrasónico es otro exponente importante del concepto del tiempo de vuelo. La idea básica es la misma que se utiliza con un láser pulsado. Una señal ultrasónica se transmite durante un corto período de tiempo y, puesto que la velocidad de sonido se conoce para un medio de propagación especificado, un simple cálculo, que implica el intervalo de tiempo entre el impulso saliente y el eco de retorno como proporciona una estimación de la distancia a la superficie reflectora. Se utilizan principalmente para navegación y para evitar obstáculos.

### 2.2.4.2.2 Detección de proximidad.

Los sensores de proximidad suelen tener una salida binaria que indica la presencia de un objeto dentro de un intervalo de distancia especificado. En condiciones normales, los sensores de proximidad se utilizan en robótica para un trabajo en campo cercano en relación a agarrar o evitar un objeto.

#### ➤ Sensores inductivos.

Los sensores basados en un cambio de inductancia debido a la presencia de un objeto metálico están entre los sensores de proximidad industriales de más frecuente uso.

El principio de funcionamiento de estos sensores (véase Fig 2.16) consiste fundamentalmente en una bobina arrollada, situada junto a un imán permanente empaquetado en un receptáculo simple y robusto. El efecto de llevar el sensor a la proximidad de un material ferromagnético produce un cambio en la posición de las líneas de flujo del imán permanente según se indica en la figura. En condiciones estáticas no hay ningún movimiento en las líneas de flujo y, por consiguiente, no se induce ninguna corriente en la bobina. Sin embargo, cuando un objeto ferromagnético penetra en el campo del imán o lo abandona, el cambio resultante en las líneas de flujo induce un impulso de corriente, cuya amplitud y forma son proporcionales a la velocidad de cambio de flujo.



Fig. 2.16. Sensor inductivo.

La forma de onda de la tensión, observada a la salida de la bobina, proporciona un medio efectivo para la detección de proximidad. La tensión medida a través de la bobina varía como una función de la velocidad a la que un material ferromagnético se introduce en el campo del imán. La polaridad de la tensión, fuera del sensor, depende de que el objeto este penetrando en el campo abandonándolo.

Existe una relación entre la amplitud de la tensión y la distancia sensor-objeto. La sensibilidad cae rápidamente al aumentar la distancia, y el sensor sólo es eficaz para fracciones de un milímetro.

Puesto que el sensor requiere movimiento para generar una forma de onda de salida, un método para producir una señal binaria es integrar esta forma de onda. La salida binaria se

mantiene a nivel bajo en tanto que el valor integral permanezca por debajo de un umbral especificado, y luego se conmuta a nivel alto (indicando la proximidad de un objeto) cuando se supera el umbral.

➤ **Sensores de efecto Hall.**

El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través del material. Cuando se utilizan por sí mismos, los sensores de efecto Hall (véase Fig 2.17) sólo pueden detectar objetos magnetizados. Sin embargo, cuando se emplean en conjunción con un imán permanente son capaces de detectar todos los materiales ferromagnéticos. Cuando se utilizan de dicha manera, un dispositivo de efecto Hall detecta un campo magnético intenso en ausencia de un material ferromagnético en el campo cercano.



Fig. 2.17. Sensor efecto Hall.

Cuando dicho material se lleva a la proximidad del dispositivo, el campo magnético se debilita en el sensor debido a la curvatura de las líneas del campo a través del material.

Los sensores de efecto Hall están basados en el principio de una fuerza de Lorentz que actúa sobre una partícula cargada que se desplaza a través de un campo magnético. Esta fuerza actúa sobre un eje perpendicular al plano establecido por la dirección de movimiento de la partícula cargada y la dirección del campo.

➤ **Sensores capacitivos.**

A diferencia con los sensores inductivos y de efecto Hall que detectan solamente materiales ferromagnéticos, los sensores capacitivos son potencialmente capaces (con diversos grados de sensibilidad) de detectar todos los materiales sólidos y líquidos. Como su nombre indica, estos sensores están basados en la detección de un cambio en la capacidad inducido por una superficie que se lleva cerca del elemento sensor.

El elemento sensor es un condensador constituido por un electrodo sensible y un electrodo de referencia. Estos electrodos pueden ser, por ejemplo, un disco y un anillo metálicos separados por un material dieléctrico. Una cavidad de aire seco se suele colocar detrás del elemento capacitivo para proporcionar aislamiento. El resto del sensor está constituido por

circuitos electrónicos que pueden incluirse como una parte integral de la unidad, en cuyo caso suelen estar embebidos en una resina para proporcionar soporte mecánico y sellado. En la Fig 2.18 se puede observar un ejemplo de sensor capacitivo.



Fig. 2.18. Sensor capacitivo.

#### ➤ Sensores ultrasónicos.

La respuesta de todos los sensores de proximidad hasta ahora examinados depende, en gran medida, del material objeto de la detección. Esta dependencia puede reducirse mucho utilizando sensores ultrasónicos (véase Fig 2.19).



Fig. 2.19. Sensor ultrasónico.

En la estructura de un transductor ultrasónico típico utilizado para detección de proximidad el elemento básico es un transductor electroacústico, frecuentemente del tipo cerámico piezoeléctrico. La capa de resina protege al transductor contra la humedad, polvo y otros factores ambientales y también actúa como un adaptador de impedancia acústica. Puesto que el mismo transductor se suele utilizar para la transmisión y la recepción, un amortiguamiento rápido de la energía acústica es necesario para detectar objetos a pequeña distancia. Esta operación se realiza proporcionando absorbedores acústicos y desacoplando el transductor de su receptáculo. Este último está diseñado de modo que produzca un haz acústico estrecho para una eficaz transferencia de energía y una mejor direccionalidad de la señal.

### ➤ Sensores de proximidad ópticos.

Los sensores de proximidad ópticos son similares a los sensores ultrasónicos en el sentido de que detectan la proximidad de un objeto por su influencia sobre una onda propagadora que se desplaza desde un transmisor hasta un receptor. Este sensor está constituido por un diodo emisor de luz de estado sólido (LED), que actúa como un transmisor de luz infrarroja y un fotodiodo de estado sólido que actúa como el receptor. En la Fig 2.20 se puede ver un ejemplo de sensor de proximidad óptico.

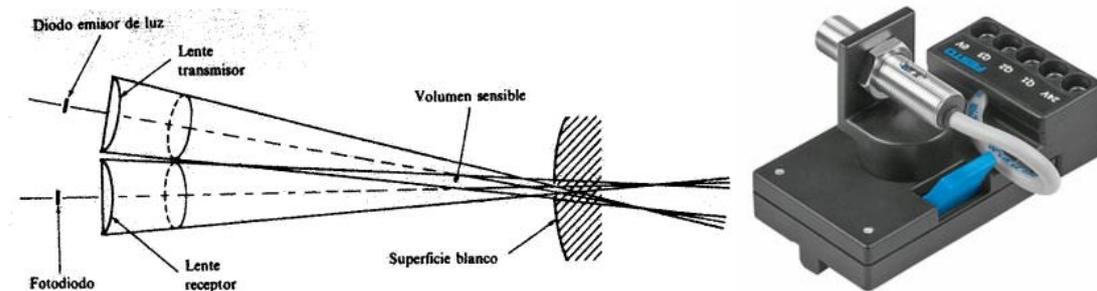


Fig. 2.20. Sensor de proximidad óptico.

Los conos de luz formados enfocando la fuente y el detector en el mismo plano se intersecan en un volumen largo en forma de lápiz. Este volumen define el campo de operación del sensor, puesto que una superficie reflectora que interseca el volumen se ilumina por la fuente y es vista simultáneamente por el receptor.

#### 2.2.4.2.3 Sensores de contacto.

Estos sensores se utilizan en robótica para obtener información asociada con el contacto entre una mano manipuladora y objetos en el espacio de trabajo. Cualquier información puede utilizarse, por ejemplo, para la localización y el reconocimiento del objeto, así como para controlar la fuerza ejercida por un manipulador sobre un objeto dado. Los sensores de contacto pueden subdividirse en dos categorías principales:

### ➤ Sensores binarios.

Los sensores binarios son dispositivos de contacto tales como micro interruptores. En la disposición más simple, un conmutador está situado en la superficie interior de cada dedo de una mano de manipulación. Este tipo de detección es de utilidad para determinar si una pieza está presente entre los dedos. Desplazando la mano sobre un objeto y estableciendo secuencialmente contacto con la superficie, también es posible centrar la mano sobre el objeto para su agarre y manipulación.

Sensores de contacto binarios múltiples pueden emplearse, en la superficie interior de cada dedo, para proporcionar información táctil. Además, suelen estar montados en las superficies exteriores de una mano de manipulación para proporcionar señales de control de utilidad para guiar la mano a través de todo el espacio de trabajo. Este último modo de detección por contacto

es análogo al que los seres humanos sienten cuando se desplazan a través de un recinto completamente oscuro.

➤ **Sensores analógicos.**

Un sensor de contacto analógico es un dispositivo cuya salida es proporcional a una fuerza local. El más simple de estos dispositivos está constituido por una varilla accionada por resorte que esta mecánicamente enlazada con un eje giratorio, de tal manera que el desplazamiento de la varilla debido a una fuerza lateral da lugar a una rotación proporcional del eje. La rotación se mide luego, de manera continua, utilizando un potenciómetro, o de forma digital, con el uso de una rueda de código. El crecimiento de la constante del resorte proporciona la fuerza que corresponde a un desplazamiento dado.

#### 2.2.4.2.4 Detección de fuerza y torsión.

Los sensores de fuerza y de torsión se utilizan principalmente para medir las fuerzas de reacción desarrolladas en la superficie de separación entre conjuntos mecánicos. Los métodos principales para realizar esta operación son los de detección de:

➤ **Articulación.**

Un sensor de articulación mide los componentes cartesianos de la fuerza y de la torsión que actúan sobre una articulación de robot y la suma de forma vectorial. Para una articulación impulsada por un motor de corriente continua, la detección se realiza simplemente midiendo la corriente del inducido.

➤ **Muñeca.**

Los sensores de muñeca están montados entre la extremidad de un brazo del robot y el actuador final. Están constituidos por galgas de deformaciones que miden la desviación de la estructura mecánica debida a fuerzas exteriores. Los sensores de muñeca son pequeños, sensibles, de poco peso y de un diseño relativamente compacto, del orden de 10 cm de diámetro total y de 3cm de espesor. Para poder reducir la histéresis y aumentar la exactitud en la medida, el hardware se suele construir a partir de una pieza mecánica maciza, que suele ser de aluminio. Por ejemplo, el sensor mostrado en la Fig 2.21 utiliza ocho pares de galgas de deformaciones de semiconductores montadas en cuatro barras de deflexión (una galga a cada lado de una barra de deflexión).

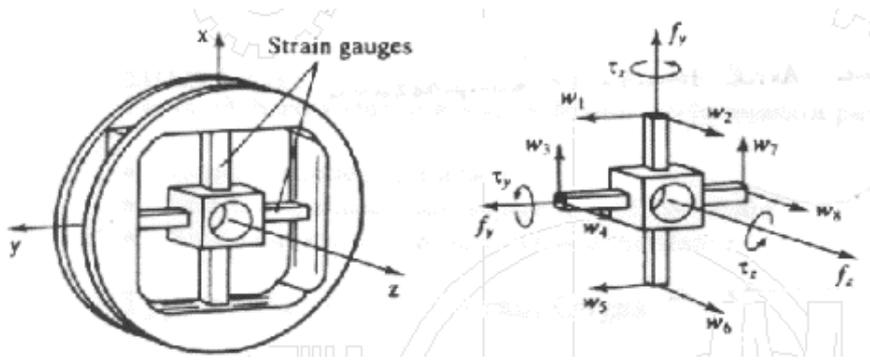


Fig. 2.21. Representación de fuerzas en la muñeca.

Las galgas en los extremos abiertos opuestos de las barras de deflexión están cableadas, de manera diferencial, a un circuito potenciométrico, cuya tensión de salida es proporcional a la componente de la fuerza normal al plano de la galga de deformación.

La conexión diferencial de las galgas de deformación proporciona una compensación automática de las variaciones en la temperatura. Sin embargo, se trata solamente de una compensación de primer orden aproximada. Puesto que los ocho pares de galgas de deformación están orientados en sentido normal a los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  del sistema de referencia, las tres componentes del momento  $M$  pueden determinarse sumando y restando adecuadamente las tensiones de salida, respectivamente.

La mayoría de los sensores de fuerza de muñeca funcionan como transductores para transformar las fuerzas y los momentos ejercidos en la mano en desviaciones o desplazamientos medibles en la muñeca generados por el sensor de fuerza no afecten a la exactitud del posicionamiento del manipulador.

Por consiguiente, las especificaciones del rendimiento pueden resumirse como siguen:

- *Alta rigidez.* La frecuencia natural de un dispositivo mecánico está relacionada con su rigidez; así, la alta rigidez asegura que las fuerzas perturbadoras se amortigüen rápidamente para permitir lecturas exactas durante cortos intervalos de tiempo. Además, reduce la magnitud de las desviaciones de una fuerza / momento aplicado, lo que puede añadirse al error de posicionamiento de la mano.
- *Diseño compacto.* Este diseño asegura que el dispositivo no restrinja el movimiento del manipulador en un área de trabajo con poco espacio libre. Con el sensor de fuerza compacto, es importante colocar el sensor lo más próximo posible a la herramienta para reducir el error de posicionamiento como consecuencia del giro de la mano en pequeños ángulos. Además, es deseable medir una fuerza / momento de la mano lo más grande posible; así, al hacer mínima la distancia entre la mano y el sensor, se reduce el brazo de la palanca para las fuerzas aplicadas en la mano.
- *Linealidad.* Una buena linealidad entre la respuesta de los elementos detectores de la fuerza y las fuerzas / momentos aplicados permite resolver la fuerza y los momentos mediante simples operaciones matriciales.

- *Baja histéresis y rozamiento interno.* El rozamiento interno reduce la sensibilidad de los elementos detectores de la fuerza porque las fuerzas tienen que superar este rozamiento, o fricción, antes de que pueda obtenerse una desviación medible.

Produce también efectos de histéresis que no restablecen los dispositivos de medida de la posición a sus lecturas originales.

En la Fig 2.22 se puede observar el sensor de fuerza par como el utilizado en la aplicación desarrollada en el proyecto.



Fig. 2.22. Sensor JR3 85M35A3.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

#### 3.1. Introducción.

Como se ha descrito en puntos anteriores, la aplicación que se ha desarrollado trata de permitir e interpretar la comunicación entre un sensor de fuerza par JR3 y un robot manipulador ABB.

Mediante la modificación del software proporcionado por JR3 para la adquisición de los datos obtenidos por el sensor se crea una comunicación TCP/IP encargada de enviar los valores recogidos al robot ABB mediante el IRC5. En la Fig 3.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema indicando de qué manera se realiza la comunicación.

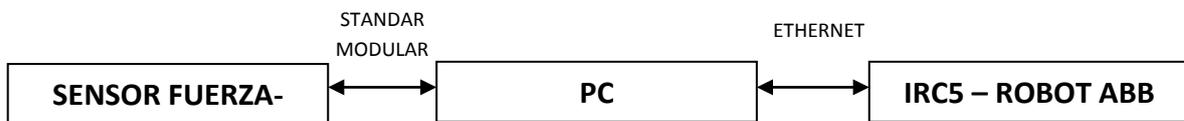


Fig. 3.1. Diagrama de bloques del sistema.

La comunicación entre las distintas partes se pueden dividir en:

- Comunicación mediante cable standar modular para extraer los datos recogidos por el sensor. Esta parte la proporciona JR3 mediante su software.
- Comunicación TCP/IP para enviar los datos al controlador del robot ABB.

Mediante la tarjeta de red de la que dispone el PC y la tarjeta PCI que se instala para recoger los datos del sensor se realizan las comunicaciones necesarias.

### 3.2. Arquitectura hardware.

En la Fig. 3.2 se puede ver representada la arquitectura hardware utilizada en el sistema para realizar las comunicaciones y resolver la aplicación.

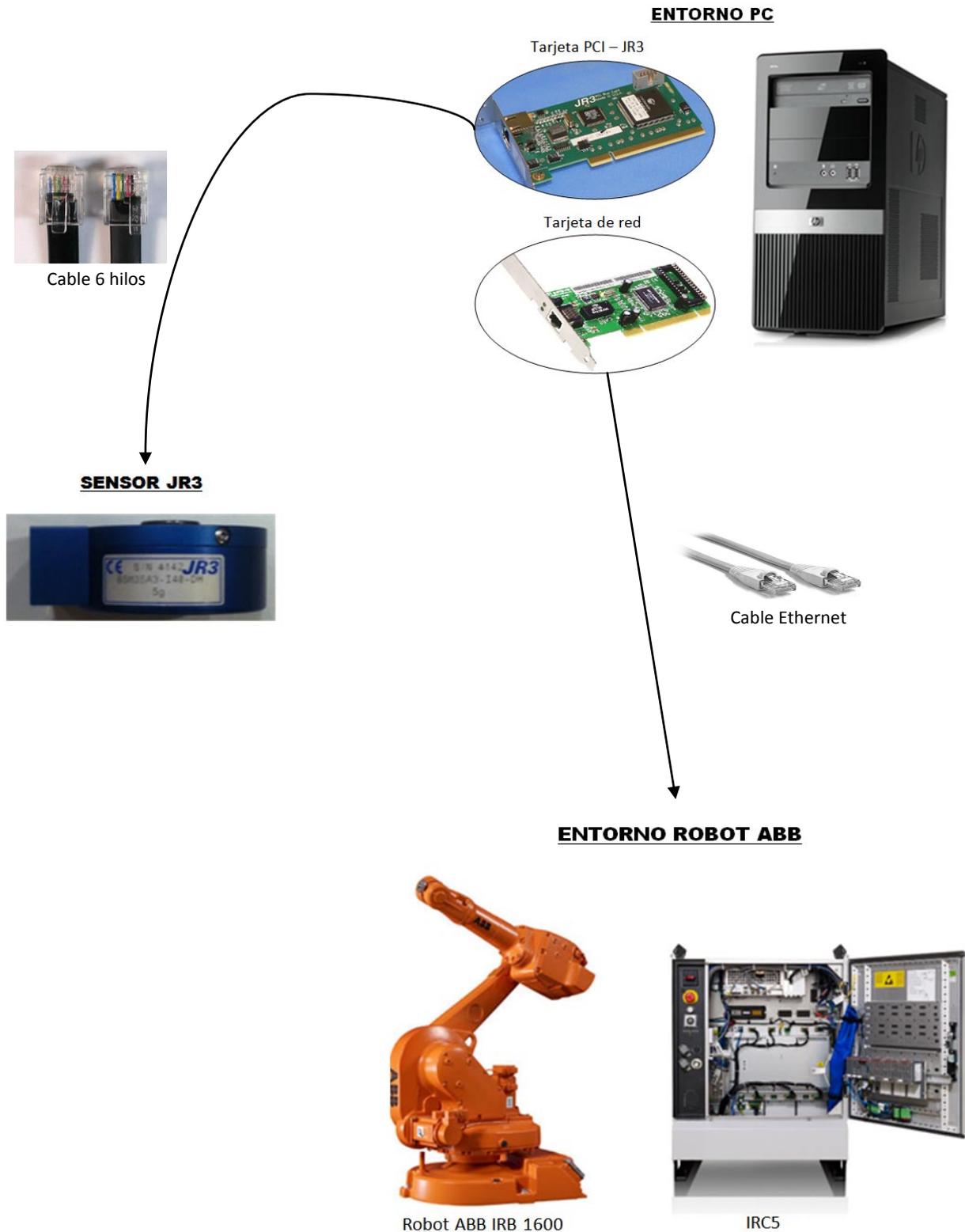


Fig. 3.2. Arquitectura hardware.

### 3.2.2. Robot ABB IRB 1600.

La célula de trabajo utilizada está formada por un robot ABB IRB 1600 [4]. Se trata de un robot de 6 ejes diseñado específicamente para industrias de fabricación que utilizan la automatización basada en robots. En la Fig.3.3 se muestra el robot ABB IRB 1600.



Fig. 3.3. Robot ABB IRB 1600.

Este robot está diseñado para trabajar de manera óptima en tareas como soldadura por arco, fundición a presión, montaje y embalaje, etc.

Construido en la segunda generación de TrueMove y QuickMove, mejora de manera sustancial la precisión de la trayectoria. También, mediante software se supervisa la carga interna del robot, evitando así situaciones de sobrecarga que permitirá alargar la vida útil del robot.

#### 3.2.2.2 Características generales.

De las características generales del robot ABB IRB 1600 se pueden destacar:

- Su construcción robusta y el uso de pocos componentes hace que sea un robot muy fiable y con pocas necesidades de mantenimiento.
- Debido a mejoras en el software, se ha reducido el tiempo de ciclo con respecto a versiones anteriores.
- Permitiendo una carga útil de entre 6 y 8 kg (hasta 12 kg con muñeca hacia abajo), hacen que el robot IRB 1600 sea el más fuerte de su clase.
- Flexible en su integración y producción permitiéndole así ser instalado en paredes, suelos, posiciones invertidas o inclinadas (véase Fig 3.4).



Fig. 3.4. Posiciones de trabajo disponibles para el robot ABB IRB 1600.

### 3.2.2.3 Ejes del manipulador.

En la siguiente Fig 3.5 se pueden ver cada uno de los 6 ejes del manipulador IRB 1600.

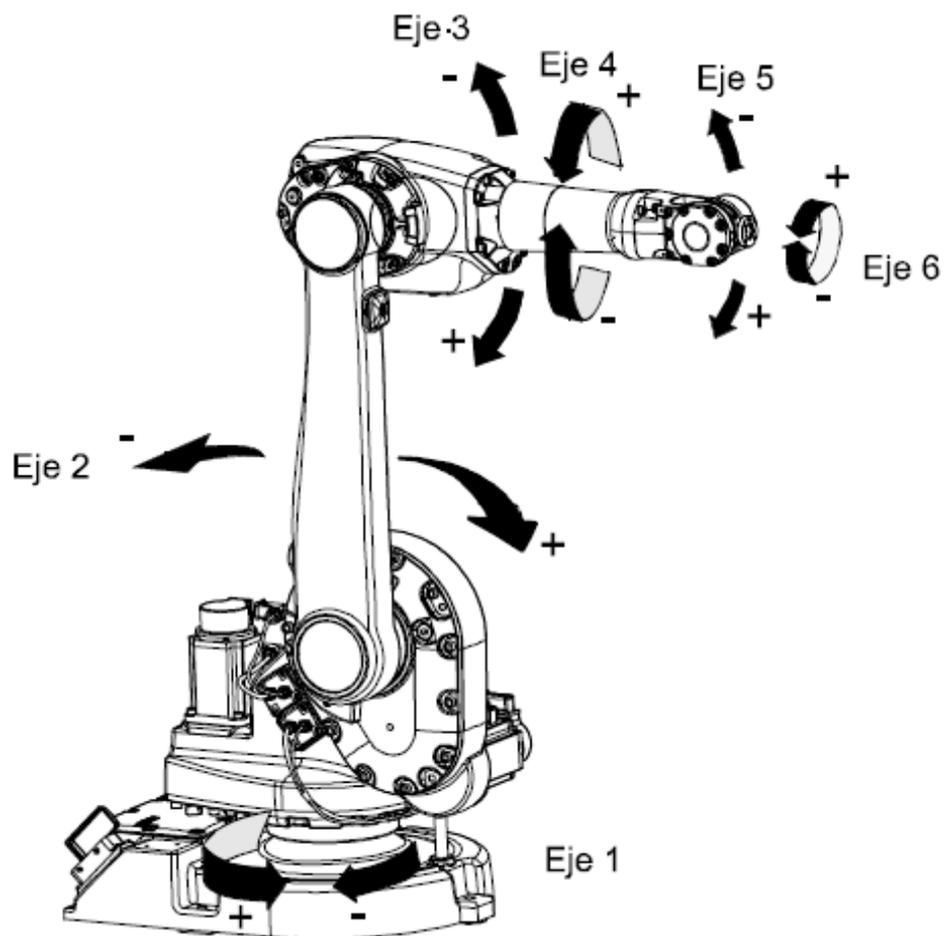


Fig. 3.5. Ejes del manipulador IRB 1600.



### 3.2.2.5 Rango de movimientos.

En la Tabla 3 1 se muestran los distintos rangos de movimientos que permiten cada uno de los 6 ejes del robot ARR IRB 1600.

Eje	Rango de movimiento
1	+180° a -180°
2	+136° a -63°
3	+55° a -235°
4	+200° a -200°
5	+115° a -115°
6	+400° a -400°

Tabla 3 1. Rangos de movimiento en robot ABB IRB 1600.

### 3.2.2.6 Velocidad.

La máxima velocidad de giro de cada eje se muestra en la Tabla 3 2.

Eje	Máxima velocidad de giro
1	150°/s
2	150°/s
3	150°/s
4	360°/s
5	360°/s
6	450°/s

Tabla 3 2. Tabla de velocidades máximas del robot.

La supervisión es necesaria para evitar el sobrecalentamiento en aplicaciones con movimientos intensos y frecuentes.

### 3.2.2.7 Rango de trabajo.

El robot ABB IRB 1600, como cualquier otro tiene unas limitaciones en sus movimientos debido a su morfología. En la Fig 3.7 se pudo observar el rango de trabajo de este modelo con todos sus alcances en cada una de sus posiciones extremas.

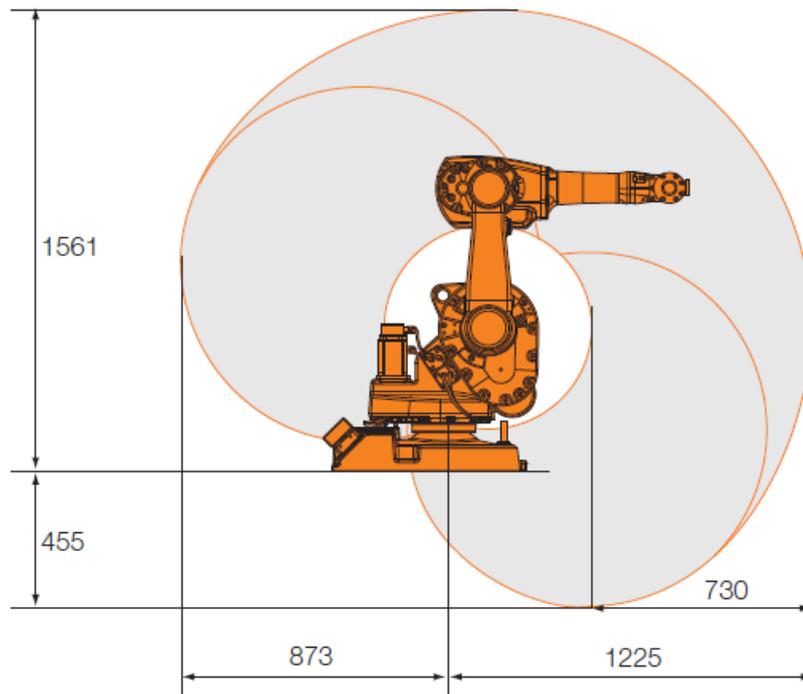


Fig. 3.7. Rango de trabajo – Robot ABB IRB 1600.

### 3.2.2.8 Diagrama de carga.

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

A continuación, en la Fig 3.8, 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. Las distancias están representadas en metros.

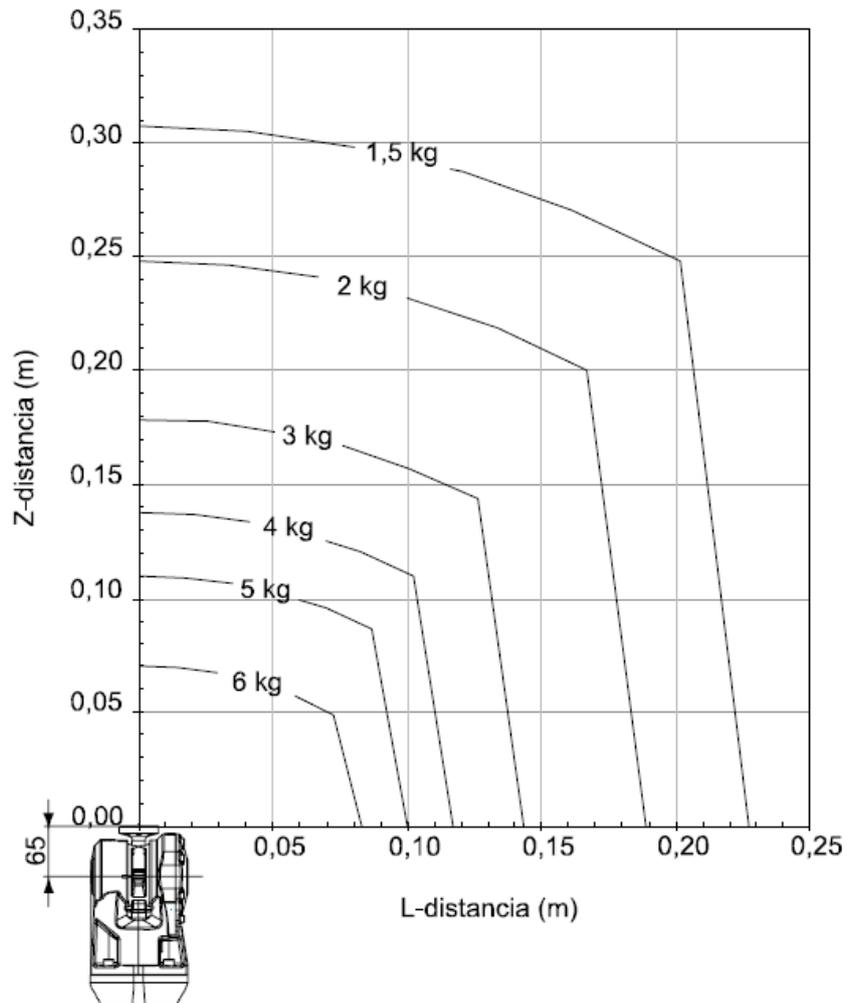


Fig. 3.8. Diagrama de carga.

### 3.2.2.9 Posiciones extremas del manipulador.

En la Fig 3.9 siguiente se pueden ver las posiciones extremas que permite el robot manipulador ABB IRB 1600.

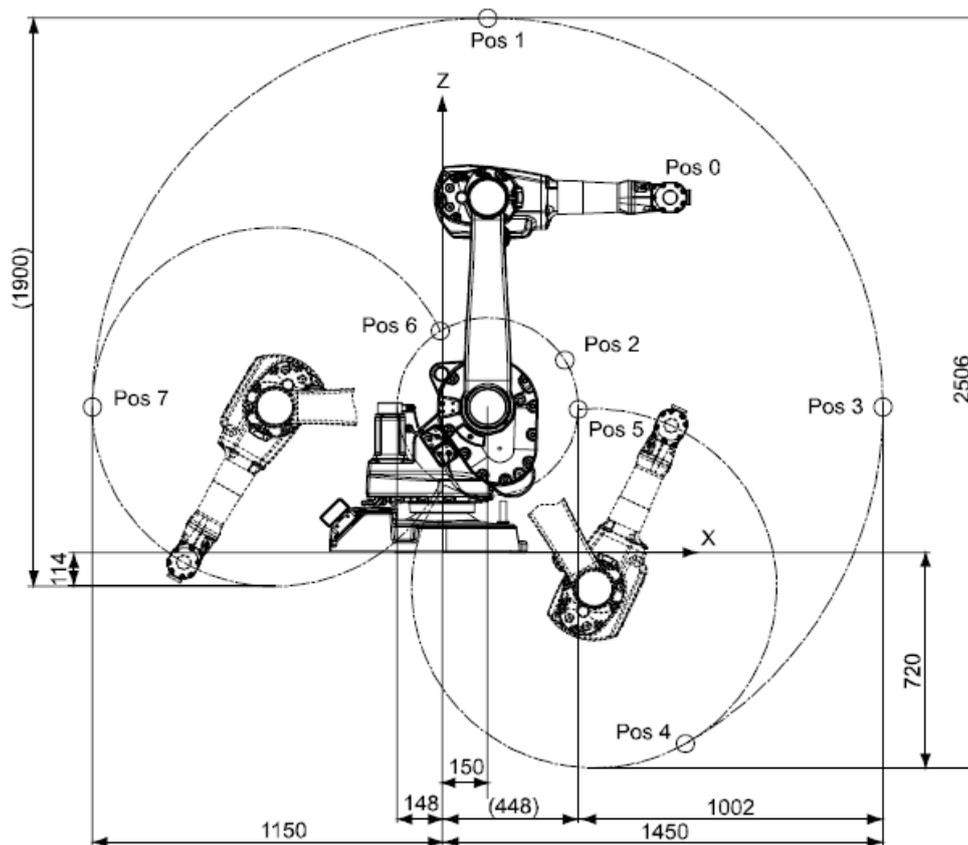


Fig. 3.9. Posiciones extremas del robot.

### 3.2.2.10 Controlador IRC5 de robot ABB IRB 1600.

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.**

Contiene el sistema de accionamiento que proporciona la energía necesaria a los motores.

➤ **Módulo de control.**

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 Fig 3.1, es el elemento donde se localizan tanto los mandos de control del IRC5 accesibles por el usuario, como elementos auxiliares de comunicación temporización, etc.

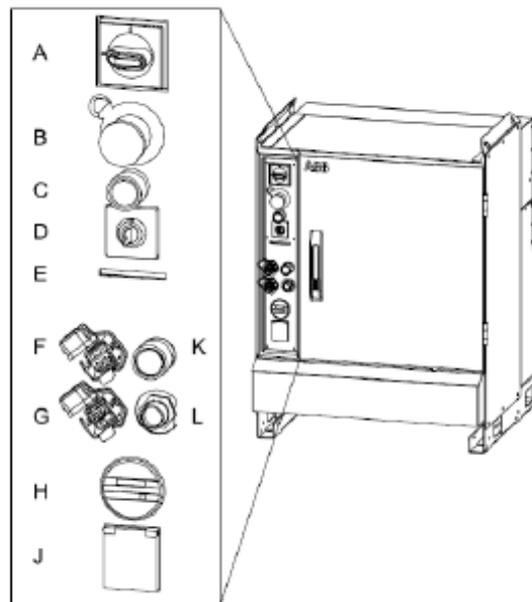


Fig. 3.1. Panel de control del IRC5.

En la siguiente Tabla 33 se muestra una lista de los elementos señalados en la Fig 3.1 y posteriormente se procederá a su explicación detallada:

A	Interruptor principal
B	Paro de emergencia
C	Motores ON
D	Selector de modo
E	LEDs de la cadena de seguridad (opción)
F	Puerto USB (opción)
G	Puerto de servicio para PC (opción)
H	Contador de tiempo de funcionamiento (opción)
J	Toma de servicio 115/230 V, 200 W (opción)
K	Botón de conexión en caliente (opción)
L	Conector para FlexPendant

Tabla 3 3. Definición panel de control IRB5.

➤ **Motores ON.**

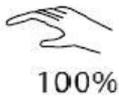
Es una luz que nos indica el estado de los motores. Si está encendida permanentemente, quiere decir que está listo para la ejecución de programas. Si parpadea quiere decir que se ha activado uno de los paros de protección, el robot no está calibrado o los cuentarrevoluciones no están actualizados.

➤ **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 como veremos más adelante.

➤ **Conexión USB.**

Mediante este conector podremos cargar programas en el controlador usando una memoria extraíble.

### 3.2.2.11 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 como se puede ver en la Fig 3.2.



Fig. 3.2. Flexpendant.

En la siguiente Tabla 34 se muestra una lista de los elementos señalados en la Fig 3.2 y posteriormente se procederá a su explicación detallada:

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

Tabla 3 4. Definición botones Flexpendant.

#### 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.

### 3.2.2.11.1 Detalle del menú del FlexPendant.

#### ➤ Barra de estado.

En la Fig 3.3 se muestra la barra de estado de FlexPendant.

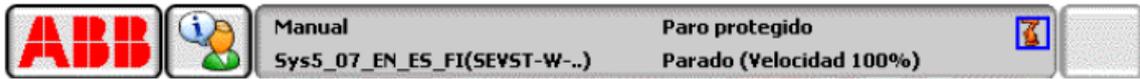


Fig. 3.3. Barra de estado – FlexPendant.

En ella se muestra el modo de funcionamiento (Auto, Manual, Manual a velocidad máxima), el nombre del controlador, el estado de los motores y el estado de ejecución en el que se encuentra el robot, parado (Stopped) o en movimiento (Running), junto con la velocidad de ejecución.

#### ➤ Menú de configuración rápida.

En el menú de configuración rápida, mostrado en la Fig 3.4, se puede modificar la velocidad, el modo de ejecución (Un solo ciclo o Continuo), incrementos en los movimientos, etc.

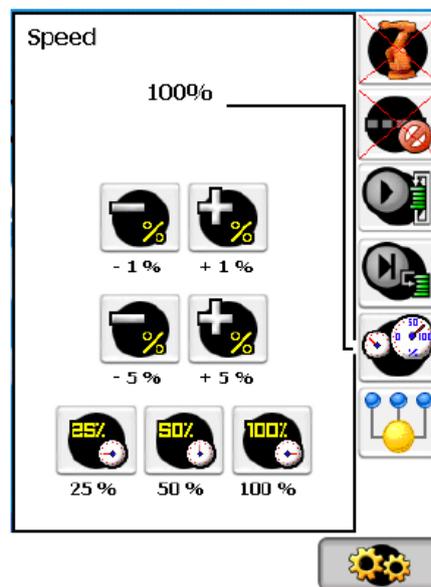


Fig. 3.4. Menú de configuración rápida.

➤ **Menú ABB.**

En la Fig 3.5 se muestra el Menú ABB en el cual se pueden ver y simular las Entradas/Salidas, mover los ejes del robot, editar los programas RAPID y los datos de programa, realizar backups y restaurar desde éstos, calibrar el robot actualizando el cuentarrevoluciones, tener acceso al panel de control y al explorador de archivos de FlexPendant.

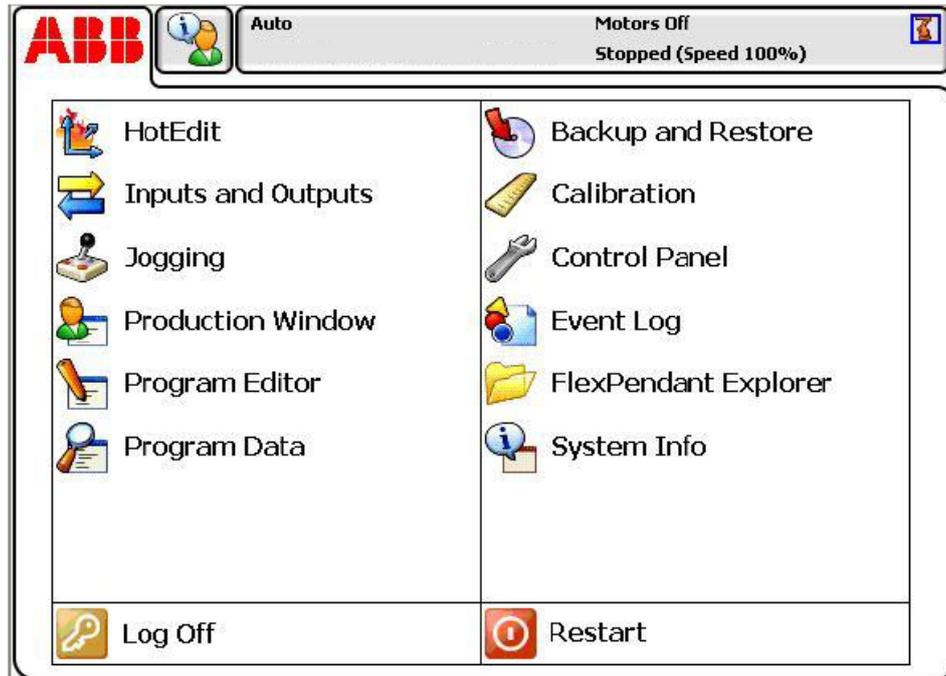


Fig. 3.5. Menú ABB.

Otra función importante del Menú ABB es el Reinicio. Hay muchos tipos de reinicio:

- Arranque W (reinicio en caliente) – utilizado para reiniciar y seguir usando el sistema actual. Todos los parámetros del sistema y programas se guardan en un archivo de imagen. Durante el proceso de reinicio, se reanuda el estado del sistema. Las tareas estáticas y semiestáticas se inician. Es posible iniciar los programas desde el punto en que fueron detenidos.
- Arranque C (reinicio en frío) – Si se quiere cambiar a otro sistema instalado o instalar un nuevo sistema y, al mismo tiempo, eliminar de la memoria el sistema actual. Todo el contenido, las copias de seguridad y los programas del directorio del sistema se eliminarán. Esto significa que será imposible reanudar el estado de este sistema de ninguna forma.
- P-Start - Elimina todos los programas de RAPID cargados por el usuario.
- I-Start - Reinicio de la instalación.
- B-Start - Reinicio desde datos de sistema almacenados previamente.

### 3.2.3. Sensor JR3 85M35A3.

Se trata de un sensor de fuerza par fabricado principalmente de aluminio aunque también se puede encontrar en acero inoxidable o titanio. Contiene sistemas analógicos y digitales que forman su electrónica interna así como las galgas encargadas de medir la deformación en cada uno de los ejes. Las señales leídas son amplificadas para convertirse en representaciones analógicas. La mayoría de los modelos tratan esta información analógica convirtiéndola en digital para su mejor interpretación. En la Fig 3.6 se muestra el sensor JR3 utilizado.



Fig. 3.6. Sensor JR3 85M35A3.

Los distintos modelos proporcionados por el fabricante permiten ejercer sobre ellos diferentes esfuerzos de carga. Dependiendo de los esfuerzos que el sensor tenga que soportar, JR3 tiene a disposición de sus clientes numerosos modelos de mayor y menor tamaño que permiten ajustarse a cada una de las necesidades.

En este proyecto has sido necesario realizar el diseño y fabricación de unos acoples para la instalación hardware del sensor. Todo el desarrollo y diseño de dichos acoples se encuentra descrito en el tomo II del proyecto.

En la Fig 3.7 se puede ver la orientación de los ejes en este tipo de sensores.

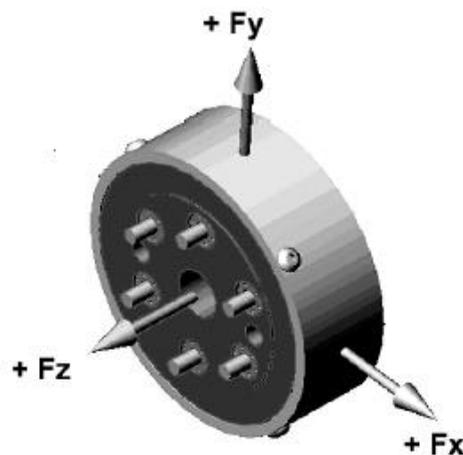


Fig. 3.7. Dirección de los ejes en sensor JR3 85M35A3.

### 3.2.3.2 Dimensiones.

En la Fig 3.8 se pueden observar las medidas del sensor JR3 modelo 85M35A3. Los valores de medida los proporciona el fabricante y en este caso se encuentran en pulgadas.

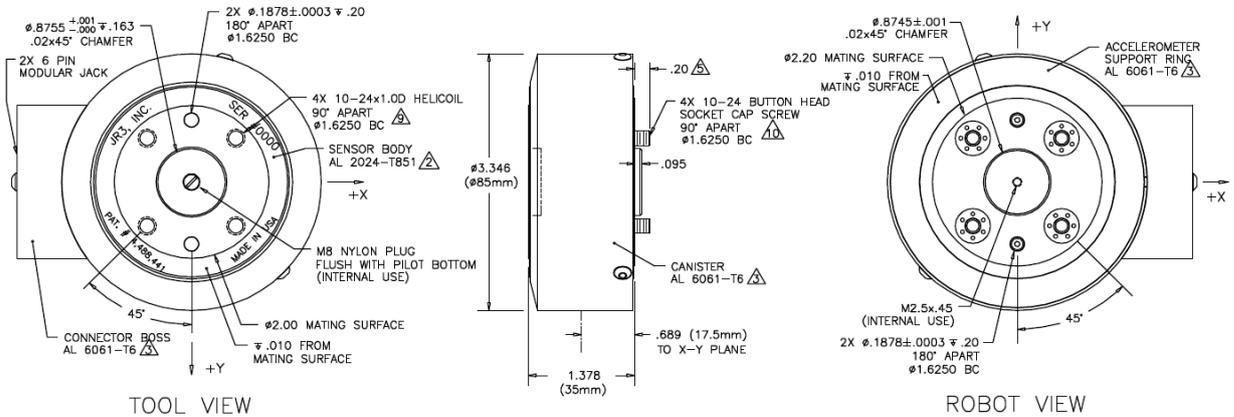


Fig. 3.8. Dimensiones sensor JR3 85M35A3.

### 3.2.3.3 Interfaz electrónico

El sensor de JR3 que se utiliza en este proyecto proporciona una salida digital en un formato síncrono. Todas las señales analógicas así como el A/D esta incluidos en el interior del cuerpo del sensor, protegido de las interferencias electromagnéticas gracias al componente metálico de su carcasa. Los datos que se generan por la acción de las cargas se transmiten a 8 KHz, pudiendo otros sensores de la gama transmitir a otras frecuencias. En la Fig 3.9 se observa el cable utilizado para comunicación del sensor con el PC.

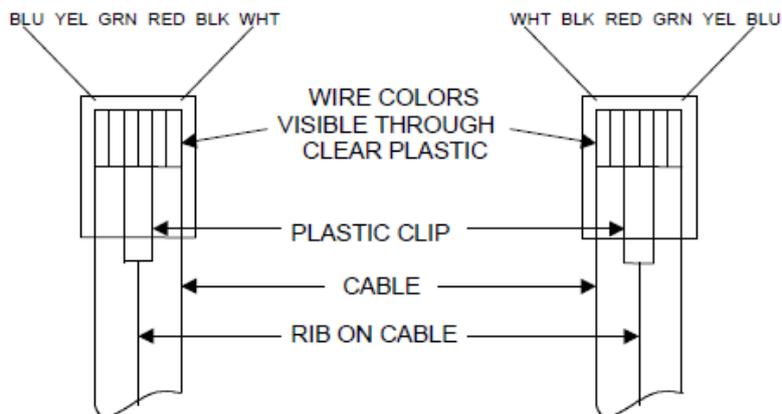


Fig. 3.9. Cable del sensor.

No obstante, además de los datos también se envía información de la corriente de alimentación del sensor, así como información de las características del sensor y de la calibración, lo que permite no tener que estar calibrando o ajustando el circuito receptor. En el caso del sensor que se está utilizando, el conector es un RJ-11 de 6 pins como el de la Fig 3.9.

La asignación de pins es tal y como se indica en la Tabla 35.

PIN	SIGNAL
1	DCLK +
2	DCLK -
3	+ ~ 8 V
4	PWR COM
5	DATA +
6	DATA -

Tabla 3 5. Asignación de pins.

Como es habitual en los sistemas electrónicos la tierra del sensor y la del sistema de adquisición de datos debe ser la misma, para evitar que el no compartir tierra pueda ocasionar problemas a la hora de interpretar los datos.

Existe una amplia gama de sistemas de recepción y procesamiento de datos que reciben los datos en serie desde el sensor y proporcionan los valores de la carga en el formato que se desee. Existen diferentes sistemas que permiten una conexión directa con el ordenador ya sea por los puertos serie o paralelo.

#### 3.2.3.4 Matriz de calibración.

Todos los sensores multiejes tienen un cierto grado de acoplamiento, lo que quiere decir que un momento o una carga en un determinado eje produce una cierta carga en los otros ejes. Cada sensor de JR3 está calibrado individualmente con cargas aplicadas en cada eje.

Los datos de calibración se utilizan para generar una matriz de calibración y desacoplamiento, que es utilizada para convertir los voltajes de salida en una fuerza o en un momento en las unidades deseadas.

En el caso del sensor que se está utilizando, al ser de salida digital, almacena los datos de salida en una memoria no volátil, y cuando el sensor es conectado al receptor, los datos son transferidos automáticamente descargándose en los primeros segundos de operación. Después de eso el receptor aplica la matriz de calibración a los datos que se van recibiendo sin intervención del usuario.

La matriz de calibración se aplica tal y como se indica en la Fig 3.10.

$$\begin{array}{l}
 Fx \\
 Fy \\
 Fz \\
 Mx \\
 My \\
 Mz
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 A_{1,1} & A_{1,2} & A_{1,3} & A_{1,4} & A_{1,5} & A_{1,6} \\
 A_{2,1} & A_{2,2} & A_{2,3} & A_{2,4} & A_{2,5} & A_{2,6} \\
 A_{3,1} & A_{3,2} & A_{3,3} & A_{3,4} & A_{3,5} & A_{3,6} \\
 A_{4,1} & A_{4,2} & A_{4,3} & A_{4,4} & A_{4,5} & A_{4,6} \\
 A_{5,1} & A_{5,2} & A_{5,3} & A_{5,4} & A_{5,5} & A_{5,6} \\
 A_{6,1} & A_{6,2} & A_{6,3} & A_{6,4} & A_{6,5} & A_{6,6}
 \end{bmatrix}
 \times
 \begin{bmatrix}
 C1 \\
 C2 \\
 C3 \\
 C4 \\
 C5 \\
 C6
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 Fx \\
 Fy \\
 Fz \\
 Mx \\
 My \\
 Mz
 \end{bmatrix}$$

Fig. 3.10. Matriz de calibración.

En el caso de resolver la ecuación manualmente sería más complicado dado que habría que resolver las ecuaciones una a una.

### 3.3. Arquitectura Software.

#### 3.3.1. Introducción.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se han utilizado el siguiente software:

- Para la modificación y desarrollo del software encargado de la adquisición, trato y envío de los datos al controlador del robot ABB se ha utilizado Visual Studio 2008 (C++).
- Para el desarrollo del software encargado la recepción y trato de los datos así como la realización de los movimientos en el controlador del robot ABB se ha utilizado RobotStudio.
- Por último, nombrar el software base utilizado que proporciona JR3 para la lectura de los datos del sensor fuerza-par.

#### 3.3.2. Visual Studio 2008

Microsoft Visual Studio 2008 es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para sistemas operativos Windows que permite crear aplicaciones, sitios y servicios web.

Este programa se puede encontrar en diferentes versiones diferenciándose en el lenguaje que utiliza. Principalmente se pueden utilizar los siguientes:

- Visual Basic Express Edition.
- Visual C# Express Edition.
- Visual C++ Express Edition.

Para la realización de este proyecto se dispuso del Microsoft Visual C++ Express Edition 2008.

La gama de productos de Visual Studio comparte un único entorno de desarrollo integrado (IDE) que se compone de varios elementos: la barra de herramientas Menú, barra de herramientas Estándar, varias ventanas de herramientas que se acoplan u ocultan automáticamente a la izquierda, parte inferior y a la derecha, así como en el espacio del editor. Las ventanas de herramientas, menús y barras de herramientas disponibles dependen del tipo de proyecto o archivo en el que esté trabajando.

### 3.3.2.1 Interfaz.

Dependiendo de la configuración aplicada y de las subsiguientes personalizaciones que haya realizado, variará la colocación de las ventanas de herramientas y de otros elementos en el IDE [9].

En la Fig 3.11 se muestra el menú de inicio y en la Fig 3.12 un ejemplo de la pantalla principal.



Fig. 3.11. Menú de inicio.

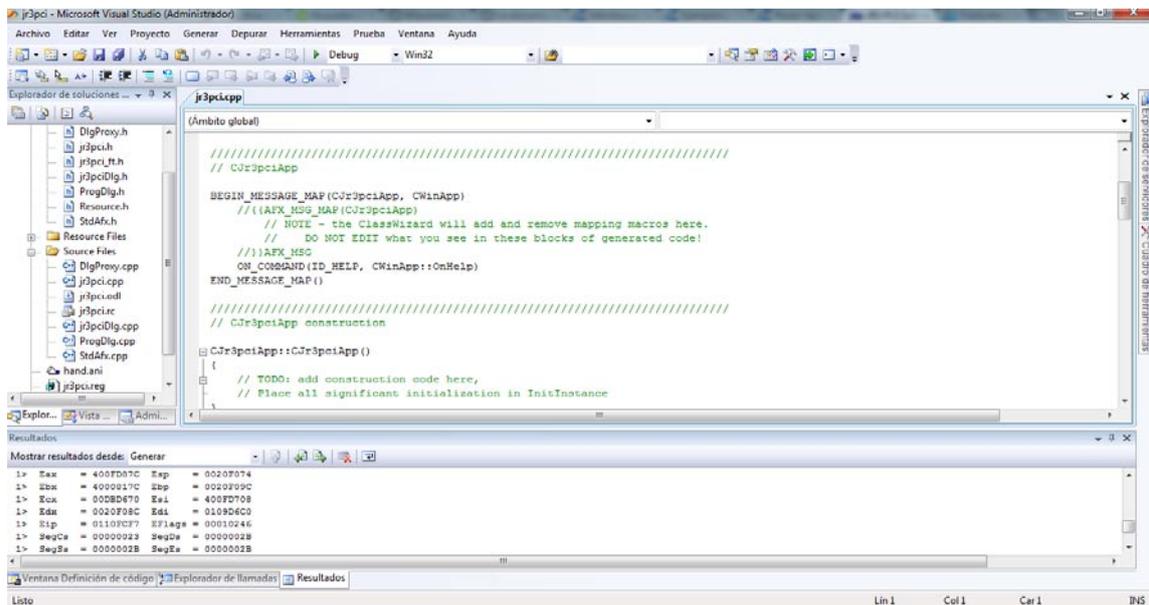


Fig. 3.12. IDE con la configuración de desarrollo general aplicada.

### 3.3.2.2 Sistema de proyectos.

Las soluciones y los proyectos contienen elementos en forma de referencias, conexiones de datos, carpetas y archivos necesarios para crear la aplicación. Un contenedor de tipo solución puede contener varios proyectos y un contenedor de tipo proyecto normalmente contiene varios elementos.

El Explorador de soluciones; definido en la Fig 3.13 muestra soluciones, proyectos y los elementos incluidos en dichos proyectos. En el Explorador de soluciones, se pueden abrir archivos para editar, agregar nuevos archivos a un proyecto y ver las propiedades de las soluciones, proyectos y elementos.

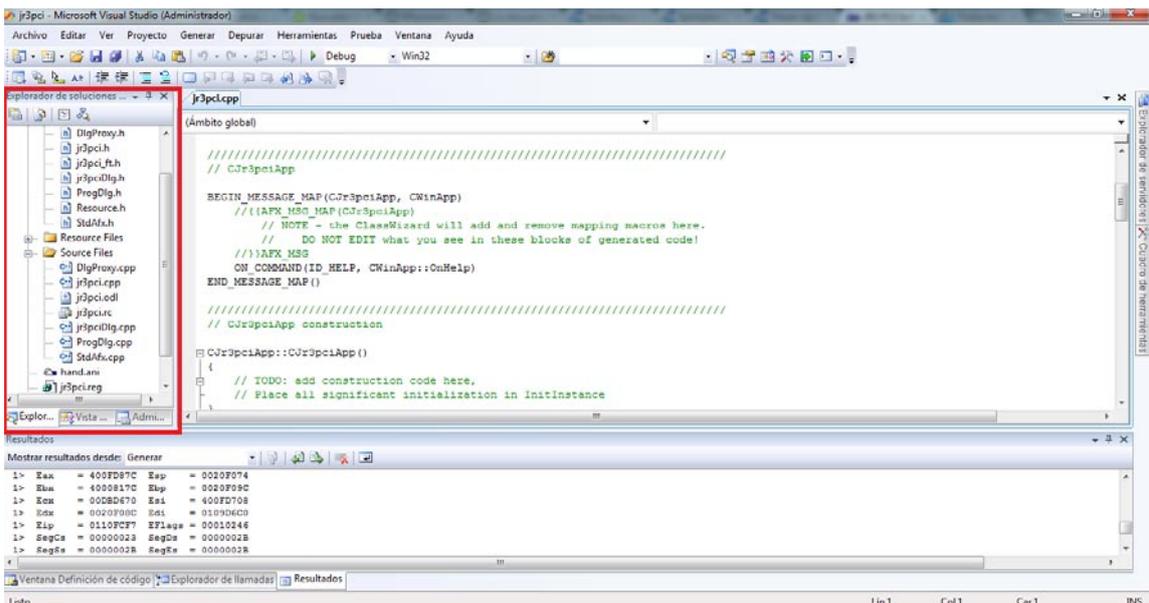


Fig. 3.13. Explorador de soluciones

### 3.3.2.3 Editores y diseñadores.

El editor y los diseñadores que utilicen dependerán del tipo de archivo o documento que esté creando. El Editor de texto es el procesador de textos básico del IDE, mientras que el Editor de código es el editor de código fuente básico.

Otros editores, como el Editor CSS, el Diseñador HTML y el Diseñador de páginas Web, comparten muchas de las funciones del Editor de código, junto con mejoras específicas en el tipo de código o de marcado admitido.

Los editores y diseñadores normalmente tienen dos vistas: una vista de código subyacente o vista de código fuente (Fig 3.14) y una vista de diseño gráfica (Fig 3.15). La vista de diseño permite especificar la ubicación de los controles y otros elementos en la interfaz de usuario o la página web. Para este proyecto esta opción no se utiliza por no necesitar de su uso.

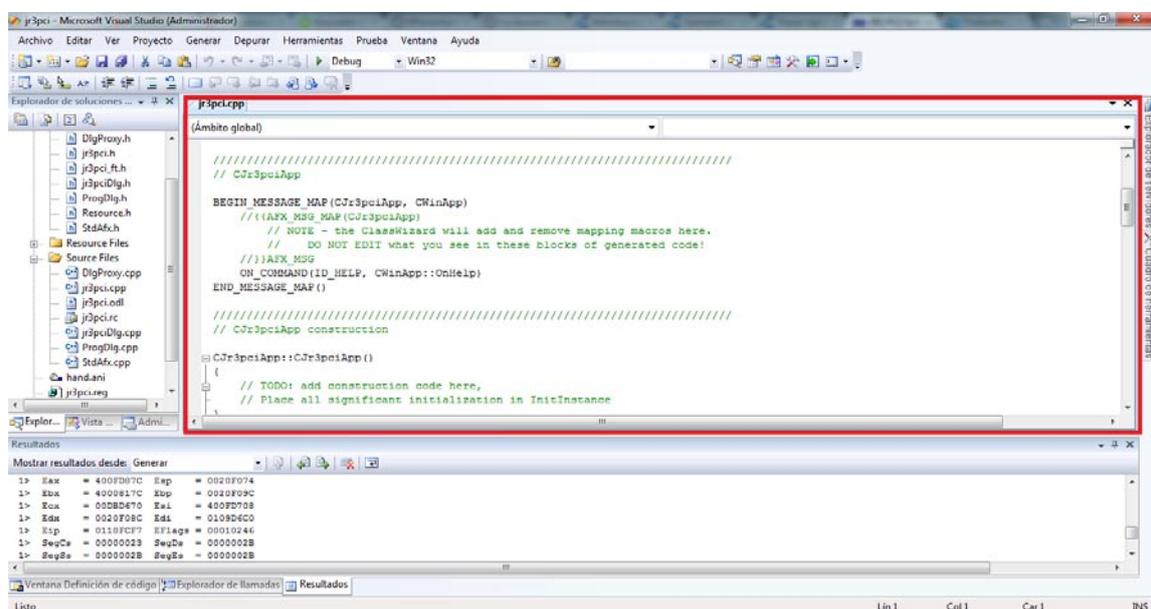


Fig. 3.14. Vista de Código Fuente.

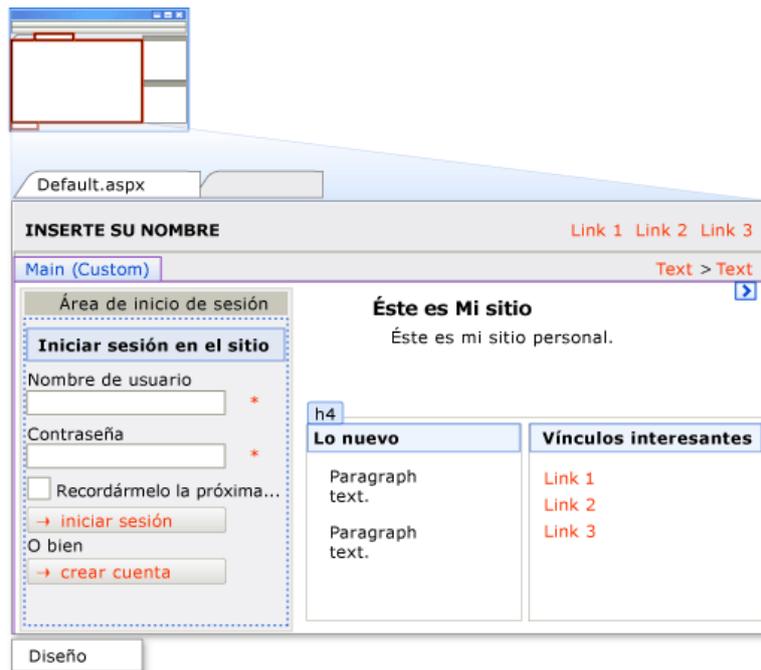


Fig. 3.15. Diseñador de páginas Web, vista Diseño

También se puede utilizar una vista híbrida que permite ver la vista del gráfico y del código de un archivo simultáneamente. Esta vista se llama la Vista dividida y se puede ver en la Fig 3.16.



Fig. 3.16. Diseñador de páginas web, Vista dividida.

### 3.3.2.4 Herramientas de compilación y depuración.

Visual Studio proporciona un conjunto de herramientas de compilación y depuración. Con las configuraciones de compilación puede seleccionar los componentes que se van a generar, excluir los que no se van a generar y determinar cómo se van a generar los proyectos seleccionados y en qué plataforma.

Cuando genera, está comenzando el proceso de depuración. Durante la depuración se pueden detectar errores de compilación, como se puede ver en la Fig 3.17.

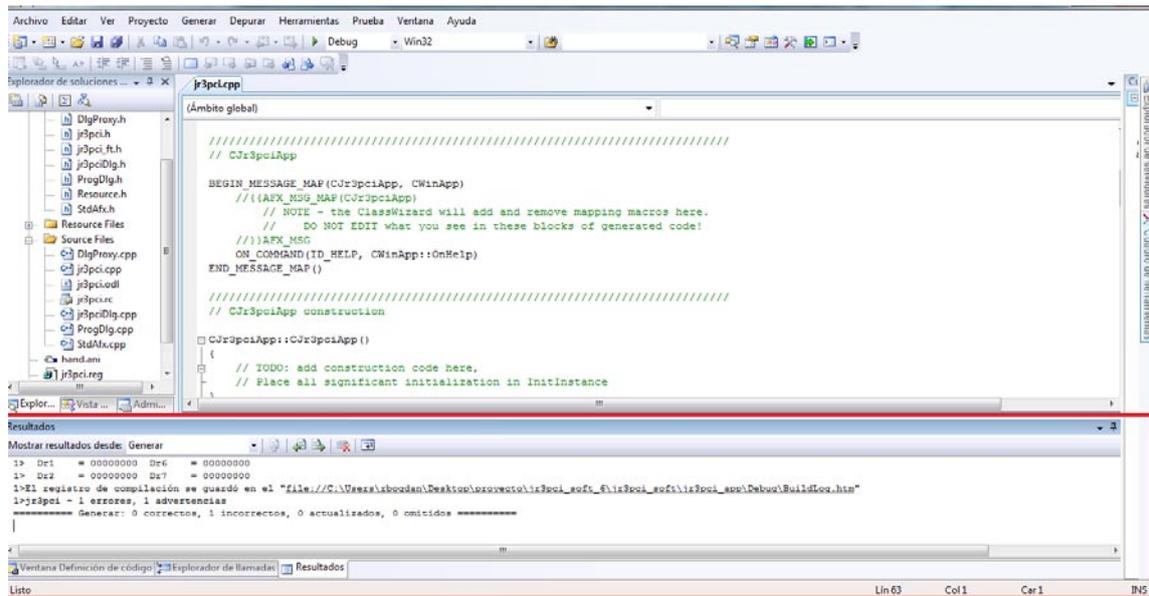


Fig. 3.17. Ventana Resultados con información de compilación.

Después de generar la aplicación, puede utilizar el depurador para detectar y corregir problemas como errores lógicos y semánticos que se descubren en tiempo de ejecución.

Visual Studio se puede compilar en el modo de interrupción, en el cual se puede examinar las variables locales y otros datos pertinentes utilizando puntos de ejecución paso a paso mostrados en la Fig 3.18.

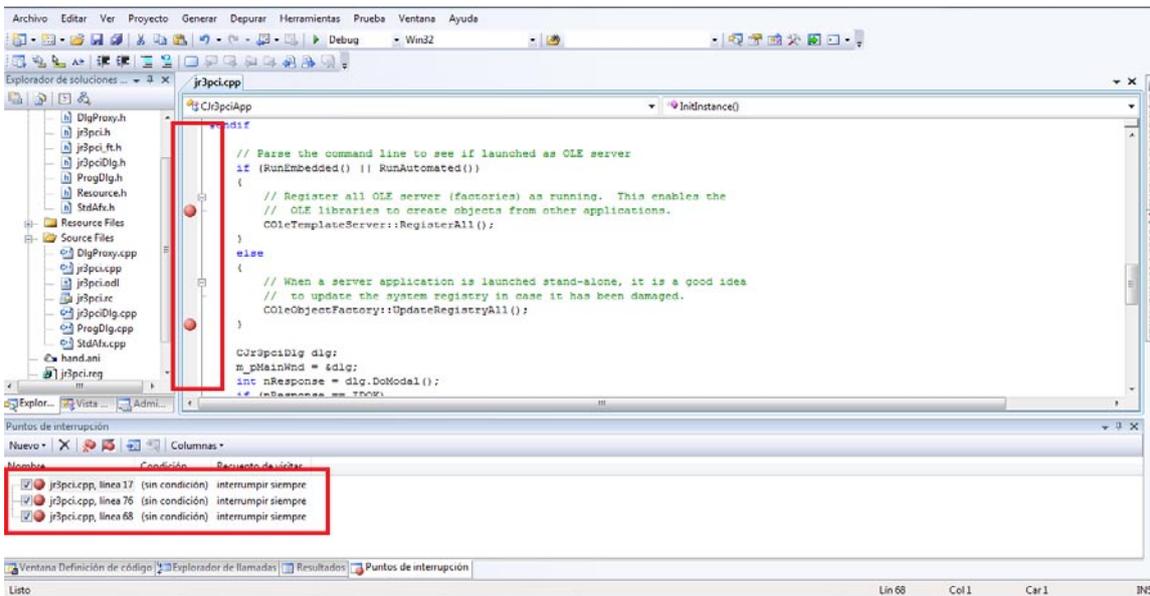


Fig. 3.18. Formulario de Visual Basic en el modo de interrupción.

### 3.3.2.5 Herramientas de implementación.

Visual Studio proporciona dos estrategias de implementación diferentes: ClickOnce y Windows Installer. Con la implementación de ClickOnce, publica la aplicación en una ubicación centralizada y el usuario instala o ejecuta la aplicación desde esa ubicación. La implementación de Windows Installer (Fig 3.19) permite empaquetar la aplicación en un archivo setup.exe y distribuir ese archivo; pudiendo ejecutar el archivo setup.exe para instalar la aplicación.

En este proyecto se utilizará la última estrategia de implementación, por la facilidad que supone distribuir el programa.

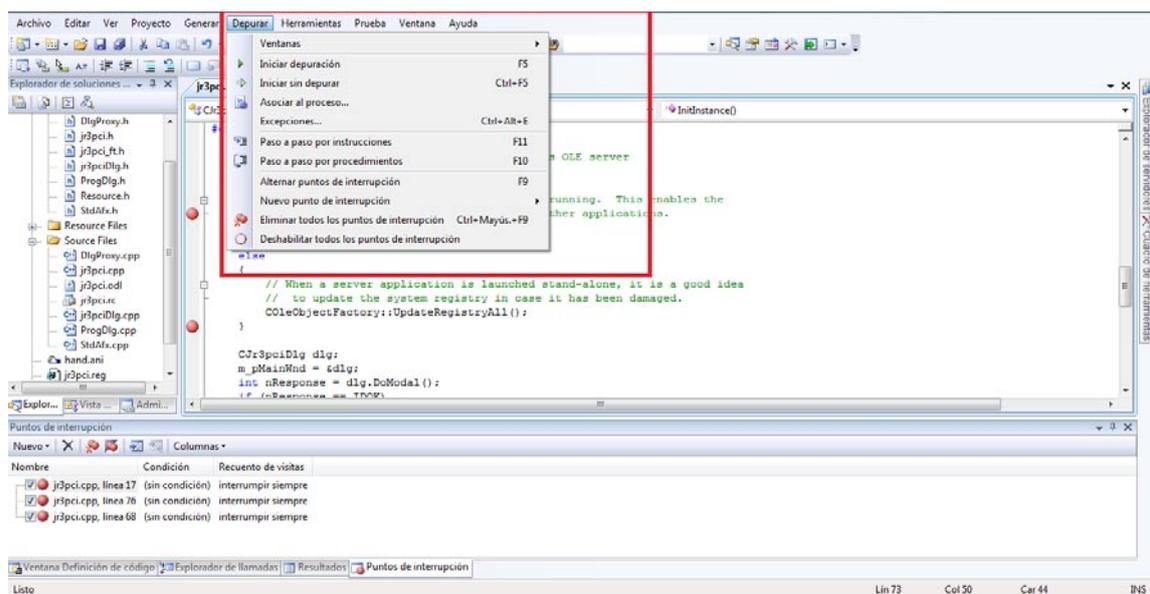


Fig. 3.19. Menú para generar archivo Windows installer.

### 3.3.3. RobotStudio.

#### 3.3.3.1 Introducción.

RobotStudio permite la programación fuera de línea y la simulación de los sistemas del robot en un PC Windows estándar. RobotStudio forma parte del controlador virtual ABB, que es una copia exacta del software real que se ejecuta en el robot de producción.

El controlador también contiene una unidad de programación virtual, que le permite manejar el robot simulado exactamente de la misma forma que un robot real.

Para empezar a trabajar con RobotStudio es necesario tener instalado los controladores de los robots llamados RobotWare [8].

#### 3.3.3.2 Estación.

Para empezar a trabajar con RobotStudio, hay que crear una nueva estación con un robot. En este apartado aparecerá predefinido una ruta en la cual están todos los controladores RobotWare instalados, basta con seleccionar uno. Una vez seleccionado, arrancará el controlador virtual, si existen varias bibliotecas para éste lo indicará y basta con seleccionar la adecuada.

#### 3.3.3.3 Interfaz.

La interfaz del usuario de RobotStudio consta de los siguientes elementos principales que se detallaran a continuación: Área gráfica, navegadores, ventana de salida, barra de estado, barras de herramientas y menús.

Cuando se inicia la aplicación se muestran los navegadores, el área gráfica y la ventana de salida, como se puede mostrar en la Fig 3.20.

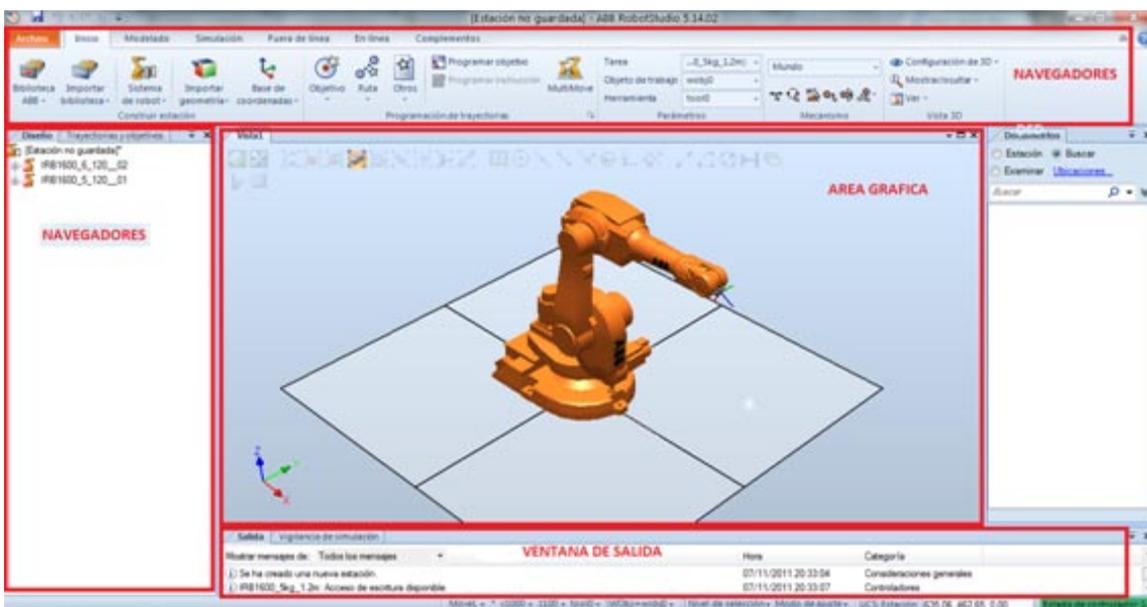


Fig. 3.20. Interfaz Robotstudio.

### 3.3.3.3.2 Área gráfica.

El área gráfica puede contener una o varias vistas gráficas que muestran su estación en 3D.

La vista gráfica es la visualización de la estación con sus objetos y simulaciones. En la vista gráfica, puede ver y manipular la representación en 3D de su estación.

### 3.3.3.3.3 La ventana de salida.

En la ventana de salida aparecen los mensajes dirigidos al usuario. La ventana de salida puede mostrar muchos tipos diferentes de mensajes y éstos se muestran en diferentes secciones en función del tipo de mensaje.

### 3.3.3.4 Navegadores.

Se pueden diferenciar tres grupos de navegadores:

- El navegador de propiedades.

El navegador de propiedades muestra todas las propiedades de los objetos seleccionados. En este navegador es posible cambiar las propiedades de los objetos como se puede ver en la figura 3.21. de forma general y en las figuras 3.22 y 3.23 de forma más detallada.

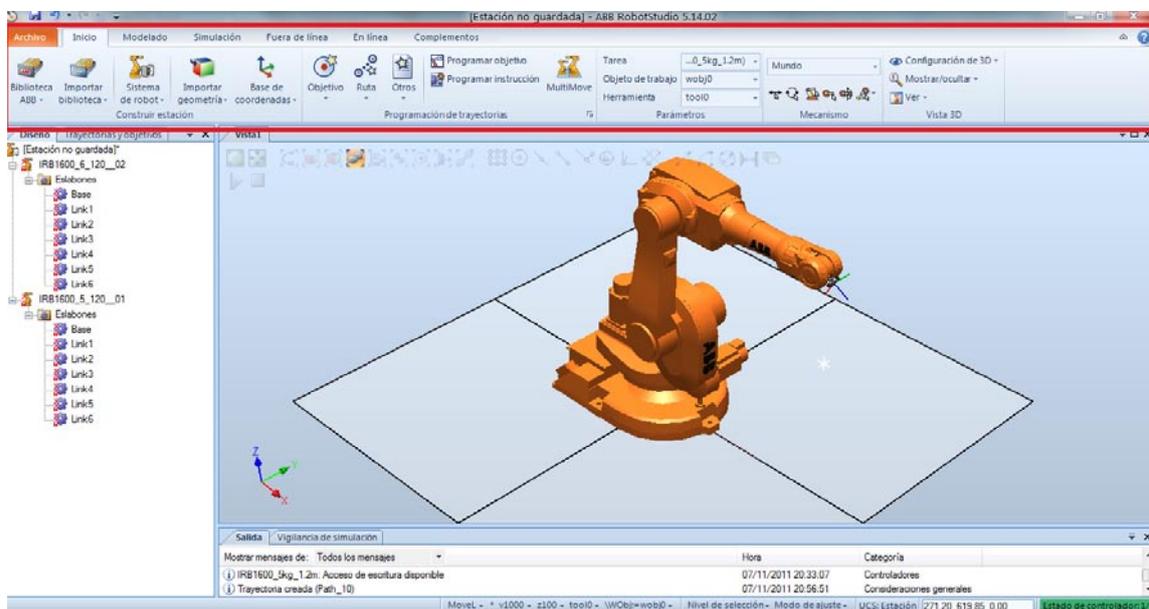


Fig. 3.21. Navegador de Propiedades General.

Icono	Nodo	Descripción
 xx0500001373	<b>Estación</b>	Su estación en RobotStudio.
 xx0500001374	<b>Controlador virtual</b>	Es el sistema utilizado para controlar los robots, al igual que un controlador IRC5 real.
 xx0500001375	<b>Tarea</b>	Contiene todos los elementos lógicos de la estación, como objetivos, trayectorias, objetos de trabajo, datos de herramienta instrucciones.
 xx0500001376	<b>Colección de datos de herramienta</b>	Contiene todos los datos de herramienta.
 xx0500001471	<b>Datos de herramienta</b>	Un dato de herramienta para un robot o una tarea.
 xx0500001377	<b>Objetos de trabajo y objetivos</b>	Contiene todos los objetos de trabajo y objetivos de la tarea o del robot.
 xx0500001477	<b>Colección de objetivos de ejes y objetivo de ejes</b>	Una posición especificada de los ejes del robot.

Fig. 3.22. Navegador de Propiedades Detallado 1.

Icono	Nodo	Descripción
 xx0500001378	<b>Colección de objetos de trabajo y objeto de trabajo</b>	El nodo de colecciones de objetos de trabajo y los objetos de trabajo que contiene.
 xx0500001379	<b>Objetivo</b>	Una posición y una rotación definidas para el robot. Un objetivo equivale a un RobTarget en un programa de RAPID.
 xx0500001849	<b>Objetivo sin configuración asignada</b>	Un objetivo que no tiene ninguna configuración de ejes asignada, por ejemplo un objetivo reposicionado o un nuevo objetivo creado por un medio distinto de la programación.
 xx0500001850	<b>Objetivo sin configuración encontrada</b>	Un objetivo inalcanzable, es decir, para el que no se ha encontrado ninguna configuración de ejes.
 xx0500001380	<b>Colección de trayectorias</b>	Contiene todas las trayectorias de la estación.
 xx0500001381	<b>Trayectoria</b>	Contiene instrucciones para los movimientos del robot.
 xx0500001474	<b>Instrucción de movimiento lineal</b>	Un movimiento lineal del TCP hacia un objetivo. Si el objetivo no tiene ninguna configuración asignada, la instrucción de movimiento recibe los mismos símbolos de aviso que el objetivo.
 xx0500001851	<b>Instrucción de movimiento de ejes</b>	Un movimiento de ejes hacia un objetivo. Si el objetivo no tiene ninguna configuración asignada, la instrucción de movimiento recibe los mismos símbolos de aviso que el objetivo.
 xx0500001475	<b>Instrucción de acción</b>	Define una acción que debe ser realizada por el robot en una ubicación determinada de una trayectoria.

Fig. 3.23. Navegador de Propiedades Detallado 2.

➤ El navegador de objetos.

El navegador de objetos muestra el contenido de la estación en una jerarquía textual. Si añade un objeto, el navegador inserta automáticamente el objeto en la estructura. Desde este navegador puede cambiar las propiedades de todos los objetos como se puede observar en la Fig 3.24.

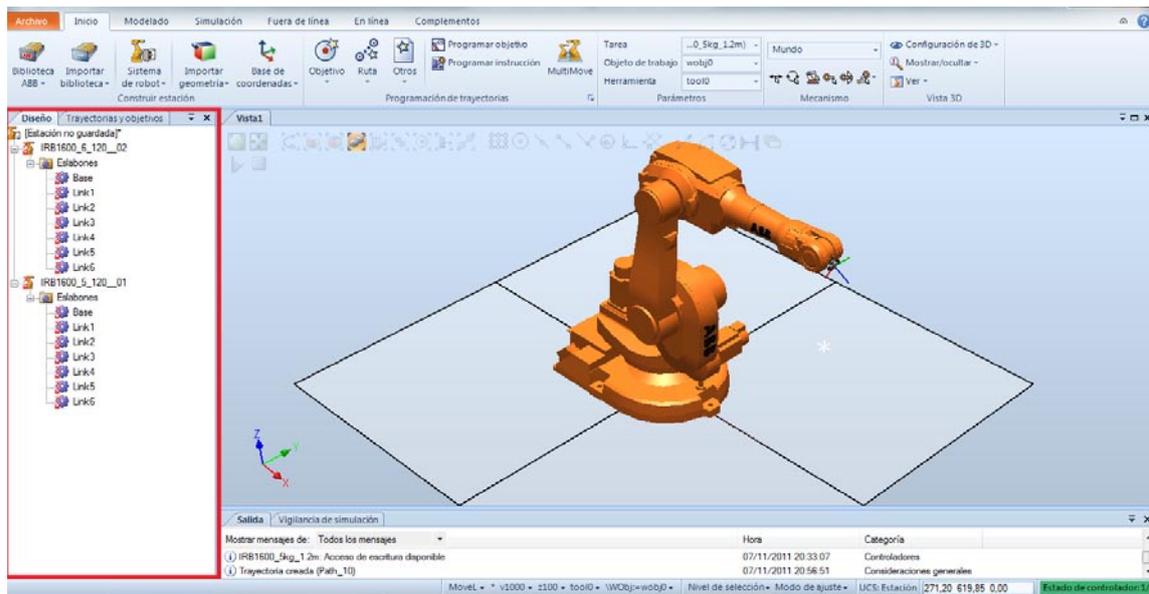


Fig. 3.24. Navegador de objetos.

Los objetos pueden ser componentes físicos, como robots y herramientas, o elementos lógicos, como Objetivos y Trayectorias.

En las figuras 3.25 y 3.26 se muestran los tipos de nodos que se pueden observar en esta pestaña con su icono correspondiente.

Icono	Nodo	Descripción
 xx0500001364	<b>Robot</b>	El robot en la estación. El candado de color rojo en la esquina inferior derecha del icono indica que el objeto está conectado a una biblioteca.
 xx0500001365	<b>Herramienta</b>	Una herramienta.
 xx0500001366	<b>Colección de enlaces</b>	Contiene todos los enlaces de los objetos.
 xx0500001367	<b>Eslabón</b>	Un objeto físico en una conexión de articulación. Cada eslabón está formado por una o varias piezas.
 xx0500001478	<b>Bases de coordenadas</b>	Contiene todas las bases de coordenadas de un objeto.
 xx0500001368	<b>Grupo de componentes</b>	Una agrupación de piezas u otros conjuntos que tienen sus propios sistemas de coordenadas. Se utiliza para estructurar una estación.

Fig. 3.25. Navegador de objetos 1.

Icono	Nodo	Descripción
 xx0500001369	<b>Pieza</b>	Un objeto físico de RobotStudio. Las piezas basadas en información geométrica se construyen a partir de una o varias entidades bidimensionales o tridimensionales. Las piezas que no contienen información geométrica (por ejemplo los archivos .jt importados) están vacías.
 xx0500001370	<b>Conjunto de colisión</b>	Contiene todos los conjuntos de colisión. Cada conjunto de colisión incluye dos grupos de objetos.
 xx0500001371	<b>Grupo de objetos</b>	Contiene referencias a los objetos que están sujetos a la detección de colisiones.
 xx0500001479	<b>Mecanismos de conjunto de colisión</b>	Los objetos del conjunto de colisión.
 xx0500001372	<b>Base de coordenadas</b>	Las bases de coordenadas de la estación.

Fig. 3.26. Navegador de objetos 2.

➤ Navegador de programas.

El navegador de programas muestra las piezas estructurales del programa de RAPID, como se puede apreciar en la figura 3.27.

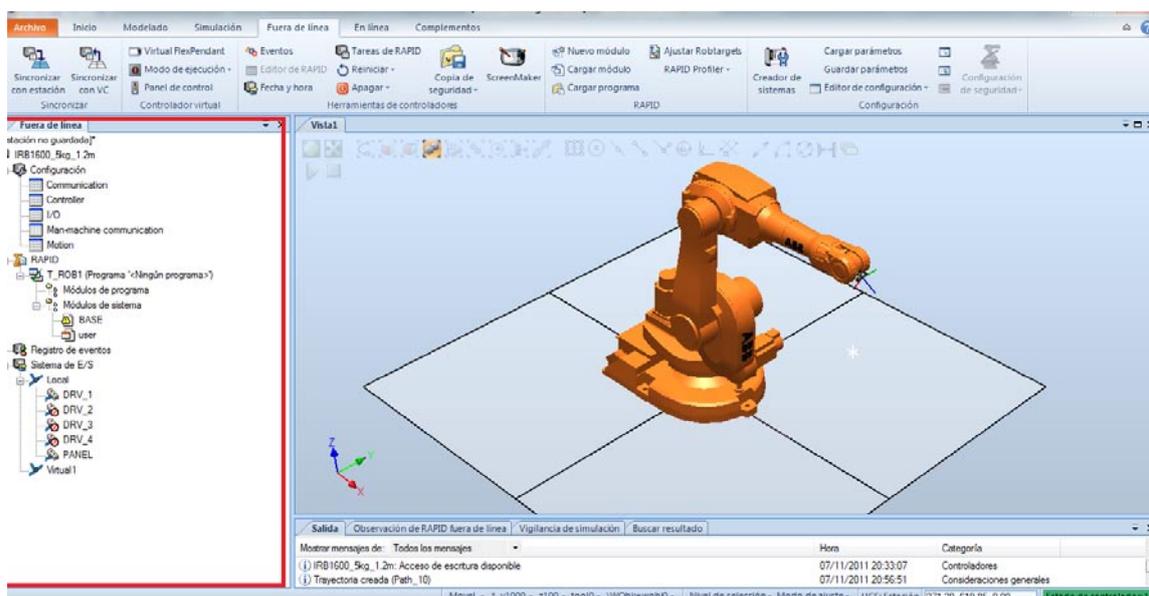


Fig. 3.27. Navegador de Programas.

Todas estas piezas de RAPID pueden crearse o eliminarse desde el navegador de programas.

Cada pieza de programa se representa mediante un nodo en el árbol, que queda explicado en las figuras 3.28 y 3.29.

Icono	Nodo	Descripción
 controllerConnect- edTrans.gif	<b>Controlador conectado</b>	Un controlador que tiene una conexión en funcionamiento.
 Rapid16Trans.gif	<b>Tareas de RAPID</b>	Contiene las tareas activas del controlador (programas).
 prgInTask.gif	<b>Tarea</b>	Un programa de robot que se ejecuta de forma independiente o junto con otros programas. Un programa se compone de módulos.
 modules.gif	<b>Módulos</b>	Un contenedor para módulos de programa o módulos de sistema.
 program- module.gif	<b>Módulo de programa</b>	Contiene un conjunto de declaraciones de datos y rutinas para una tarea determinada.
 procedure.gif	<b>Procedimiento</b>	Una rutina que no devuelve ningún valor. Los procedimientos se utilizan como subprogramas.
 function16Trans.gi f	<b>Función</b>	Una rutina que devuelve un valor de un tipo concreto y se utiliza como argumento de una instrucción.
 trap16Trans.gif	<b>Rutina TRAP</b>	Una rutina que proporciona una forma de responder a las interrupciones.

Fig. 3.28. Navegador de programas 1.

Icono	Nodo	Descripción
 sys-module.gif	<b>Módulo de sistema</b>	Contiene un conjunto de declaraciones de tipo, declaraciones de datos y rutinas. Los módulos de sistema contienen datos que se aplican al sistema de robot, independientemente de qué módulos de programa estén cargados.
 mod- ule.encrypted.gif	<b>Módulo encriptado</b>	Un módulo que está bloqueado para su edición y visualización.
 nostepin.gif	<b>Módulo NOSTEPIN</b>	Un módulo en el que no se puede entrar detalladamente durante la ejecución paso a paso. Es decir, todas las instrucciones del módulo se tratan como un solo programa si éste se ejecuta en el modo paso a paso.

Fig. 3.29. Navegador de programas 2.

### 3.3.3.5 La barra de estado.

La barra de estado de la parte inferior de la ventana de RobotStudio permite obtener información breve y esencial sobre la estación.

En la figura 3.30 y 3.31 se puede observar dicha barra.

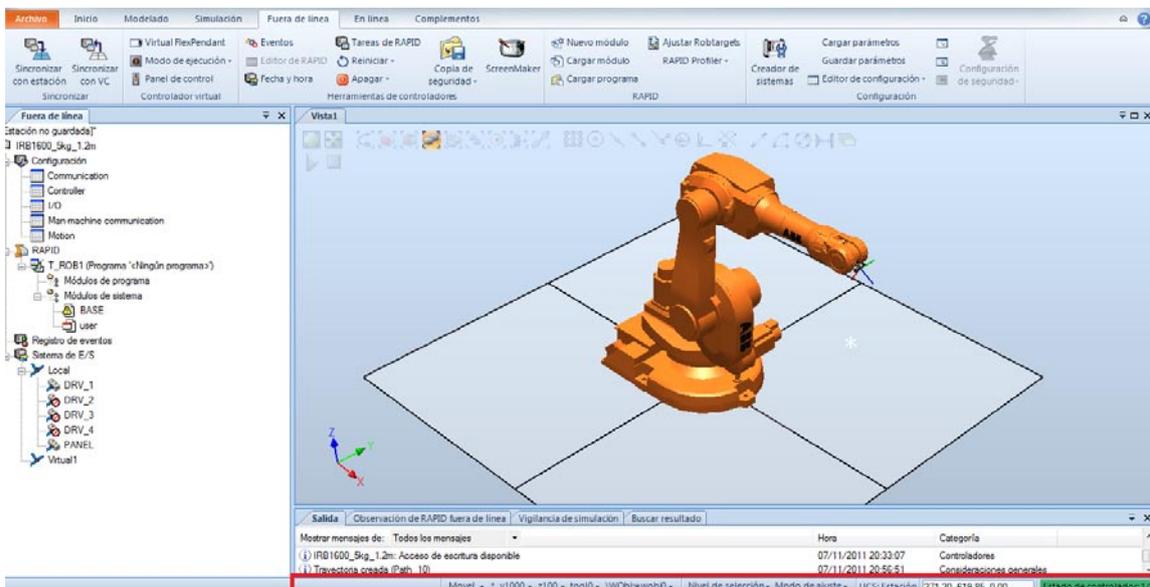


Fig. 3.30. Barra de Estado General.

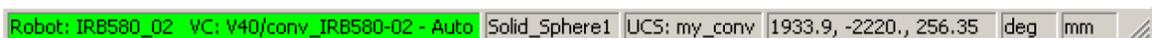


Fig. 3.31. Barra de Estado Detallado.



### 3.3.3.6.2 Barra de herramientas Simulación.

La barra de herramientas Simulación se utiliza para iniciar y detener la ejecución de sus simulaciones, es decir, la ejecución del programa de RAPID y está representada en la Fig 3.33.



Fig. 3.33. Barra Herramientas Simulación.

### 3.3.3.6.3 Barra de herramientas Nivel de selección.

En la barra de herramientas Nivel de selección representada en la Fig 3.34 se pueden escoger con qué tipo de objetos desea trabajar. Puede utilizar varios niveles de selección a la vez.



Fig. 3.34. Barra Herramientas Nivel Selección.

### 3.3.3.6.4 Barra de herramientas Ajustar a cuadrícula.

La barra de herramientas Ajustar a cuadrícula representada en la Fig 3.35, permite especificar el ajuste que se usará al elegir los objetos de la ventana gráfica.



Fig. 3.35. Barra Herramientas Ajustar Cuadrícula

### 3.3.3.6.5 Barra de herramientas Medidas.

En la barra de herramientas Medidas se mide la distancia, el ángulo, etc., entre los componentes de su estación esta barra está representada en la figura 3.36.

Las instrucciones acerca de cómo continuar y el resultado de las medidas se muestran en la ventana de salida.



Fig. 3.36. Barra Herramientas de Medidas.

### 3.3.3.6.6 Barra de herramientas Mano alzada.

Con la barra de herramientas Mano alzada puede colocar los componentes en su estación moviéndolos con el ratón en la ventana gráfica.

Esta barra esta representada en la figura 3.37.

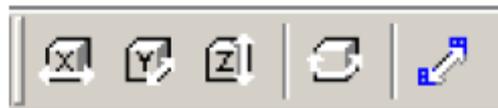


Fig. 3.37. Barra Herramientas Mano alzada.

### 3.3.3.6.7 Barra de herramientas Ver.

La barra de herramientas Ver se utiliza cuando desea ampliar/reducir o cambiar el Punto de vista y se encuentra en la Fig 3.38.



Fig. 3.38. Barra Herramientas Ver.

### 3.3.3.6.8 Barra de herramientas Elementos

Puede utilizar la barra de herramientas Elementos para crear elementos en su estación. Los elementos son las Trayectorias, los Objetivos, los objetos de trabajo y los datos de herramientas.

La barra de herramientas Elementos de la Fig 3.39 contiene lo siguiente:



Fig. 3.39. Barra Herramientas Elementos.

### 3.3.3.6.9 La barra de herramientas Tiempo de movimiento.

El reloj de tiempo de movimiento calcula el tiempo de movimiento del robot. Muestra el tiempo de movimiento durante la ejecución del programa, así como durante los desplazamientos. Sin embargo, no se calcula el tiempo de ejecución de las instrucciones de RAPID que no suponen ningún movimiento. Esta barra está representada en la Fig 3.40.



Fig. 3.40. Barra herramientas Tiempo de Movimiento.

### 3.3.3.7 Menús.

El menú contextual ofrece una forma sencilla de obtener los comandos disponibles que pueden aplicarse a un objeto.

Mediante la selección de un objeto en el navegador de objetos o en la ventana gráfica con el botón derecho del ratón, se abre un pequeño menú contextual. En este menú sólo se muestran los comandos pertinentes para el objeto seleccionado.

En la Fig 3.41 queda definido dicho menú.

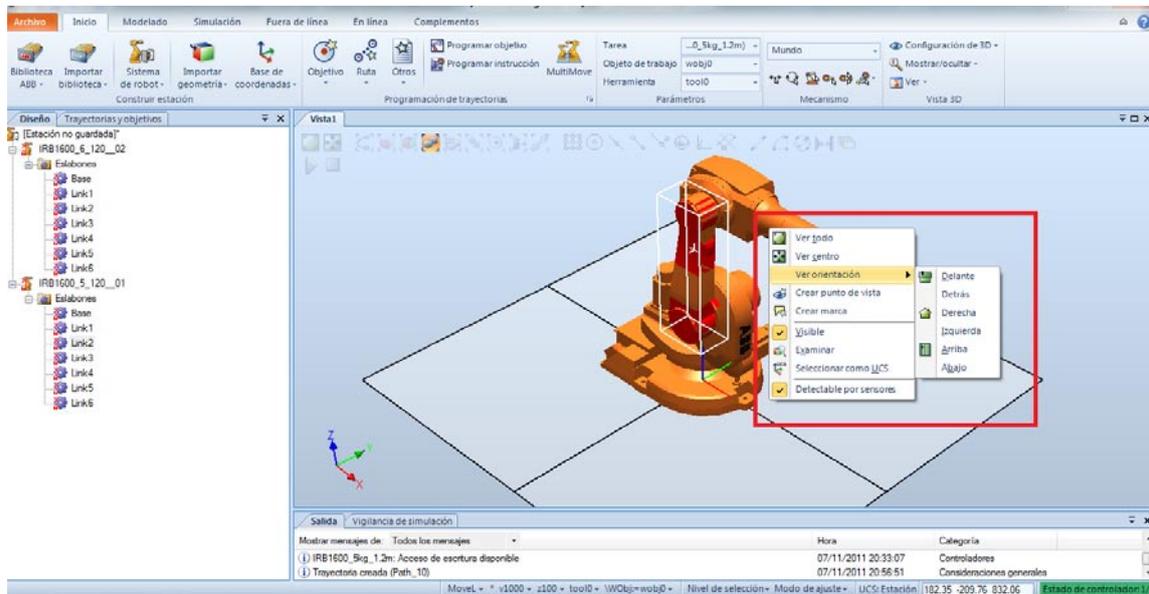


Fig. 3.41. Menú Contextual.

### 3.3.4. Software inicial de JR3.

Para el desarrollo del proyecto, se ha tomado como base el software “JR3 PCI & qPCI Interface Versión 3.0” el cual permite extraer y representar los valores de fuerza par de uno o varios sensores JR3. Además, este software también extrae del sensor valores tales como números de serie u otra información la cual para la aplicación a tratar se considera poco útil.

Debido a las numerosas funciones que ofrece el software inicial, de las cuales muchas de ellas en este trabajo no son necesarias, se procede a la modificación del código y la interfaz para adaptarlo a las necesidades del proyecto.

#### 3.3.4.1 Desarrollo del funcionamiento.

Como el código fuente inicial ya se encuentra implementado y debida a su gran extensión únicamente se van a nombrar muy brevemente los diferentes archivos y cabeceras utilizadas.

Las partes que han sido diseñadas para este proyecto se explicaran posteriormente en capítulos sucesivos. Los archivos y cabeceras completos se pueden encontrar en los anexos del proyecto.

➤ **jr3pci.cpp.**

Este es el archivo de la aplicación principal que contiene la clase CJr3pciApp.

➤ **ProgDlg.h y progdlg.cpp.**

Estos archivos son los encargados de controlar la interfaz principal.

➤ **jr3pciDlg.h,jr3pciDlg.cpp.**

Estos archivos contienen la clase CJr3pciDlg. Esta clase es la encargada de definir el comportamiento del cuadro de dialogo principal de la aplicación.

➤ **DlgProxy.h y DlgProxy.cpp.**

Estos archivos contienen su clase CJr3pciDlgAutoProxy. Esta clase se llama el "proxy de automatización". Y se encarga de exponer los métodos automatización y propiedades que los controladores de automatización pueden utilizar para acceder a su diálogo.

➤ **StdAfx.h y StdAfx.cpp.**

Estos archivos se utilizan para crear un encabezado precompilado (PCH) jr3pci.pch nombre y un archivo de tipos precompilado denominado StdAfx.obj.

➤ **jr3pci.h.**

Este es el archivo de encabezado principal de la aplicación. y declara la aplicación clase CJr3pciApp.

➤ **Resource.h.**

Este es el archivo de encabezado estándar que define los nuevos identificadores de recursos. Microsoft Visual Studio 2008 lee y actualiza este archivo.

### 3.3.4.2 Interfaz inicial JR3.

La interfaz que JR3 ofrece para la lectura de datos en sensores fuerza par, como se ve en la Fig 3.42, se trata de una interfaz la cual ofrece demasiados datos los cuales en este trabajo se ignoran.

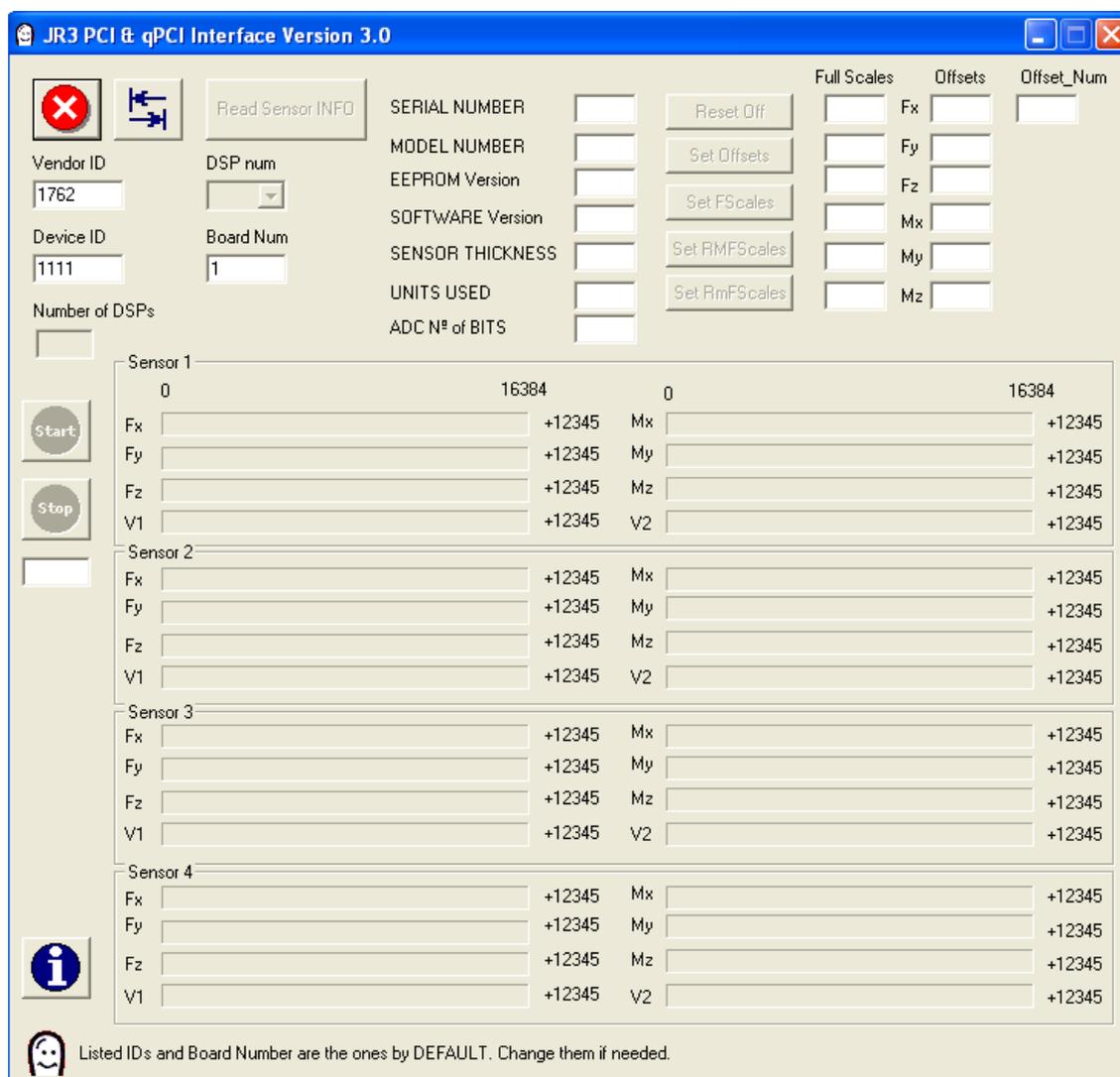


Fig. 3.42. Interfaz inicial de JR3.

Se describen a continuación las principales características de la aplicación inicial de JR3:

- Botones de conexión con el sensor y cierre de la interfaz. Mediante los botones representados en la Fig 3.43, el usuario podrá conectar el PC con el sensor JR3 siempre y cuando haya indicado correctamente el número de identificación de la tarjeta PCI encargada de la captura de los datos (Device ID).

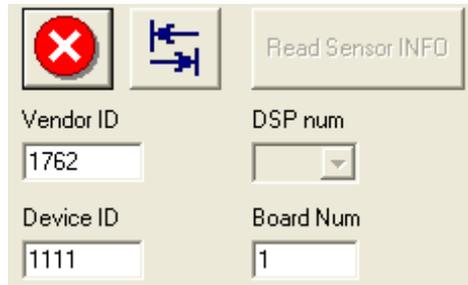


Fig. 3.43. Interfaz JR3 inicial – Botones de conexión y cierre.

- Botones de “Start” y “Stop”. Representados en la Fig 3.44 estos botones permiten que una vez realizada la conexión del PC con el sensor JR3, la interfaz comience a representar los valores de fuerza y par extraídos.



Fig. 3.44. Interfaz JR3 – Botones “Start” y “Stop”.

- Posibilidad de conectar hasta 4 sensores JR3 fuerza par y representar sus valores de manera independiente.
- Botón de “Read Sensor INFO” el cual permite al usuario conocer toda la información del sensor JR3 de fuerza par conectado. En la Fig 3.45 se observa la zona descrita de la interfaz.

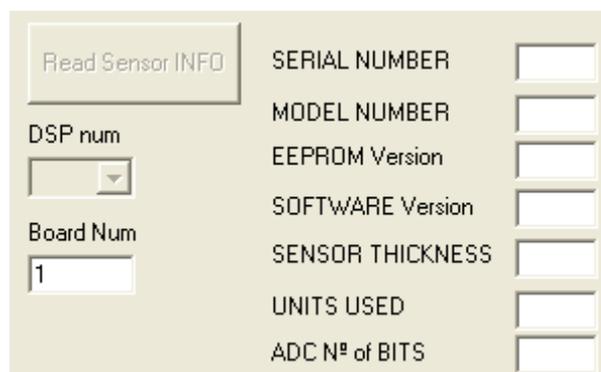


Fig. 3.45. Interfaz JR3 inicial - Read Sensor INFO.

Los datos del sensor representados son:

- i. Número de serie.
  - ii. Número de modelo.
  - iii. Versión de memoria EEPROM.
  - iv. Versión del software.
  - v. Espesor.
  - vi. Unidades utilizadas.
  - vii. Número de bits del conversor analógico – digital.
- Reset de los offsets del sensor. Mediante el botón “Reset Off”, los valores de offset representados en la tabla de Offsets correspondientes al sensor toman un valor 0 y de esta manera el sensor ignora las fuerzas y pares existentes justo en el momento de hacer click en dicho botón. Se observa en la Fig 3.46 la zona de la interfaz encargada del reset de los valores de offsets.

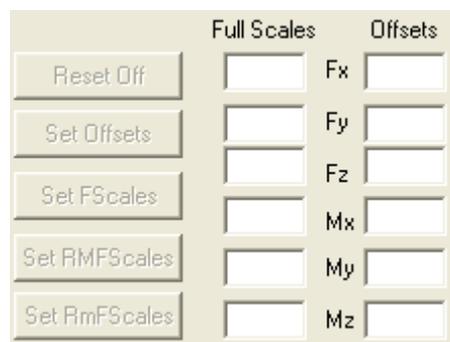


Fig. 3.46. Interfaz JR3 inicial – Reset y Set Offsets.

- Set de los offsets del sensor. Mediante el botón “Set Offsets” (véase Fig 5.5), la representación de los valores del sensor pasa a tener un offset con el valor indicado en la zona que representa el offset actual del sensor. Estos valores pueden ser modificados y pasan a aplicarse cuando se hace click en este botón.
- Cambio de escalas en los valores representados. Mediante los botones de la Fig 3.47, el programa inicial de JR3 permite al usuario la modificación de las escalas aplicadas en los valores leídos del sensor JR3.

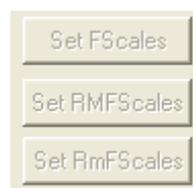


Fig. 3.47. Interfaz JR3 inicial – Scales.

Mediante el botón “Set FScalés”, la interfaz permite aplicar a los valores representados en ese instante una escala la cual toma el valor indicado en la tabla “Full Scales” representada en la Fig 3.46. Estos valores pueden ser modificados

por el usuario en cualquier momento y aplicados a la representación mediante un click en dicho botón.

Por otra parte, los botones “Set RMFScales” y “Set RmFScales” permiten al usuario aplicar escalas ya definidas y que solo pueden ser modificadas editando el código del programa.

- Zona de representación de los estados de la interfaz. La zona representada en la Fig 3.48, indica al usuario los distintos estados por los que pasa la interfaz como por ejemplo el inicio de lectura de datos o cambios en los valores de escalas y offsets.



Listed IDs and Board Number are the ones by DEFAULT. Change them if needed.

Fig. 3.48. Interfaz JR3 inicial – Estados de la interfaz.

- Botón de información de la interfaz. Representado en la Fig 5.8, este botón muestra al usuario la información sobre el creador de la interfaz y otros datos de interés.



Fig. 3.49. Interfaz JR3 inicial – Botón de INFO.

## 4. DESARROLLO DEL PROYECTO.

### 4.1. Introducción.

Para entender mejor el desarrollo de la aplicación desarrollada se muestra el siguiente diagrama de flujo. (Véase Fig 4.1).

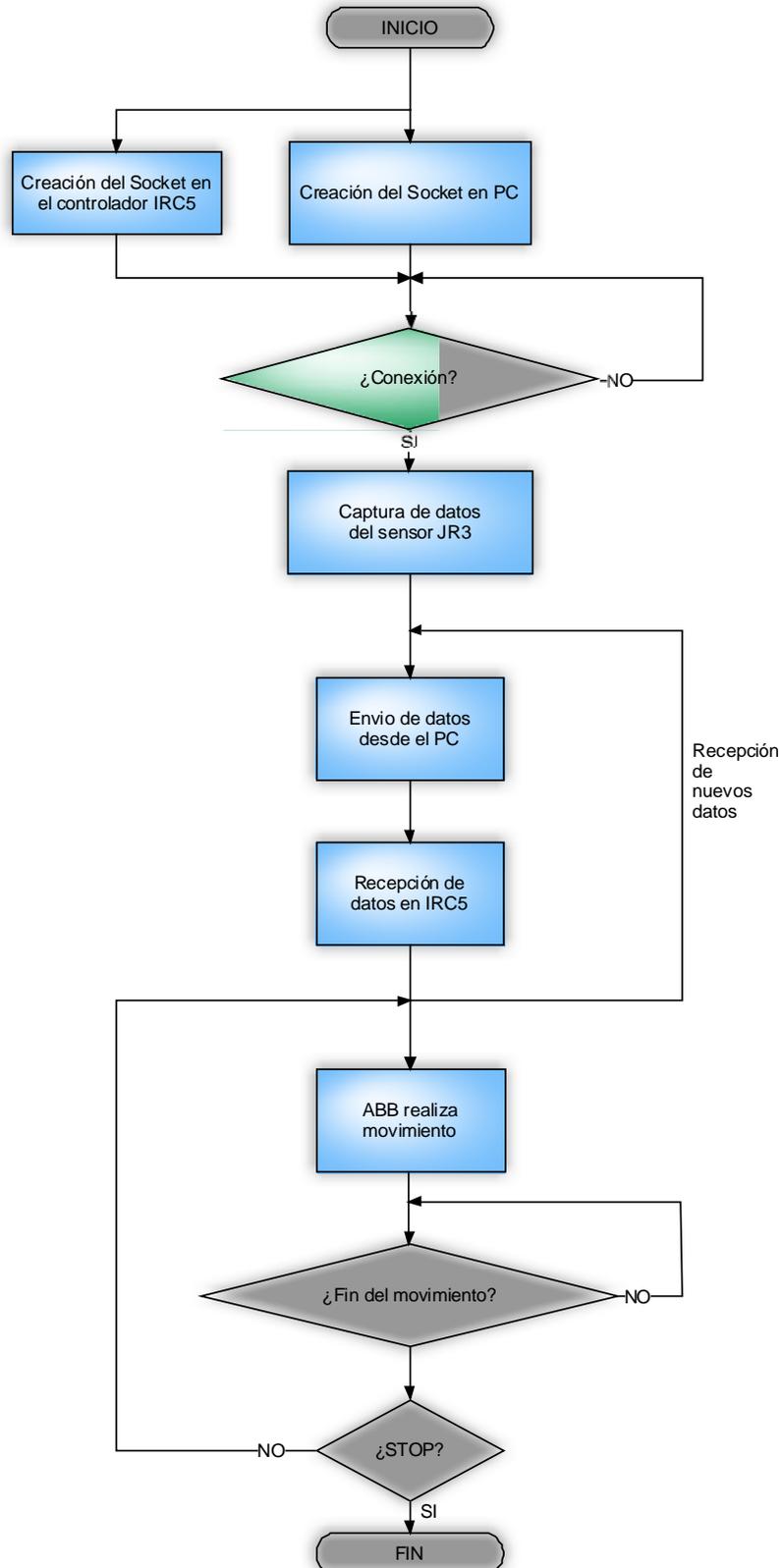


Fig. 4.1. Diagrama de flujo del sistema.

Para llevar a cabo la aplicación se trata de añadir al software proporcionado por JR3 para la interpretación de los datos obtenidos por la tarjeta PCI, una comunicación TCP/IP que envíe esos datos al controlador mediante un cable Ethernet con una trama previamente confeccionada. En la Fig 4.2 se puede ver el tipo de comunicación entre cada uno de los bloques.

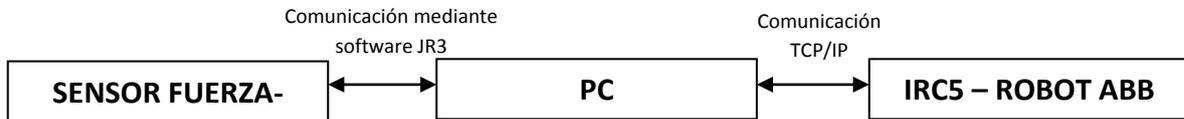


Fig. 4.2. Comunicación entre los distintos sistemas.

## 4.2. Desarrollo de la recepción y envío de datos desde el PC.

### 4.2.1. Funciones principales del nuevo software.

Las principales funciones del nuevo software obtenido mediante la modificación del proporcionado por JR3 son principalmente las siguientes:

- Comunicación y envío de datos desde el PC al robot ABB. Mediante esta característica, el nuevo software permite al usuario enviar los valores capturados por el sensor de fuerza par al robot ABB.
- Botones de conexión, start y stop. Botones con funciones similares a las del software original que gestionan el comienzo de la comunicación del sensor con el PC y la representación de los valores leídos.
- Representación de los valores de fuerza par. Al igual que la aplicación original de JR3, la nueva aplicación permite al usuario ver los valores de fuerza para ejercidos en el sensor.
- Almacenar datos de sensor JR3. La nueva aplicación permite al usuario almacenar los datos representados en la interfaz en un archivo .txt.

### 4.2.2. Desarrollo del funcionamiento.

Una vez se analizan los puntos que el nuevo software debe cumplir, mediante Microsoft Visual Studio 2008 se procede a modificar el programa.

#### 4.2.2.1 Sockets.

Antes poder modificar el código se necesitaba realizar una conexión del PC con el robot. El método utilizado es el de los sockets [10].

*Socket* designa un concepto abstracto por el cual dos programas (posiblemente situados en computadoras distintas) pueden intercambiar cualquier flujo de datos, generalmente de manera fiable y ordenada

Para que dos programas puedan comunicarse entre sí es necesario que se cumplan ciertos requisitos:

- Que un programa sea capaz de localizar al otro.
- Que ambos programas sean capaces de intercambiarse cualquier secuencia de octetos, es decir, datos relevantes a su finalidad.

Para ello son necesarios los tres recursos que originan el concepto de *socket*:

- Un protocolo de comunicaciones, que permite el intercambio de octetos.
- Un par de direcciones del protocolo de red (dirección IP, si se utiliza el protocolo TCP/IP), que identifican la computadora de origen y la remota.
- Un par de números de puerto, que identifican a un programa dentro de cada computadora.

Los *sockets* permiten implementar una arquitectura cliente-servidor. La comunicación debe ser iniciada por uno de los programas que se denomina programa "cliente". El segundo programa espera a que otro inicie la comunicación, por este motivo se denomina programa "servidor".

Un *socket* es un proceso o hilo existente en la máquina cliente y en la máquina servidora, que sirve en última instancia para que el programa servidor y el cliente lean y escriban la información. Esta información será la transmitida por las diferentes capas de red.

Las propiedades de un *socket* dependen de las características del protocolo en el que se implementan. En este proyecto el utilizado es Transmission Control Protocol; una alternativa común a éste es User Datagram Protocol.

Cuando se implementan con el protocolo TCP, los *sockets* tienen las siguientes propiedades:

- Son orientados a la conexión.
- Se garantiza la transmisión de todos los octetos sin errores ni omisiones.
- Se garantiza que todo octeto llegará a su destino en el mismo orden en que se ha transmitido.

Estas propiedades son muy importantes para garantizar la corrección de los programas que tratan la información.

El protocolo UDP es un protocolo *no* orientado a la conexión. Sólo se garantiza que si un mensaje llega, llegue bien. En ningún caso se garantiza que llegue o que lleguen todos los mensajes en el mismo orden que se mandaron. Esto lo hace adecuado para el envío de mensajes frecuentes

pero no demasiado importantes, como por ejemplo, mensajes para las actualizaciones de un gráfico.

Para facilitar trabajo se han usado un conjunto de librerías que facilitan el desarrollo de las aplicaciones escritas en C++ que requieran comunicaciones vía TCP.

Están librerías son llamadas SolarSockets. Y están formadas por una serie de funciones que se pueden aplicar para establecer la conexión.

Como ya se ha dicho anteriormente el protocolo está formado por un servidor y un cliente , como se puede ver en la Fig 6.1 .El cliente se va a desarrollar en C++ mientras que el servidor se desarrollará en Rapid con los sockets que ABB implementa y que más adelante se explicaran.

SolarSockets contiene muchas funciones, pero para este proyecto solo se utilizan las siguientes:

- `bool Connect (string Server, int Port);`

Ordena al socket conectarse a la IP o URL Server por el puerto Port.

- `bool Close ();`

Termina la conexión con el servidor.

- `bool Send (string Data);`

Ordena enviar la cadena Datos, la cual es una cadena de caracteres ASCII.

- `bool Send (const char *Data, unsigned int Length);`

Ordena enviar una cadena de chars contenida en Data, de longitud Length, a diferencia de la anterior esta si se puede usar para enviar información binaria.

- `void OnConnect (void (*_OnConnect)(void));`

Recibe como parámetro una función que será llamada cuando ocurra la conexión del Socket.

Más adelante se procede a identificar de forma detallada el uso de dichas funciones de forma más específica. En la Fig 4.3 se puede ver el diagrama de funcionamiento del protocolo de conexión utilizado.

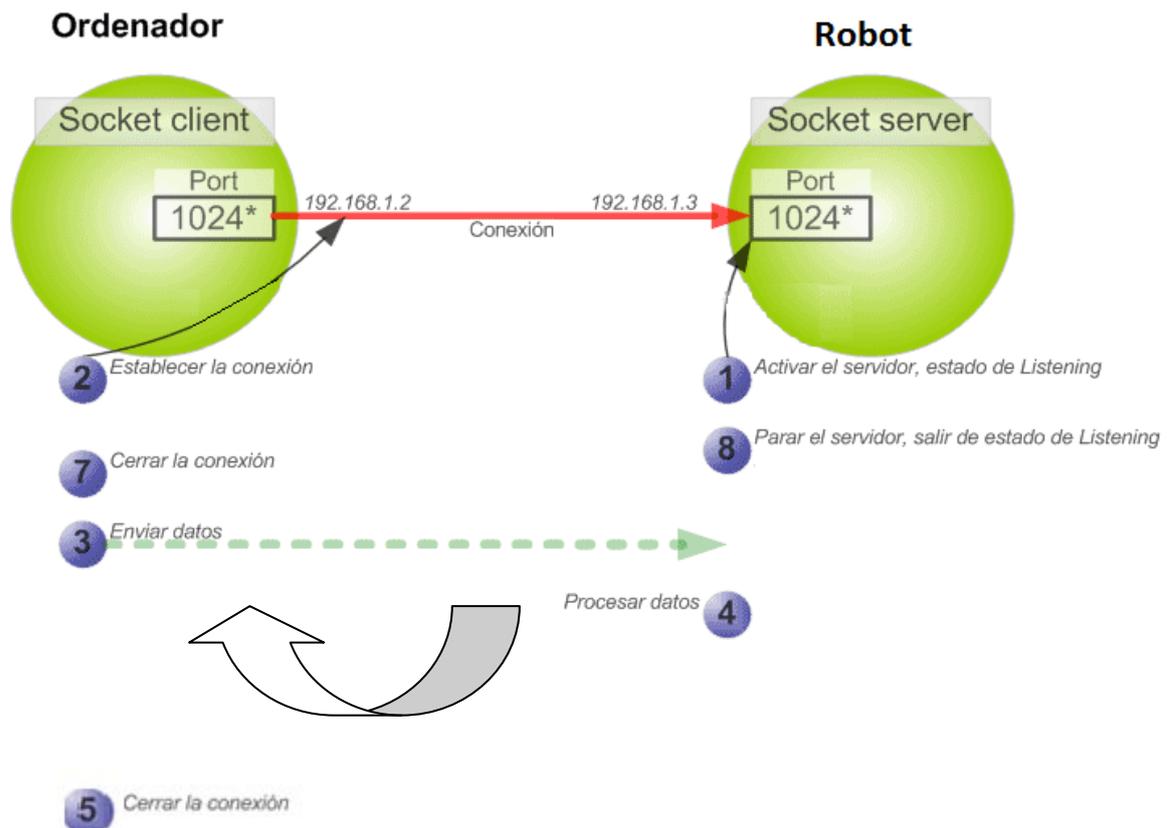


Fig. 4.3. Diagrama de funcionamiento del protocolo de conexión.

- Primero el robot abre la comunicación y se mantiene a la espera de recepción de datos (1).
- Ahora el ordenador se conecta el robot y le empieza a mandar los datos (2 y 3).
- Con los datos enviados el robot realiza el movimiento (4).
- Y ese movimiento se realiza mientras el ordenador sigue mandando datos (3 y 4).
- Cuando se desea cortar la conexión lo único que se ha de hacer es pulsar el botón de “stop” en el programa JR3 del ordenador (5).

#### 4.2.3. Nuevas declaraciones y creación de fichero txt.

Debido a que el software proporcionado por JR3 está diseñado únicamente para extraer y representar los valores obtenidos por el sensor, para adaptarse a la nueva tarea es necesario extraer los valores que el sensor va leyendo para enviárselos al robot ABB. Además, ya que la nueva aplicación permite al usuario almacenar los valores leídos por el sensor, se procede también a la creación del archivo txt encargado de almacenarlos.

En el código 1 se declaran todas las variables implementadas. Se observan cómo se declaran todos los strings que son cadenas de caracteres donde se almacenan los valores de las fuerzas ejercidas por la persona.

Las demás variables son de tipo entero usadas en los contadores y la comunicación así como los límites inferiores y superiores de las fuerzas, etc.

Con las variables “char” definimos una cadena de caracteres que albergara el número de bits de los que está formada la fuerza en cada momento.

También mediante “FILE\*pFile=fopen(“datos\_sensor.txt”)” se genera el txt para almacenar los datos si el usuario lo indica.

```
//Declaraciones de las variables necesarias para la nueva aplicación.

string datofx="",datofy="",datofz="",datomx="",datomy="",datomz="";
string stringlongitudfx="",stringlongitudfy="",stringlongitudfz="";
string datocompleto="";
char charlongitudfx[1],charlongitudfy[1],charlongitudfz[1];
short primeravez=1;
int contador=0;
int nTempx=0;
int nTempy=0;
int nTempz=0;
int longitudfx=0;
int longitudfy=0;
int longitudfz=0;
int maximo=13000;
int minimo=150;
int almacenardatos=0;

//Creación del fichero para almacenar los datos leídos.
FILE * pFile= fopen ("datos_sensor.txt", "w");

.....
.....
```

Código 1: Nuevas declaraciones y creación de fichero txt.

#### 4.2.4. Conexión con el PC.

Esta parte del código es la encargada de realizar la conexión del PC con el robot ABB. Mediante este proceso de conexión que se ejecuta al indicar al PC que se conecte, se procede a comenzar la comunicación con la IP y el puerto que se indican.

También, en esta parte del código que se muestra a continuación se crean las columnas donde se almacenaran los valores de fuerza y par leídos por el sensor para una mayor comodidad del usuario.

Mediante “fputs” se escribe por primera vez el fichero txt para guardar los datos si el usuario lo indica. Para crear una tabla organizada se escriben las columnas de fuerzas y momentos para después guardar los datos debajo.

Se observa como mediante “Cliente.Connect(192.168.133.2”,4410)” se indica al PC la IP del controlador del robot así como el puerto que se va a utilizar para la conexión.

```

.....
.....
//Creación de las columnas en el fichero para almacenar los datos guardados.
    fputs (" Fx    Fy    Fz    Mx    My    Mz",pFile);
    fputs ("\n",pFile);
//Conexión del PC con el robot ABB. Espera de 100 ms para establecer la conexión
correctamente.
Cliente.Connect("192.168.133.2", 4410);
.....
.....

```

Código 2: Conexión con el PC.

#### 4.2.5. Extracción de los valores leídos por el sensor.

Debido a la característica del programa original de JR3 de únicamente representar los valores leídos por el sensor, es necesario el modificar en esta nueva aplicación el código y almacenar en una variable, que formará la trama a enviar, los valores de fuerza que el sensor lee.

En el código 3 ya se encuentra en la aplicación inicial de JR3, y simplemente se añade el comando “atoi” que nos permite extraer el valor de la fuerza y copiarlo en la variable temporal “nTempx” de carácter entero para tratarla después y hacer la trama que se va a enviar.

La necesidad de usar este comando viene impuesto por el formato inicial del valor de la fuerza .Este formato es una cadena de caracteres y resulta extremadamente difícil poder trabajar con ello; de ahí, que se tuviera que cambiar a un valor entero.

Este código se repite otras cinco veces más una por cada fuerza y par del eje x,y,z

```

//Estracción de los valores de fuerza. Conversión mediante atoi a un entero para su
comparación.

msg.Format("%d",off.fx);
m_fx.SetWindowText(msg);
nTempx = atoi (msg);
.....
.....

```

Código 3: Extracción de los valores leídos por el sensor.

#### 4.2.6. Almacenar datos en fichero txt.

Una vez que los tres valores de fuerza y par están almacenados en una variable, si el usuario ha seleccionado la opción de almacenar los datos, las 6 variables pasan a incluirse en una nueva fila del fichero txt creado (código 4).

Mediante “fputs” se indica que cada vez que escriba los valores realice un salto de línea para crear así la tabla. Con el comando “fwrite” se van escribiendo cada uno de los datos que se quieren registrar en el txt.

```

if (almacenardatos==1)
{
    fputs ("\n",pFile);
    fwrite (&datofx,sizeof(datofx),1,pFile);
    .....
    .....

```

Código 4: Almacenar datos en fichero txt.

#### 4.2.7. Rango de medidas a enviar.

Debido a que el rango de medidas obtenidas por el sensor es muy amplio y que los movimientos que realiza el robot son proporcionales a la fuerza ejercida sobre su herramienta se procede a crear un rango entre  $\pm 150$  y  $\pm 13000$  para de este modo ignorar los valores pequeños que producen movimientos cortos cuando el robot está en reposo y valores muy grandes que sacan de rango al robot ABB. De esta manera para valores de menos de 150 en alguno de los ejes el PC enviará un valor de 0 en dicho eje mientras que para valores superiores a 13000 en algún eje el PC enviará un valor de 13000 y no superior. En el código 6 se trata el proceso descrito.

Simplemente en esta parte de código se comprueba que las variables temporales de fuerza (nTempx, nTempy y nTempz) estén dentro de un rango.

Primero se examina el límite inferior, usando la sentencia condicional llamada “if”. Dentro de “if” se comparan valores tanto positivos como negativos. En el caso que no se supere dicho límite el valor de las variables temporales pasan a ser 0.

Después, se miran los límites superiores para enviar el valor de 13000 (positivo o negativo según corresponda) para evitar movimientos muy grandes en el robot. Del mismo modo que se ve en el código tratar el eje x se tratarían los demás ejes.

```

if ((nTempx>minimo) && (nTempx<minimo) && (nTempy>minimo) &&
(nTempy<minimo) && (nTempz>minimo) && (nTempz<minimo))
{
    datofx="";
    datofy="";
    datofz="";
    nTempx=0;
    nTempy=0;
    nTempz=0;
}
if (nTempx<-maximo)
{
    datofx="-13000";
}
else if (nTempx>maximo)
{
    datofx="13000";
}
.....
.....

```

Código 5: Rango de medidas a enviar.

#### 4.2.8. Eliminación de ruido producido por el sensor.

Cuando se produce la conexión entre el sensor JR3 y el PC, el sensor crea unas señales erróneas representando en el PC valores de fuerza importantes cuando realmente el sensor se encuentra en reposo. Si estos valores no fueran eliminados el robot recibiría datos erróneos y realizaría movimientos amplios cuando realmente debería estar parado. Este problema se genera también en la propia interfaz de JR3. En el código 6 se muestra como se trata este error.

El código 6 está formado por un bucle "for" que es realizado 4 veces asignando valores nulos los 4 primeros valores leídos hasta que el sensor se estabiliza y comienza a leer valores correctos. Simplemente se limpian los strings para no enviar nada y que el robot permanezca quieto hasta comenzar a leer las fuerzas.

Usando Cliente.Send(datocompleto) enviamos al robot el valor de la fuerza ,esperando previamente 500 milisegundos para que de tiempo a procesar los datos al robot .Este comando se explicara mas adelante.

```

if (primeravez==1)
{
    for (contador=0;contador<=4;contador++)
    {

        datocompleto="";
        stringlongitudfx="";
        stringlongitudfy="";
        stringlongitudfz="";
        datofx = "";
        datofy = "";
        datofz = "";
        Sleep(500);
        Cliente.Send(datocompleto);
        primeravez=0;
    }
}

```

Código 6: Eliminación de ruido producido por el sensor.

#### 4.2.9. Creación de la trama a enviar.

Una vez que todos los valores de fuerza a enviar se encuentran almacenados en distintas variables, se procede entonces a conocer la longitud de dichas variables para formar la trama. Tras conocer las 3 longitudes y las 3 fuerzas, concatenando estas variables se forma la trama como se puede ver en la Fig 4.5.

Longitud Fx	Longitud Fy	Longitud Fz	Fuerza en x	Fuerza en y	Fuerza en z
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fig. 4.4. Trama de datos enviada.

En el código 7 se observa cómo se crea la trama para la fuerza X (las demás fuerzas se tratan de la misma manera).

Primero se mide la longitud del dato mediante el comando "strlen" y se copia en la variable "logitudfx". Se concatenan las 3 longitudes mediante "datocompleto+=...". Después de igual forma se concatenan los valores de fuerza (datofx, datofy, datofz) para crear la trama completa y enviarle así al robot un único string con toda la información que necesita para realizar el movimiento.

```

longitudfx=strlen(datofx.c_str());
.....
.....
datocompleto+=stringlongitudfx;
.....
.....
//Se completa la trama uniendo todos los valores .
datocompleto+=datofx;
datocompleto+=datofy;
datocompleto+=datofz;

```

Código 7: Creación de la trama a enviar.

#### 4.2.10. Envío de la trama.

En el código 8 se puede ver el proceso encargado de enviar la trama creada. Después de enviar dicha trama se procede a limpiar todos los strings para no tener problemas en los siguientes datos que se envíen.

Lo primero que se observa es el comando “sleep”. Este comando se utiliza debido a la diferencia de velocidad de los procesadores del PC y del robot ABB ,procediendo así a ralentizar los envíos para evitar que el buffer del robot se sature demasiado.

Mediante “Cliente.Send(datocompleto)” se procede a enviar la trama completa creada descrita en el apartado anterior.

La demás parte de código se limita a “limpiar” las variables utilizadas.

```

Sleep(500);
Cliente.Send(datocompleto);
    datocompleto="";
    stringlongitudfx="";
stringlongitudfy="";
    stringlongitudfz="";
    datofx = "0";
    datofy = "0";
    datofz = "0";
    longitudfx=0;
    longitudfy=0;
    longitudfz=0;

```

Código 8: Envío de la trama.

#### 4.2.11. Inicio del envío de datos.

En este apartado se trata la orden que se genera para comenzar a enviar los datos al robot. Esta parte comprueba que la conexión se ha realizado correctamente y que se pueden comenzar a enviar los datos sin problema. En el código 9 se trata el proceso.

```
void ClienteTest::onConnect()
{
    primeravez=1;
}
```

**Código 9: Inicio del envío de datos.**

Mediante *onConnect* se da a conocer el momento que indica que la conexión con el robot se ha realizado correctamente y se procede a indicar que se van a empezar a enviar datos. Mediante la variable *primeravez* se indican que son los primeros datos y que deben ser tratados para evitar los errores descritos en el apartado 4.2.8.

### 4.3. Desarrollo de la recepción e interpretación de los datos desde el robot ABB.

Para la realización del software encargado de recibir los datos leídos por el sensor JR3 y realizar así los movimientos oportunos teniendo en cuenta dichos valores, se ha utilizado un lenguaje en RAPID programado en ROBOT STUDIO.

#### 4.3.1. Declaración de variables.

Al ejecutar el programa, lo primero que realiza es la declaración de las variables necesarias. Dentro de estas variables una de las partes más importantes es la declaración del socket para crear la comunicación con el PC. El string encargado de recibir la trama enviada por el PC así como las variables encargadas de definir el movimiento o indicar la posición actual. Parte del código se muestra en la figura Código 10.

```
MODULE MainModule
.....
.....
VAR string received_string;
.....
.....
VAR robtargt posactual;
```

Código 10: Declaración de variables más importantes.

La variable “received\_string” es la encargada de copiar la trama enviada por el PC para más tarde ser tratada para la correcta interpretación del robot. Por otra parte, “posactual” se trata de la variable encargada de guardar las coordenadas de la posición en la que se encuentra el robot para continuar el movimiento dependiendo de la fuerza desde la posición actual.

### 4.3.2. Creación de la conexión.

Dentro del proceso principal (main) se configura la parte de conexión y creación del socket la cual únicamente se realiza la primera vez que se ejecuta el programa.

```

PROC main()
!Creación del socket y espera de conexión. Solo se realiza la primera vez.
IF (conectar=0) THEN
SocketCreate temp_socket;
SocketBind temp_socket, "192.168.133.2", 4410;
SocketListen temp_socket;
SocketAccept temp_socket, client_socket;
!Desactivación de la supervisión del movimiento.
MotionSup \Off;

```

Código 11: Creación de la conexión.

En esta parte tras la creación del socket (SocketCreate) se indica al robot la IP (192.168.133.2) del PC así como el puerto (4410) por el cual se debe conectar. Se prepara la escucha de la conexión y esta espera a que el PC solicite conectarse.

Tras la realización de la conexión se configura para la desactivación de la supervisión de los movimientos del robot, permitiendo así que este realice movimientos no tan controlados (se desactiva MotionSup). Una vez se realizan estos ajustes se codifica el programa para evitar que la conexión se vuelva a realizar ya que la comunicación ya se encuentra creada.

### 4.3.3. Generación del movimiento.

Para que el robot se desplace y realice un movimiento desde su posición actual, primero es necesario conocer las coordenadas del extremo de su herramienta para crear el movimiento desde la posición en la que se encuentra en ese momento. A continuación se ve la parte de código descrita.

```

posactual := CRobT(\Tool:=tool0 \WObj:=wobj0);
MoveJSync Offs (posactual,offfx,offfy,offfz), v100, z50, tool0, "leer";

```

Código 12: Generación del movimiento.

Se observa que tras la localización en el espacio de esa posición (CRobT), se procede a realizar un movimiento de offset mediante la instrucción MoveJSync la cual permite a la vez de realizar el movimiento ejecutar el proceso de leer los datos encargado de recibir la información leída por el sensor (Vease punto 4.3.4). En la instrucción "MoveJSync Offs" se indican también la velocidad para realizar el movimiento. Tras la realización de pruebas del programa se llegó a la

conclusión el no subir demasiado esta velocidad ya que al finalizar el movimiento cuando el robot frena al alcanzar el punto, si la velocidad es muy grande se genera una fuerza y un par que al leerlas el sensor, vuelve a realizar otro movimiento no provocado.

#### 4.3.4. Extracción de la trama.

La parte del código descrita en este punto es la encargada de recibir la trama de datos enviada por el PC y situar cada uno de los datos en las variables creadas. A continuación se puede ver la parte de código encargada de recibir y extraer la trama enviada por el PC.

```

PROC leer()
  !Recepción del dato enviado por el PC.
  SocketReceive client_socket \Str:=received_string;
  !Extracción de las longitudes de los valores de fuerza.
  bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,1,1),lenfx);
  bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,2,1),lenfy);
  bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,3,1),lenfz);
  !Extracción de los valores de fuerza.
  bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,4,lenfx),numfx);
  bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,4+lenfx,lenfy),numfy);
  bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,4+lenfx+lenfy,lenfz),numfz);
  !Valor nulo al string.
  received_string := "";

```

Código 13: Extracción de la trama.

Se observa como los primero que se extrae de la trama son los 3 valores de las longitudes de las fuerzas (lenfx, lenfy, lenfz), ya que debido al rango amplio de captura que proporciona el sensor, esta longitud varia y tiene que ser enviada todas las veces. Después, conociendo ya la longitud de esas fuerzas es más sencillo buscar los valores exactos de fuerza ya que se conoce donde comienzan y donde terminan dichos valores. Es entonces cuando se extraen “numfx”, “numfy” y “numfz”. Por último se iguala “received\_string” a <<””>> para “limpiar” dicha cadena de caracteres y esperar el nuevo dato.

## 4.4. Modificaciones la nueva interfaz para la aplicación.

### 4.4.1. Funciones principales del nuevo software.

Las principales funciones del nuevo software obtenido mediante la modificación del proporcionado por JR3 son principalmente las siguientes:

- Comunicación y envío de datos desde el PC al robot ABB. Mediante esta característica, el nuevo software permite al usuario enviar los valores capturados por el sensor de fuerza par al robot ABB.
- Botones de conexión, start y stop. Botones con funciones similares a las del software original que gestionan el comienzo de la comunicación del sensor con el PC y la representación de los valores leídos.
- Representación de los valores de fuerza y par. Al igual que la aplicación original de JR3, la nueva aplicación permite al usuario ver los valores de fuerza para ejercidos en el sensor.
- Almacenar datos de sensor JR3. La nueva aplicación permite al usuario almacenar los datos representados en la interfaz en un archivo .txt.

### 4.4.2. Descripción del interfaz

Esta nueva interfaz se ha reducido, como se ha comentado anteriormente, y adaptado para que cumpla de la forma más eficaz las especificaciones que el proyecto exigía.

En la Fig 4.5 siguiente se puede ver la interfaz adaptada.

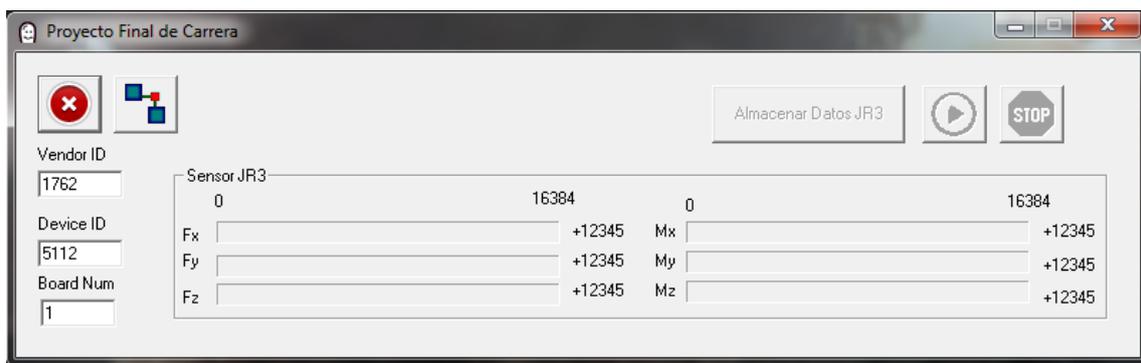
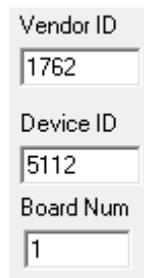


Fig. 4.5. Interfaz Sensor JR3 Adaptada

Se describen a continuación las principales características del interfaz adaptado de JR3:

- El primer paso para poder usar el programa es conectar la aplicación con la tarjeta de recepción de datos y para ello se tienen que introducir unos valores. Estos se encuentran definidos en la Fig 4.6 y hacen referencia a la identificación del fabricante y del dispositivo una vez instalado en el bus de conexiones de la placa base.



Vendor ID  
1762

Device ID  
5112

Board Num  
1

Fig. 4.6. Datos de conexiones.

- Una vez introducidos los datos se tiene que presionar el botón de conectar el programa con la tarjeta de recepción de datos. Este botón se encuentra en la Fig 4.7.

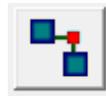


Fig. 4.7. Botón de conectar

- Una vez conectado con la tarjeta para visualizar los datos que el sensor está enviando se encuentra el botón de Start Fig 4.8.



Fig. 4.8. Botón Visualizar valores.

- Estos valores de fuerza y par se representan como se puede ver en la Fig 4.9 con un rango comprendido entre  $-16384$  y  $+16384$ . Estos valores se ordenan en dos columnas la de la derecha para la fuerza y la izquierda para el par. Ambos valores son enviados por el sensor en función de los tres ejes cartesianos X,Y,Z.

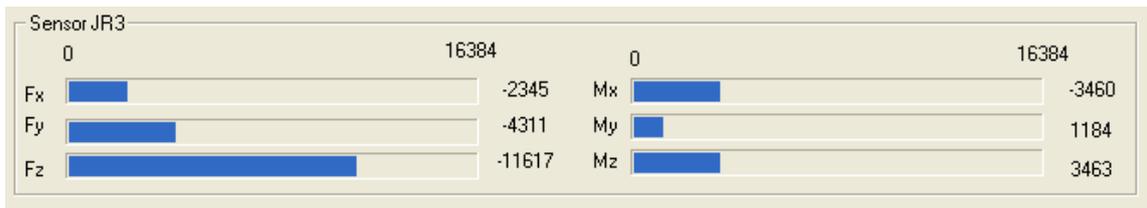


Fig. 4.9. Valores medidos por el sensor.

- Si se quiere parar de visualizar los valores y mantenerlos fijos en pantalla se encuentra el botón de stop representado en la Fig 4.10 y con el que se puede parar la visualización.



Fig. 4.10. Botón de stop para la visualización de datos.

- Por último el botón ALMACENAR DATOS JR3 representado en la Fig 4.11 es el encargado de generar un archivo txt que guarde los datos leídos por el sensor.

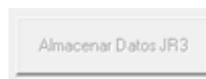


Fig. 4.11. Botón almacenar datos JR3.

Dichos valores se representan en 6 columnas; fuerza del eje x , fuerza del eje y, fuerza del eje z, par en eje x, par en eje y, par en eje z; de derecha a izquierda respectivamente. En la Fig 4.12 se puede observar un ejemplo del archivo txt generado.

Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
2	12	-4	12	-8	2
-4	6	-5	8	4	0
0	-1	-1	-4	2	1
-5	1	-2	0	4	2
4	1	-2	0	5	1
3	-1	4	-6	0	2
-6	11	-5	13	5	0
-8	-4	-5	-5	2	1
-9	4	-2	0	6	1
-6	-5	-6	-9	5	2
0	6	-6	3	-4	-1
1	17	1	20	-3	3
38	88	-40	187	-109	0
1234	-820	-9867	1666	1089	-342
2025	-1739	-14292	-1929	-4031	-382
5742	-1899	-15964	-1453	-10895	-328
5837	-2413	-15634	-3080	-11479	-261
6128	-2048	-16257	-3886	-12509	-204
6977	-2775	-17436	-3894	-14822	-157
5848	-2038	-17431	-2876	-11161	-150
6536	-2427	-17225	-3762	-12572	-180
7024	-2363	-18116	-3205	-13634	-44
6769	-2589	-17468	-3717	-12851	-29
-703	581	-13487	925	344	77
-6155	1190	-14258	1909	10142	6
-11125	1869	-12944	2515	22132	-309
-21702	1826	-13861	493	32766	-106
-18285	-1770	-12284	-6844	32766	-58
-7585	-4054	-12611	-9006	12085	-109
-5678	-1902	-12505	-5439	11311	-268

Fig. 4.12. Archivo .txt generado con los valores del sensor.

## 5. INSTRUCCIONES DE PUESTA EN MARCHA.

En este apartado se definirán los procedimientos que se tienen que seguir para poder controlar el robot mediante el sensor JR3.

### 5.1. Puesta en marcha hardware.

#### 5.1.1. Conexión del hardware.

- El primer paso es colocar el sensor JR3 en la punta del robot y conectarlo al ordenador como se muestra en la 5.1.



conector con el robot y el ordenador.

- Una vez se asegura la conexión se procederá al encendido del robot girando el botón de la figura 5.2.

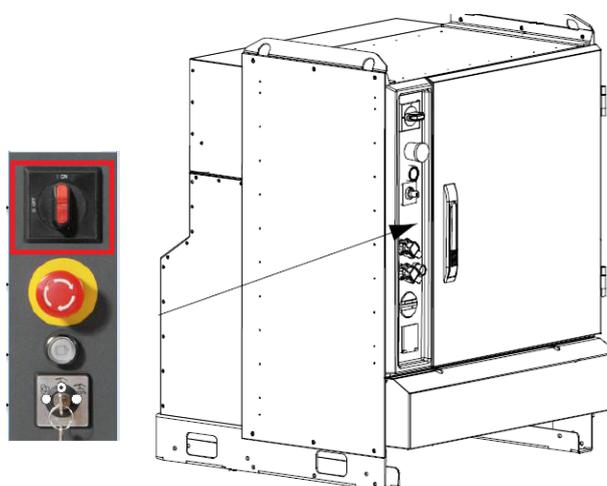


Fig. 5.2. Botón de encendido del robot.

- El robot ABB se puede colocar en modo automático o manual con el botón de la figura 5.3 dependiendo simplemente de si se desea mantener apretado el pulsador de seguridad ; para poder así permitir el movimiento del robot .



Fig. 5.3. Botón de selección de modo.

## 5.2. Puesta en marcha del software.

- Seleccionado el modo de funcionamiento; se ejecuta el programa de rapid con el botón de play de la figura 5.4 abriendo el editor de programas con anterioridad. Con eso conseguimos que el robot se quede a la espera de recibir los datos del sensor.

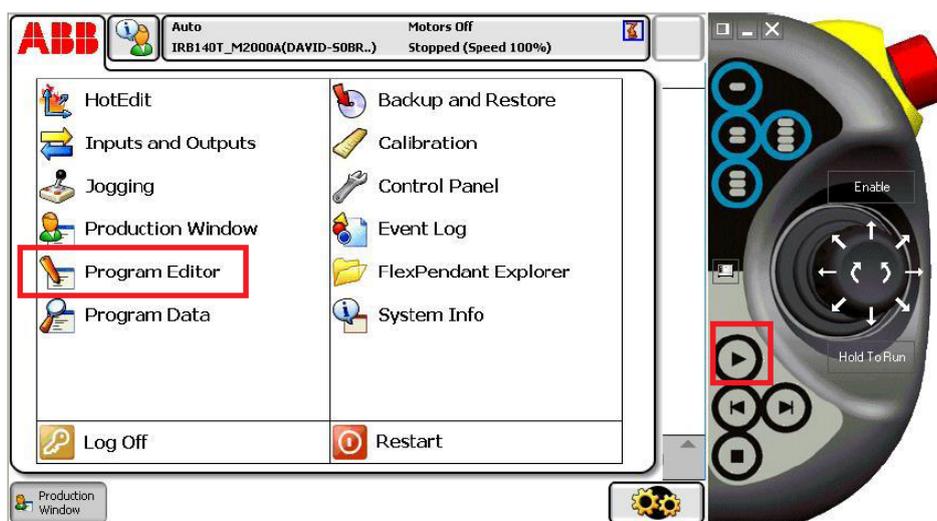


Fig. 5.4. Botón de inicio programa en Rapid.

- Después de esto se abre el ejecutable del programa de control del sensor JR3 y se pulsa el botón conectar como se ve en la figura 5.5 para así abrir el canal de comunicación entre el sensor y el ordenador.

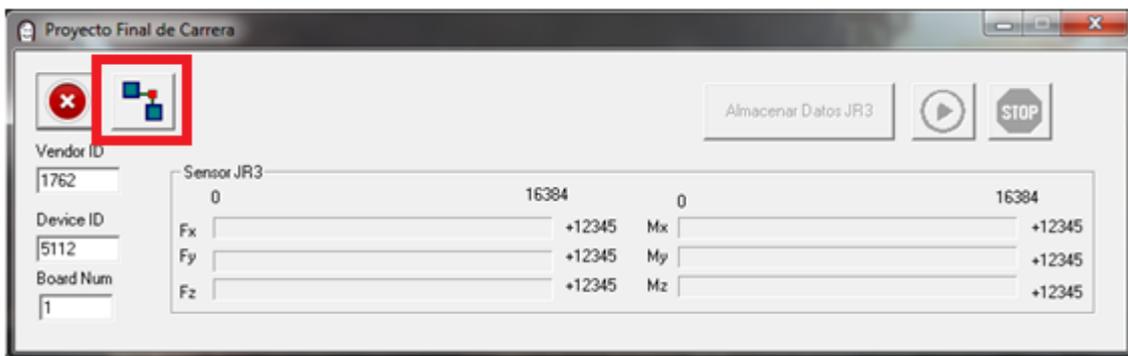


Fig. 5.5. Botón de conectar.

Cuando se desee empezar a recibir los datos se pulsa el botón de la figura 5.6 y estos se verán en la pantalla del ordenador y al mismo tiempo serán enviados al robot para que este inicie el movimiento. Los botones restantes se explican en el capítulo 4.4 de la interfaz del programa del JR3.



Fig. 5.6. Botón de play.

- Para acabar todas las conexiones primero se pulsa stop de la figura 5.7, parando la lectura de los datos del sensor y el botón de la figura 5.5 para desconectar y poder cerrar el programa.



Fig. 5.7. Botón de stop.

- Por último para finalizar la ejecución del programa en rapid se pulsa el botón que esta remarcado en la figura 5.8 y se apaga el robot girando el interruptor de la figura 5.2

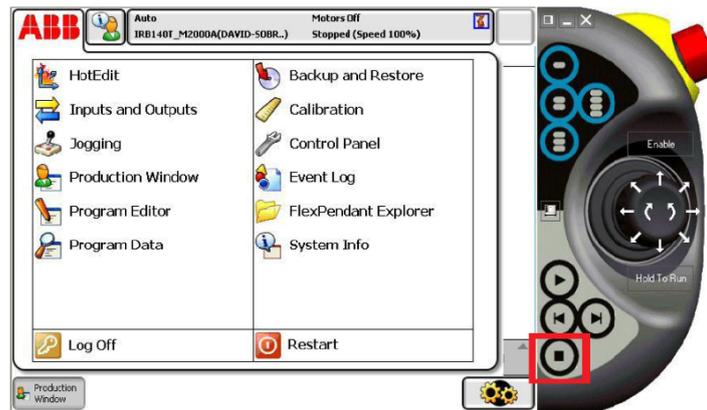


Fig. 5.8. Botón de finalizar programa en Rapid.

## 6. EXPERIMENTOS Y COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.

### 6.1. Medidas recogidas por el sensor JR3.

Para la comprobación del funcionamiento del sensor fuerza par JR3, se procede en este punto a ejercer sobre él fuerzas conocidas mediante pesas para estudiar así las medidas obtenidas. Se recogen en los siguientes puntos los valores obtenidos para pesas de 1, 3 y 5 kg en los distintos ejes de medida del sensor.

Los valores de escala aplicados en las lecturas son los configurados por defecto en la interfaz proporcionada por JR3.

Cabe destacar que para la realización de las medidas se ha realizado un reset justo antes de aplicar las fuerzas conocidas despreciando de este modo las masas ejercidas por el extremo del robot u otras partes que puedan afectar a las medidas.

#### 6.1.1. Medida de fuerza en eje z.

Mediante la colocación de pesas situando el extremo del robot en posición vertical se pretenden observar los valores obtenidos en el eje z. En la Fig 6.1 se muestra la colocación de la pesa para esta medición.



Fig. 6.1. Medida de fuerza en eje z.

➤ **Pesa de 1 kg.**

En primer lugar, se comienza ejerciendo sobre el sensor una fuerza conocida aproximada de 10N mediante una pesa de 1kg de la cual se obtienen los siguientes resultados representados en la Fig 6.2.

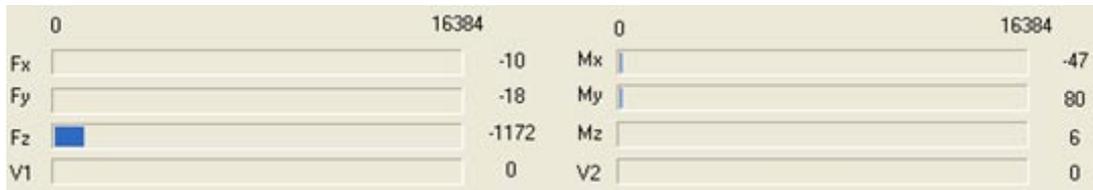


Fig. 6.2. Fuerza en eje z – 1 Kg.

Se observa que se obtiene un valor de -1172 debido a la escala que el programa de JR3 aplica por defecto. Debido a este primer valor obtenido se puede intuir que la escala aplicada al valor leído representa aproximadamente por cada Newton de fuerza, 100 unidades en la interfaz. El sentido lo indica el signo del valor obtenido ya que se trata de una fuerza en sentido negativo sobre el eje z del sensor JR3.

➤ **Pesa de 3 kg.**

Al igual que en el caso anterior, se procede ahora a aplicar sobre el extremo del robot una fuerza aproximada de 30N la cual proporciona los valores obtenido en la Fig 6.3.

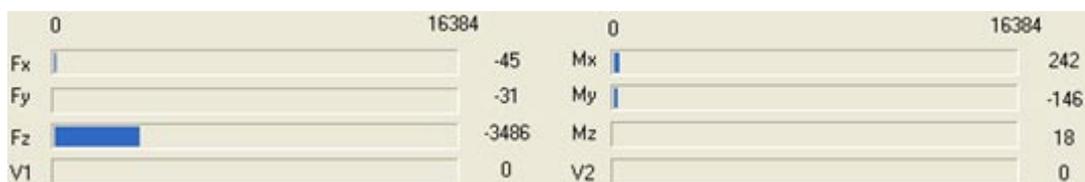


Fig. 6.3. Fuerza en eje z – 3 Kg.

El valor obtenido es de -3486 que tomando en cuenta la escala aplicada por defecto se aproxima al valor que se debería obtener.

➤ **Pesa de 6 kg.**

Como en los casos anteriores se representa en la Fig 6.4 los valores obtenidos para una pesa de 6 kg.



Fig. 6.4. Fuerza en eje z – 6 Kg.

Se observa que el valor obtenido es de -7024. Debido a que anteriormente se han ido obteniendo unos valores aproximados de 1100 por cada 10 N de fuerza aplicados, la suma de todos esos errores hacen que el valor se aleje un poco más del que se esperaba obtener.

En la Tabla 6.1 se recogen todos los valores obtenidos para cada una de las tres pesas de 1, 3 y 6 kg. Debido a la sensibilidad del sensor se observa como a pesar de que la fuerza se aplica principalmente en el eje z, los demás ejes también soportan una fuerza aunque de menor magnitud.

PESO (Kg)	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	-10	-18	-1172	-47	80	6
3	-45	-31	-3486	242	-146	18
6	-119	-29	-7024	786	-348	43

Tabla 6 1. Valores de fuerza en eje z.

En la siguiente grafica (Fig 6.5) se puede observar una variación casi lineal en las medidas del sensor mientras que se va aumentando el peso sobre el eje Z.

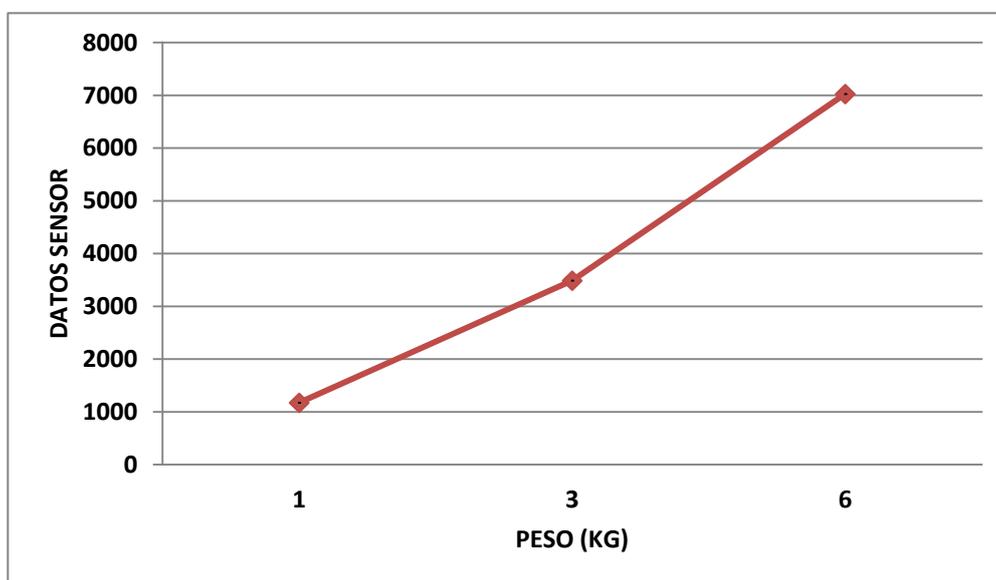


Fig. 6.5. Tabla datos sensor frente a peso eje Z.

### 6.1.2. Medida de fuerza en eje y – Par en eje x.

Para realizar las medidas de las fuerzas aplicadas en el eje y y el par en el eje x se sitúan las pesas de la manera que muestra la Fig 6.6. Debido a la forma de sujeción del extremo del robot con el sensor mediante los tornillos, estas medidas pueden sufrir algunas variaciones con los valores realmente esperados.



Fig. 6.6. Medida de fuerza en eje y – Par en eje x.

#### ➤ Pesa de 1 kg.

En la Fig 6.7 se ven los resultados obtenidos al situar en el extremo del robot una pesa de 1 kg que ejerce la mayor parte de la fuerza sobre el eje y. También, por el hecho de situarse en el extremo, ejerce un par sobre el extremo del robot en el eje x.

0	16384	0	16384
Fx	-81	Mx	9884
Fy	3470	My	-126
Fz	-150	Mz	-68
V1	0	V2	0

Fig. 6.7. Fuerza en eje y – Par en eje x – 1 Kg.

Se observa que el valor de fuerza obtenido es de 3470. Como se explica anteriormente, esto se debe a que debido a la forma de las chapas que sujetan el sensor y de la herramienta utilizada en el robot, la fuerza ejercida en el extremo afecta al sensor en otra magnitud. De igual manera, el efecto del par no proporciona valores que realmente demuestren que son datos reales.

➤ **Pesa de 3 kg.**

En la Fig 6.8 se muestran los valores para una masa en este caso de 3 kg.

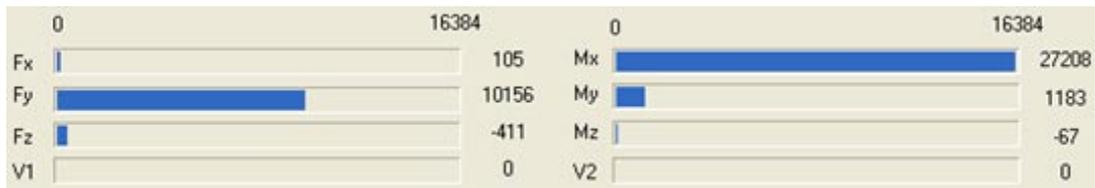


Fig. 6.8. Fuerza en eje y – Par en eje x – 3 Kg.

Destacar de esta imagen principalmente el hecho de que los valores obtenidos son aproximadamente el triple de los leídos con 1 kg, es decir, aumentan de manera proporcional correctamente.

➤ **Pesa de 6 kg.**

En la Fig 6.9 se muestran los valores obtenidos para el caso de 6 kg.

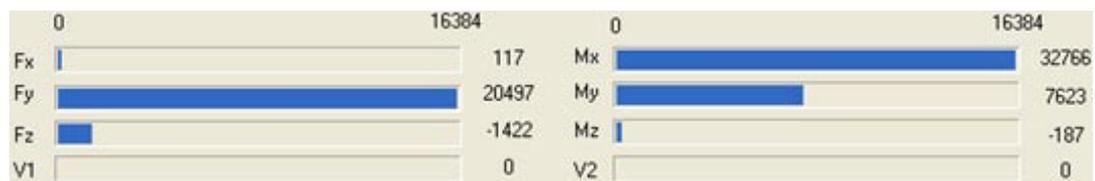


Fig. 6.9. Fuerza en eje y – Par en eje x – 6 Kg.

De nuevo en este caso se ve como la fuerza y el par aumentan de manera proporcional a la masa que se sitúa en el extremo.

En la Tabla 6.2 se ven reflejado todos los valores obtenidos al aplicar la fuerza en el eje y y el par en el eje x.

PESO (Kg)	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	-81	3470	-150	9884	-126	-68
3	105	10156	-411	27208	1183	-67
6	117	20497	-1422	32766	7623	-187

Tabla 6.2. Valores de fuerza en eje y – Par en eje x.

Con la figura 6.10 se puede observar una variación casi lineal de los datos enviados por el sensor a medida que se va aumentando en peso sobre el eje Y.

Los valores aquí obtenidos reflejan un crecimiento prácticamente lineal, sobre todo en la fuerza, puesto que en los valores del momento intervienen otros factores produciéndose así pequeñas desviaciones en los datos (Vease Fig 6.10).

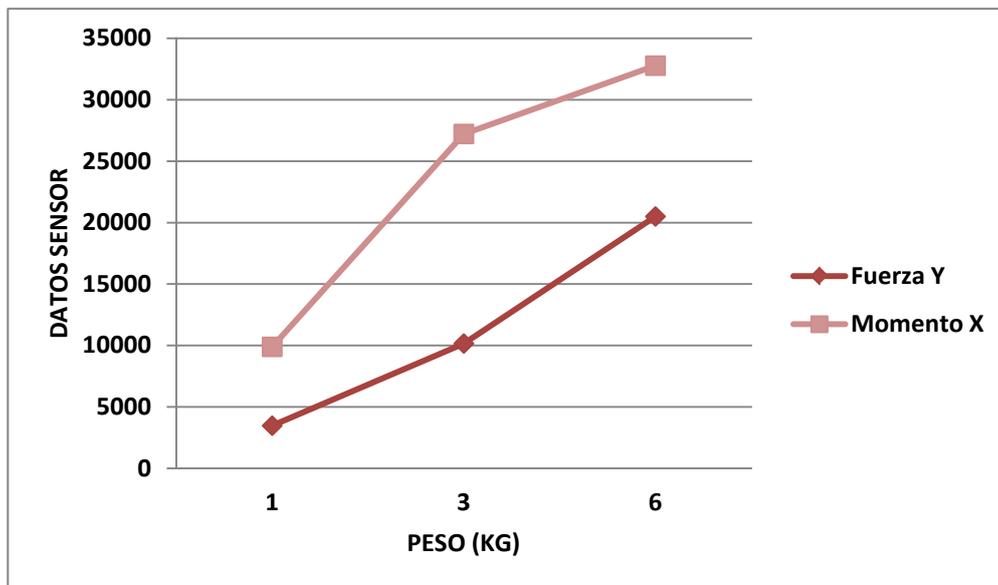


Fig. 6.10. Tabla fuerza Y, momento X frente a peso.

### 6.1.3. Medida de fuerza en eje x – Par en eje y.

Muy similar a los valores recogidos por el sensor en el punto anterior ya que la única diferencia de este caso con el que le precede es el eje sobre el que se aplica las fuerzas. En la Fig 6.11 se muestra como se toman los datos en este caso.



Fig. 6.11. Medida de fuerza en eje x – Par en eje y.

➤ **Pesa de 1 kg.**

Como en los casos anteriores, en la Fig 6.12 se muestran los valores obtenidos para la masa de 1 Kg.

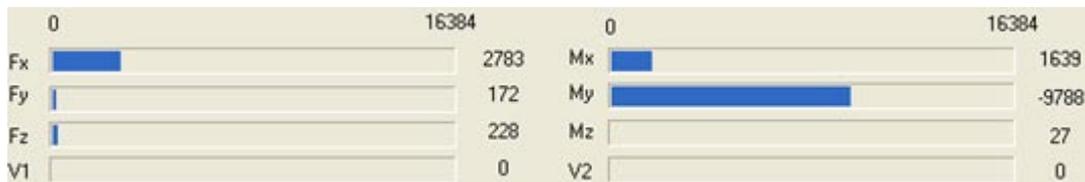


Fig. 6.12. Fuerza en eje x – Par en eje y – 1 Kg.

Como en el caso anterior, la fuerza y el par leídos son similares. Nuevamente se ve que debido a la forma de sujeción del sensor con la herramienta del robot la fuerza ejercida en el extremo no llega a ser la esperada obtenida en el sensor aunque si se asemeja.

➤ **Pesa de 3 kg.**

Se muestran en la Fig 6.13 los valores obtenidos para una masa de 3 Kg situada en el extremo de la herramienta del robot.

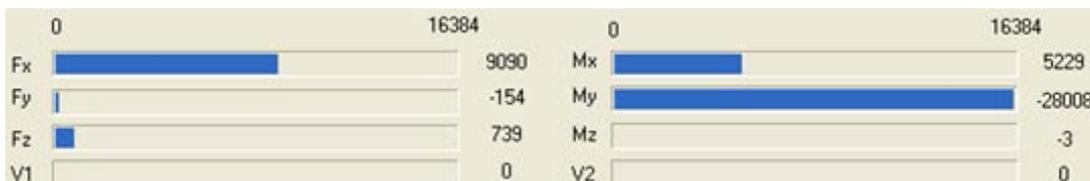


Fig. 6.13. Fuerza en eje x – Par en eje y – 3 Kg.

Los valores obtenidos crecen proporcionalmente. Cabe destacar también la influencia del valor de Mx que debido a la dificultad de situar el par únicamente sobre el eje y, comienza a tomar valores importantes que se deben tener en cuenta.

➤ **Pesa de 6 kg.**

Valores para masa de 6 kg representados en la Fig 6.14.

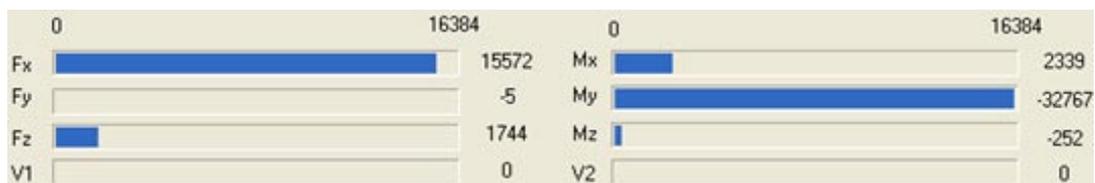


Fig. 6.14. Fuerza en eje x – Par en eje y – 6 Kg.

Valores normales obtenidos por el sensor de los cuales cabe destacar la pequeña corrección del par aplicado sobre el eje x para la realización de esta medida.

En la Tabla 63 se muestra recogido un resumen de los valores obtenidos en este caso.

PESO (Kg)	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	2783	172	228	1639	-9788	27
3	9090	-154	739	5229	-28008	-3
6	15573	-5	1744	2339	-32767	-252

Tabla 63. Valores de fuerza en eje x – Par en eje y.

Con la figura 6.15 se puede observar una variación casi lineal en las medidas del sensor mientras se va aumentando el peso sobre el eje Z.

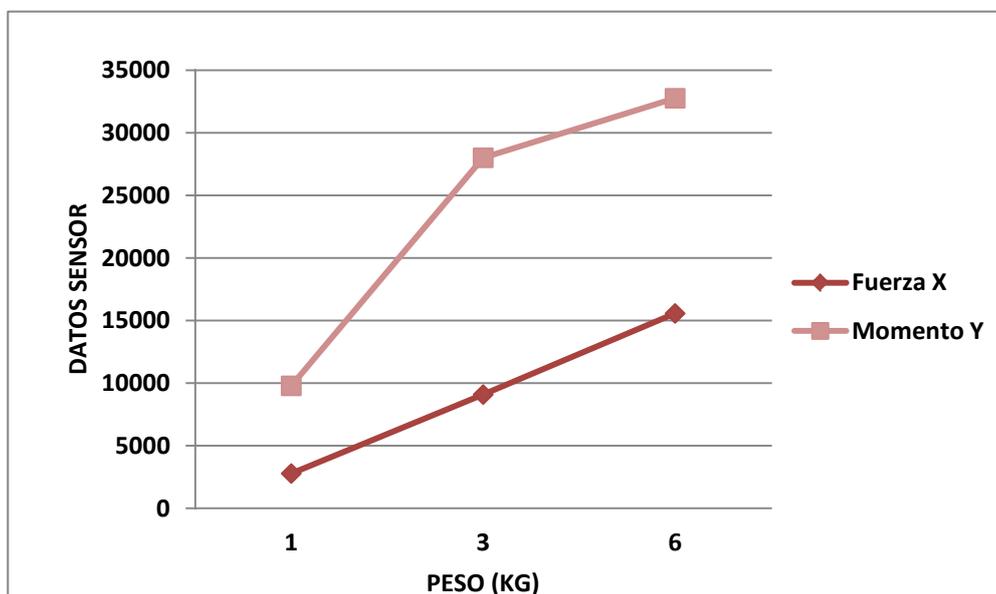


Fig. 6.15. Medidas de fuerza eje X, momento Y frente a peso

Los resultados son muy parecidos a la gráfica anterior figura 6.14 pudiendo sacar así las mismas conclusiones

#### 6.1.4. Par en eje z.

En las siguientes medidas se procede a situar en el extremo de la herramienta del robot ABB una varilla perpendicular a la herramienta la cual permita aplicar un par al extremo del sensor y leer los datos obtenidos. En la Fig 6.16 se observa cómo se coloca dicha varilla para la captura de los datos.



Fig. 6.16. Medida del Par en eje z.

➤ **Pesa de 1 kg.**

En la Fig 6.17 se observan los resultados obtenidos para masa de 1 kg en este caso.

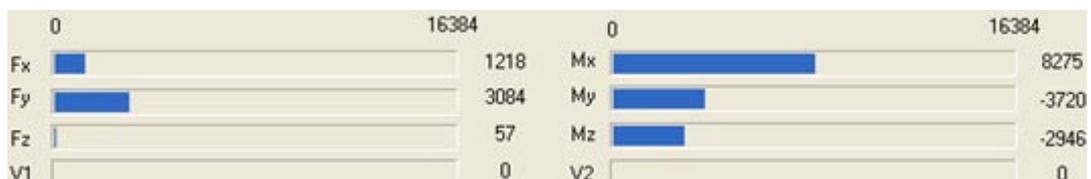


Fig. 6.17. Par en eje z – 1 Kg.

Se observa como los valores de M<sub>x</sub> y M<sub>y</sub> también toman valores importantes ya que al aplicar el par sobre el eje z, inevitablemente también se aplica un par en los otros dos ejes.

➤ **Pesa de 3 kg.**

Para una masa de 3 kg se representan en la Fig 6.18 los valores obtenidos.

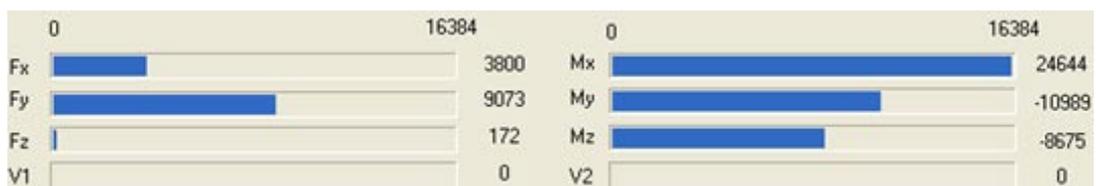


Fig. 6.18. Par en eje z – 3 Kg.

De nuevo cabe resaltar la proporcionalidad con la que los valores de par aumentan proporcionalmente a la masa.

➤ **Pesa de 6 kg.**

Valores obtenidos para una masa de 6 kg representados en la Fig 6.19.

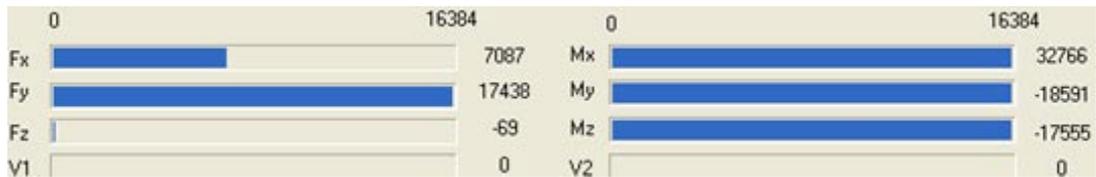


Fig. 6.19. Par en eje z – 6 Kg.

Se observan valores aparentemente normales teniendo en cuenta las situaciones descritas anteriormente.

En la Tabla 34 se resumen todos los valores obtenido en este punto.

PESO (Kg)	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	1218	3084	57	8275	-3720	-2946
3	3800	9073	172	24644	-10989	-8675
6	7087	17438	-69	32766	-18591	-17555

Tabla 6 4. Valores de Par en eje z.

Con la figura 6.20 se puede observar una variación casi lineal en las medidas del sensor mientras se va aumentando el peso sobre el eje Z.

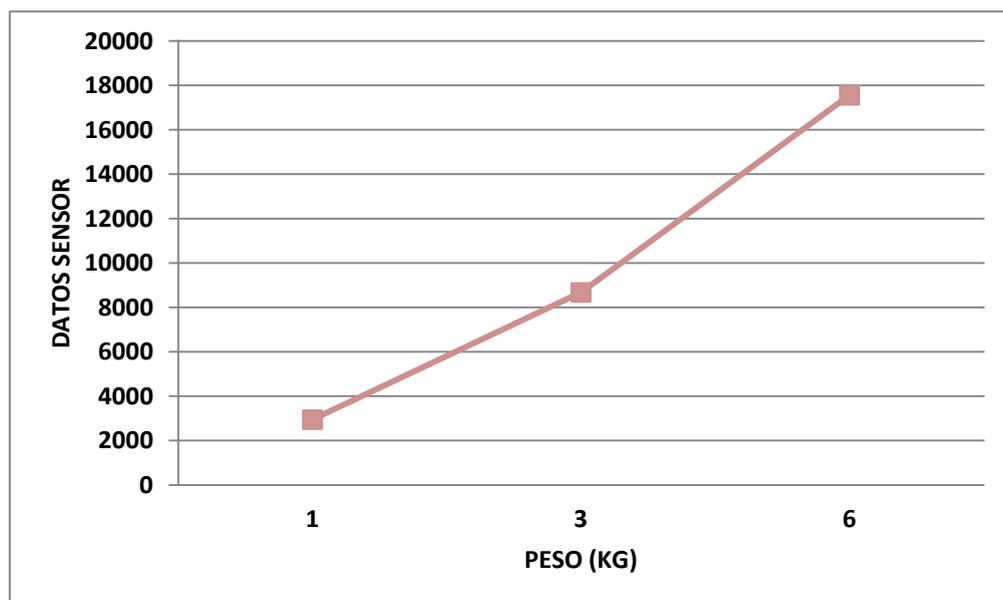


Fig. 6.20. Medidas de fuerza eje Z frente a peso.

### 6.1.5. Conclusiones

Después de haber realizado las diferentes pruebas en el sensor colocando los varios tipos de pesos en los ejes del sensor y analizando las distintas gráficas, se puede llegar a una clara conclusión en que a pesar de los pequeños errores de medición el sensor JR3 está perfectamente calibrado pudiendo tener absoluta confianza en la veracidad en los valores que son enviados por este.

### 6.2. Análisis de movimientos.

En este punto se estudiara todo el proceso de tratamiento de los datos desde que son enviados hasta que se ejecutan; pudiendo obtener el tiempo de respuesta y duración del movimiento del robot y la frecuencia de envío de datos.

La obtención de estos valores es de gran importancia para trabajos futuros o ampliaciones, puesto que se tendría una referencia de tiempos desde la que partir para optimizar el manejo del robot.

Se analizan los movimientos que ejecuta el robot en los tres ejes de coordenadas de la figura 6.21 y en las dos sentidos de forma independiente de los demás ejes y posteriormente se compararan obteniendo una visión global de los resultados.

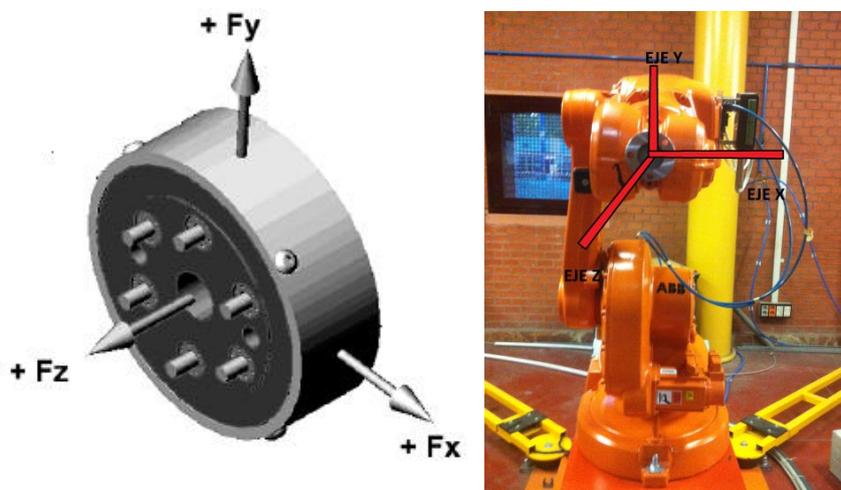


Fig. 6.21. Direcciones de desplazamiento del robot.

A continuación se procede al estudio de los movimientos, ayudados del archivo .txt que genera el código con los valores de fuerza leídos y la utilización de gráficas y tablas para una mayor comprensión.

## 6.2.2. Movimientos sobre el eje X.

Los movimientos estudiados son los que se producen a lo largo del eje X como muestra la figura 6.22.

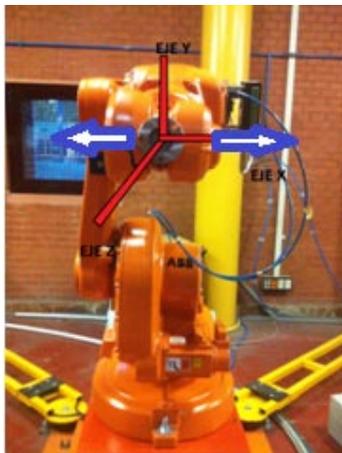


Fig. 6.22. Desplazamiento sobre eje X.

### 6.2.2.2 Desplazamiento en sentido positivo, eje x.

En la muestra de datos leídos por el sensor de la figura 6.23 se resaltan los valores de la fuerza aplicada. El programa selecciona solo los valores superiores a 150 para ser enviados puesto que el resto son errores de lectura.

Para evitar las constantes salidas de rango en los movimientos al enviarle datos muy grandes al robot, el valor máximo que se enviara será de 13000 para todos los datos leídos que sean superiores a dicho valor.

Fx			Fy			Fz
3	0	0	-3	0	0	1
-2	0	0	8	0	0	-4
19	0	0	15	0	0	3
6	0	0	-10	0	0	3
20	0	0	7	0	0	3
2	0	0	-5	0	0	1
1	0	0	5	0	0	5
0	0	0	-5	0	0	2
-1	0	0	-13	0	0	4
-4	0	0	-12	0	0	3
-1	0	0	-11	0	0	1
828	0	0	-250	0	0	-13
23510	0	0	-6631	0	0	1279
25656	0	0	-7688	0	0	1172
25469	0	0	-7184	0	0	1086
25459	0	0	-7204	0	0	1045
24968	0	0	-7042	0	0	1215
24734	0	0	-6871	0	0	1292
22763	0	0	-4109	0	0	1693
24064	0	0	178	0	0	1809
20775	0	0	3956	0	0	1698
20024	0	0	5073	0	0	1523
19017	0	0	9198	0	0	1700
17886	0	0	11000	0	0	1842
26516	0	0	-3998	0	0	845
26445	0	0	-13140	0	0	274
21614	0	0	-9909	0	0	720
193	n	n	-134	n	n	-173

Fig. 6.23. Valores desplazamientos sentido positivo eje X.

De forma teórica se puede calcular el tiempo que tarda en recorrer los valores enmarcados y la frecuencia de envío de estos.

Desde el programa en Rapid se puede conocer la posición inicial de la que parte el robot y la posición final al acabar el movimiento. Obteniendo así la distancia que recorre el robot en milímetros reflejados en la tabla 6.5.

	X	Y	Z
<b>Punto inicial</b>	1019.11	83.55	963.85
<b>Punto final</b>	471.52	24.35	918.95
<b>Inicial - Final</b>	547.59	59.20	44.90

Tabla 6.5. Distancia total en milímetros del desplazamiento.

Con una distancia calculada de 548 mm y sabiendo que la velocidad del robot puesta por software es de 100 mm/s obtenemos el tiempo total del desplazamiento figura 6.6.

Distancia (mm)	Velocidad (m/s)	TIEMPO (s)
548	100	5,48

Tabla 6.6. Tiempo total del movimiento.

Sabiendo el tiempo del desplazamiento y dividiéndolo entre el total de datos, calculamos la frecuencia de envío, tabla 6.7.

Tiempo (s)	Numero de datos	Frecuencia de envío (s)
5,48	16	0,3425

Tabla 6 7. Frecuencia de envío de datos.

Una vez obtenidos los datos teóricos se estudiarán los prácticos para un posterior análisis del movimiento.

En la tabla 6.8 se puede ver un resumen de cuáles son los valores de fuerza aplicados, cuales son valores que el programa envía y la distancia en milímetros que se desplaza en robot en proporción a la fuerza aplicada.

El desplazamiento en milímetros es calculando por el programa dividiendo los datos recibidos entre 100.

En la última columna queda reflejado el tiempo que tarda el robot en ejecutar cada movimiento. Para calcularlo simplemente se ha dividido la distancia en milímetros entre la velocidad del robot de 100mm/s.

Nº	Leídos por el sensor	Enviados al robot	Distancia en (mm) del movimiento a realizar	Tiempo (s) que tarda en ejecutar el movimiento
1	828,00	828,00	8,28	0,08
2	23510,00	13000,00	130,00	1,30
3	25656,00	13000,00	130,00	1,30
4	25469,00	13000,00	130,00	1,30
5	25459,00	13000,00	130,00	1,30
6	24968,00	13000,00	130,00	1,30
7	24734,00	13000,00	130,00	1,30
8	22763,00	13000,00	130,00	1,30
9	24064,00	13000,00	130,00	1,30
10	20775,00	13000,00	130,00	1,30
11	20024,00	13000,00	130,00	1,30
12	19017,00	13000,00	130,00	1,30
13	17886,00	13000,00	130,00	1,30
14	26516,00	13000,00	130,00	1,30
15	26445,00	13000,00	130,00	1,30
16	21614,00	13000,00	130,00	1,30

Tabla 6 8. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje X positivo.

Los valores que se encuentran enmarcados son aquellos que el robot tiene en cuenta; puesto que no se utiliza un valor de fuerza hasta que termine de ejecutarse el valor anterior.

A continuación se mostrará gráficamente todos los movimientos que ejecuta el robot a lo largo de su trayectoria.

Con la figura 6.24 se representa la longitud del movimiento que realiza el robot y el tiempo que tarda en ejecutar ese desplazamiento.

Con las barras verticales se representa cada cuanto tiempo el robot recibe un dato. Y dependiendo de la longitud de estas el dato es de mayor o menor valor.

Las barras horizontales la duración de cada movimiento realizado; es decir; cuando se recibe un dato (barra vertical) el robot empieza a moverse, y se encuentra en esa situación hasta que termina de realizar ese movimiento. Y es en ese momento cuando procesa el siguiente dato enviado, depreciando los anteriores.

Cuando el movimiento es muy corto y termina de realizarse antes de que reciba siguiente valor el robot vuelve a ejecutar el movimiento que se realizó anteriormente.

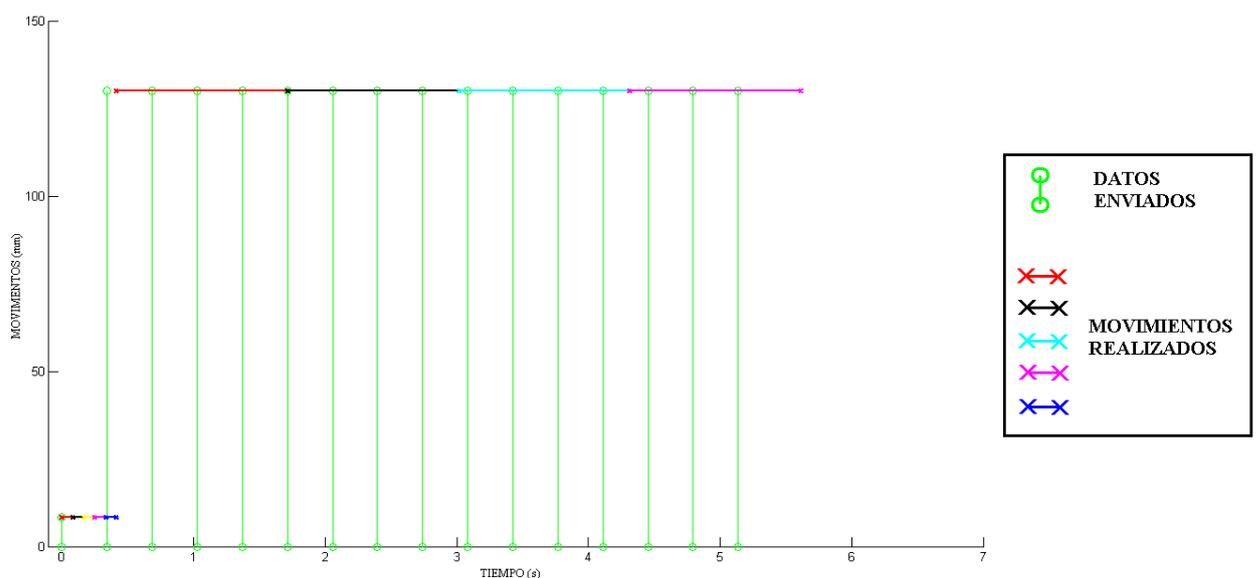


Fig. 6.24. Análisis de los valores de fuerza usados eje X positivo.

Una vez estudiado la figura 6.24 se comprueba un desplazamiento lineal y continuo menos en el valor inicial, que al ser demasiado pequeño en comparación con los demás, y por tanto realizarse de forma rápida, le da tiempo a ejecutarse 5 veces hasta que se recibe el segundo dato.

Para concluir se puede decir que el desplazamiento real que realiza el robot, con respecto al de la suma de los datos enviados, que han sido ejecutados son muy parecidos, como se puede apreciar en la tabla 6.9; haciendo por tanto un desplazamiento preciso.

Suma de datos(mm)	Distancia recorrida (mm)
561.1	548

Tabla 6 9. Desplazamiento real y datos enviados

### 6.2.2.3 Desplazamiento en sentido negativo, eje x.

Los valores con los que se hacen el ensayo son los enmarcados en la 6.25.

Fx			Fy			Fz
-7	0	0	-20	0	0	-4
-11	0	0	-6	0	0	-1
-22	0	0	1	0	0	1
2 2	0	0	-9	0	0	-5
0 2	0	0	-9	0	0	2
3 2	0	0	-7	0	0	-3
8 2	0	0	-10	0	0	1
3 2	0	0	-13	0	0	-5
6 2	0	0	3 3	0	0	0
-13	0	0	-19	0	0	3
4 3	0	0	-4	0	0	-3
0 3	0	0	-7	0	0	-3
-3	0	0	-2	0	0	5
-16	0	0	6	0	0	2
-17622	0	0	2001	0	0	-288
-23088	0	0	1133	0	0	-51
-26405	0	0	1131	0	0	73
-27350	0	0	1291	0	0	97
-27548	0	0	1589	0	0	98
-27099	0	0	1694	0	0	58
-27294	0	0	1701	0	0	95
-28320	0	0	1552	0	0	48
-28546	0	0	1537	0	0	72
-24934	0	0	649	0	0	146
-26749	0	0	770	0	0	63
-29766	0	0	1096	0	0	-51
-29972	0	0	1404	0	0	101
-28220	0	0	2375	0	0	91
---			---			---

Fig. 6.25. Valores desplazamientos sentido negativo eje X.

Desde el programa en Rapid se puede conocer la posición inicial de la que parte el robot y la posición final al acabar el movimiento. Obteniendo así la distancia que recorre el robot en milímetros reflejados en la tabla 6.10.

	x	Y	Z
<b>Punto inicial</b>	460.96	14.65	898.23
<b>Punto final</b>	1019.11	-83.55	963.85
<b>Inicial – Final</b>	-558.15	98.20	-65.62

Tabla 6 10. Distancia total en milímetros del desplazamiento.

Con una distancia calculada de -558 mm y sabiendo que la velocidad del robot puesta por software es de 100 mm/s obtenemos el tiempo total del desplazamiento figura 6.11.

Distancia (mm)	Velocidad (m/s)	TIEMPO (s)
558	100	5,58

Tabla 6.11. Tiempo total del movimiento.

Sabiendo el tiempo del desplazamiento y dividiéndolo entre el total de datos, calculamos la frecuencia de envió, tabla 6.12.

Tiempo (s)	Numero de datos	Frecuencia de envió (s)
5,48	14	0,3985

Tabla 6.12. Frecuencia de envió de datos.

En la tabla 6.13 se muestra todos los datos enviados al robot una vez procesados, así como la distancia que debe de desplazarse y el tiempo que tarda en realizar dicho desplazamiento.

Nº	Leídos por el sensor	Enviados al robot	Distancia en (mm) del movimiento a realizar	Tiempo (s) que tarda en ejecutar el movimiento
1	-17622,00	-13000,00	-130,00	1,30
2	-23088,00	-13000,00	-130,00	1,30
3	-26405,00	-13000,00	-130,00	1,30
4	-27350,00	-13000,00	-130,00	1,30
5	-27548,00	-13000,00	-130,00	1,30
6	-27099,00	-13000,00	-130,00	1,30
7	-27294,00	-13000,00	-130,00	1,30
8	-28320,00	-13000,00	-130,00	1,30
9	-28546,00	-13000,00	-130,00	1,30
10	-24934,00	-13000,00	-130,00	1,30
11	-26749,00	-13000,00	-130,00	1,30
12	-29766,00	-13000,00	-130,00	1,30
13	-29972,00	-13000,00	-130,00	1,30
14	-28220,00	-13000,00	-130,00	1,30

Tabla 6.13. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje X negativo.

En la figura 6.26 vemos una ejecución del movimiento total mente lineal, a diferencia del caso positivo puesto que este presentaba un valor diferente al resto.

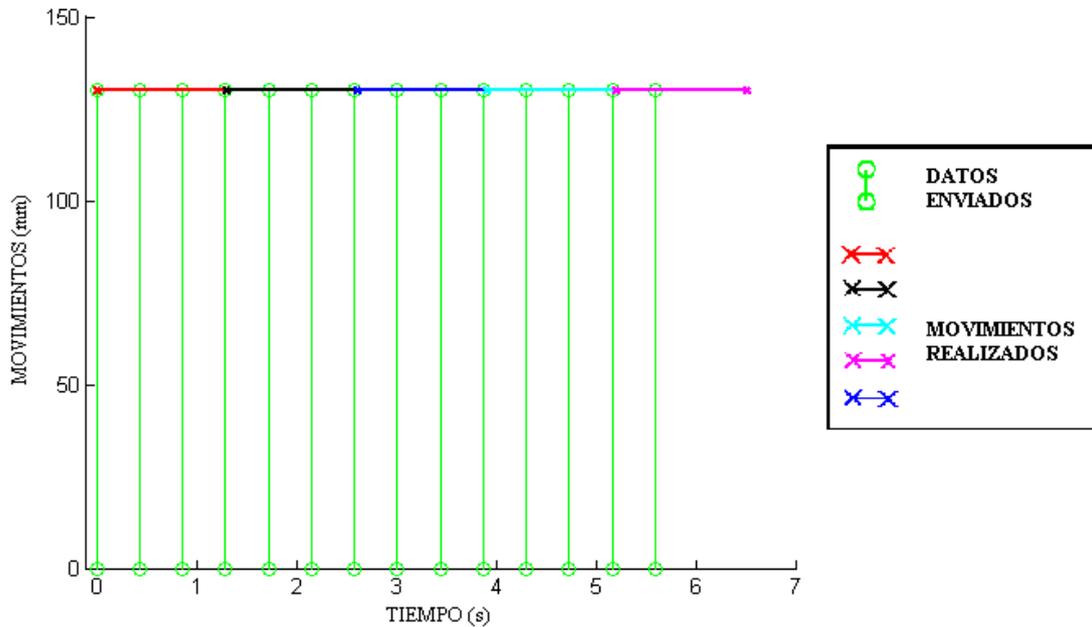


Fig. 6.26. Análisis de los valores de fuerza usados, eje X negativo.

Se puede comprobar que solo se ejecuten cuatro valores de los 14 que se envían puesto, que no da tiempo a ejecutarlos todos.

El desplazamiento real que realiza el robot, con respecto al de la suma de los datos enviados, y ejecutados son muy parecidos ; como se puede apreciar en la tabla 6.14 haciendo por tanto un desplazamiento preciso.

Suma de datos(mm)	Distancia recorrida (mm)
520	558

Tabla 6 14. Desplazamiento real y datos enviados

### 6.2.3. Movimiento sobre el eje Y.

Los movimientos estudiados son los que se producen a lo largo del eje Y como muestra la figura 6.27.

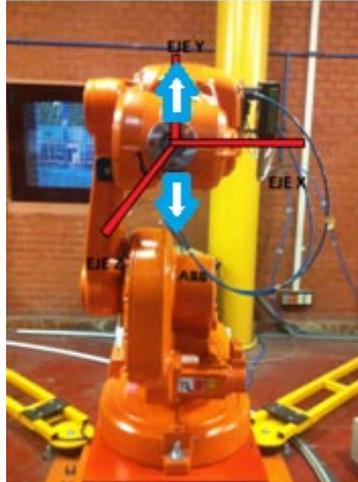


Fig. 6.27. Movimiento sobre el eje Y.

#### 6.2.3.2 Desplazamiento en sentido positivo, eje y.

Los valores con los que se hacen el ensayo son los enmarcados en la 6.28.

0	0	0	0	0	0	0
-658	0	0	9907	0	0	79
-1924	0	0	26722	0	0	-349
-1889	0	0	27596	0	0	-314
-2077	0	0	29375	0	0	-416
-1798	0	0	29646	0	0	-400
-1497	0	0	28357	0	0	-340
-1896	0	0	28873	0	0	-377
-1583	0	0	28202	0	0	-229
-2078	0	0	31754	0	0	-454
-1945	0	0	30309	0	0	-179
502	0	0	21811	0	0	703
4195	0	0	18721	0	0	826
3505	0	0	24635	0	0	7
4009	0	0	22904	0	0	102
5624	0	0	23443	0	0	-289
-1335	0	0	24247	0	0	-337
-6283	0	0	26409	0	0	-547
-1159	0	0	26456	0	0	84
-7774	0	0	30719	0	0	-748
-8025	0	0	28988	0	0	-333
189	0	0	30566	0	0	-155
6412	0	0	27493	0	0	-537
11034	0	0	24554	0	0	-525
14146	0	0	21504	0	0	-574
16080	0	0	22445	0	0	-1120
7033	0	0	18241	0	0	7
-524	0	0	21143	0	0	372
-1946	0	0	22611	0	0	482
-441	0	0	18122	0	0	13
-3911	0	0	23126	0	0	-296
-6648	0	0	29773	0	0	-675
-6930	0	0	24944	0	0	-237
-4055	0	0	12665	0	0	283
104	n	n	-179	n	n	148

Fig. 6.28. Valores desplazamientos sentido positivo eje Y.

Desde el programa en Rapid se puede conocer la posición inicial de la que parte el robot y la posición final al acabar el movimiento. Obteniendo así la distancia que recorre el robot en milímetros reflejados en la tabla 6.15.

	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
<b>Punto inicial</b>	878.79	525.86	856.30
<b>Punto final</b>	849.62	-651.40	868.75
<b>Inicial – Final</b>	28.67	1177.26	-12.45

Tabla 6 15. Distancia total en milímetros del desplazamiento.

Con una distancia calculada de 1177 mm y sabiendo que la velocidad del robot puesta por software es de 100 mm/s obtenemos el tiempo total del desplazamiento, figura 6.16.

Distancia (mm)	Velocidad (m/s)	<b>TIEMPO (s)</b>
1177	100	<b>11,77</b>

Tabla 6 16. Tiempo total del movimiento.

Sabiendo el tiempo del desplazamiento y dividiéndolo entre el total de datos, calculamos la frecuencia de envío, tabla 6.17.

Tiempo (s)	Numero de datos	<b>Frecuencia de envío (s)</b>
11,77	33	0,3566

Tabla 6 17. Frecuencia de envío de datos

En la tabla 6.18 se muestra todos los datos enviados al robot una vez procesados, así como la distancia que debe de desplazarse y el tiempo que tarda en realizar dicho desplazamiento.

Dejando enmarcados aquellos que son utilizados por el robot.

Nº	Leídos por el sensor	Enviados al robot	Distancia en (mm) del movimiento a realizar	Tiempo (s) que tarda en ejecutar el movimiento
1	9907,00	9907,00	99,07	0,99
2	26722,00	13000,00	130,00	1,30
3	27596,00	13000,00	130,00	1,30
4	29375,00	13000,00	130,00	1,30
5	29646,00	13000,00	130,00	1,30
6	28357,00	13000,00	130,00	1,30
7	28873,00	13000,00	130,00	1,30
8	28202,00	13000,00	130,00	1,30
9	31754,00	13000,00	130,00	1,30
10	30309,00	13000,00	130,00	1,30
11	21811,00	13000,00	130,00	1,30
12	18721,00	13000,00	130,00	1,30
13	24635,00	13000,00	130,00	1,30
14	22904,00	13000,00	130,00	1,30
15	23443,00	13000,00	130,00	1,30
16	24247,00	13000,00	130,00	1,30
17	26409,00	13000,00	130,00	1,30
18	26456,00	13000,00	130,00	1,30
19	30719,00	13000,00	130,00	1,30
20	28988,00	13000,00	130,00	1,30
21	30566,00	13000,00	130,00	1,30
22	27493,00	13000,00	130,00	1,30
23	24554,00	13000,00	130,00	1,30
24	21504,00	13000,00	130,00	1,30
25	22445,00	13000,00	130,00	1,30
26	18241,00	13000,00	130,00	1,30
27	21143,00	13000,00	130,00	1,30
28	22611,00	13000,00	130,00	1,30
29	18122,00	13000,00	130,00	1,30
30	23126,00	13000,00	130,00	1,30
31	29773,00	13000,00	130,00	1,30
32	24944,00	13000,00	130,00	1,30
33	12665,00	12665,00	126,65	1,27

Tabla 6 18. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje X negativo.

En la figura 6.29 vemos una ejecución del movimiento prácticamente lineal, con dos valores de diferente modulo, coincidiendo con el principio y final de aplicación de la fuerza.

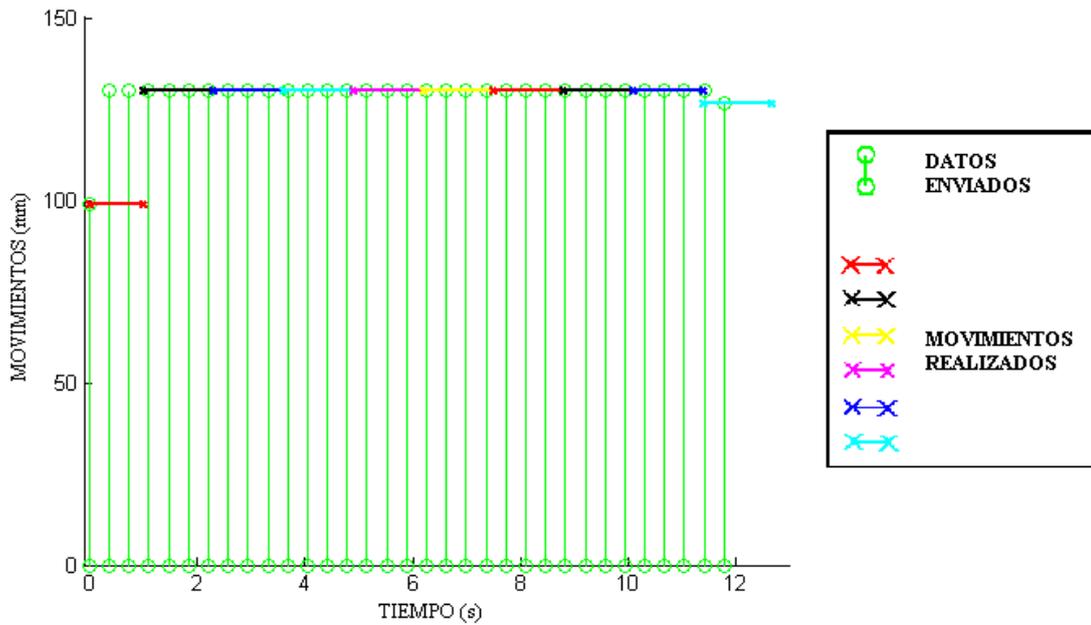


Fig. 6.29. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Y positivo.

Se puede comprobar que se ejecuten 10 valores de los 33 que se envían, puesto que no da tiempo a ejecutarlos todos.

El desplazamiento real que realiza el robot, con respecto al de la suma de los datos enviados y ejecutados; son muy parecidos, como se puede apreciar en la tabla 6 19 ; haciendo por tanto un desplazamiento preciso.

Suma de datos(mm)	Distancia recorrida (mm)
1177	1270

Tabla 6 19. Desplazamiento real y datos enviados

#### 6.2.4. Desplazamiento en sentido negativo, eje y.

Los valores con los que se hacen el ensayo son los enmarcados en la figura 6.30.

-32	0	0	-174	0	0	-34
59	0	0	-25430	0	0	-1781
-298	0	0	-29368	0	0	-2112
-469	0	0	-29372	0	0	-1999
82	0	0	-24378	0	0	-1143
-4088	0	0	-28565	0	0	-1111
-5442	0	0	-27780	0	0	-819
-5400	0	0	-27335	0	0	-648
-2505	0	0	-25415	0	0	-840
1062	0	0	-27875	0	0	-1455
4474	0	0	-30442	0	0	-2021
4391	0	0	-28799	0	0	-2156
2793	0	0	-26375	0	0	-1826
-2839	0	0	-26384	0	0	-1337
-5784	0	0	-26359	0	0	-1121
-6985	0	0	-26374	0	0	-1149
-5798	0	0	-24137	0	0	-966
-6201	0	0	-22510	0	0	-812
498	0	0	-22201	0	0	-1070
5139	0	0	-20296	0	0	-1087
8370	0	0	-20872	0	0	-1577
9708	0	0	-21934	0	0	-1603
9736	0	0	-21593	0	0	-1220
-2213	0	0	-21103	0	0	-1071
-3792	0	0	-17799	0	0	-702
-7525	0	0	-18328	0	0	-526
-5574	0	0	-7089	0	0	-70
188	0	0	188	0	0	188

Fig. 6.30. Valores desplazamientos sentido negativo eje Y.

Desde el programa en Rapid se puede conocer la posición inicial de la que parte el robot y la posición final al acabar el movimiento. Obteniendo así la distancia que recorre el robot en milímetros reflejados en la tabla 6 20.

	x	y	z
<b>Punto inicial</b>	806.76	708.31	718.79
<b>Punto final</b>	878.79	525.86	856.30
<b>Inicial – Final</b>	-72.03	182.45	-137.51

Tabla 6 20. Distancia total en milímetros del desplazamiento.

Con una distancia calculada de 182 mm y sabiendo que la velocidad del robot puesta por software es de 100 mm/s obtenemos el tiempo total del desplazamiento, tabla 6 21.

Distancia (mm)	Velocidad (m/s)	TIEMPO (s)
182	100	1,82

Tabla 6 21. Tiempo total del movimiento.

Sabiendo el tiempo del desplazamiento y dividiéndolo entre el total de datos, calculamos la frecuencia de envío, tabla 6 22.

Tiempo (s)	Numero de datos	Frecuencia de envío (s)
1,82	26	0,07

Tabla 6 22. Frecuencia de envío de datos.

En la tabla 6 23 se muestra todos los datos enviados al robot una vez procesados, así como la distancia que debe de desplazarse y el tiempo que tarda en realizar dicho desplazamiento. Dejando enmarcados aquellos que son utilizados por el robot.

Nº	Leídos por el sensor	Enviados al robot	Distancia en (mm) del movimiento a realizar	Tiempo (s) que tarda en ejecutar el movimiento
1	-25430,00	-13000,00	-130,00	1,30
2	-29368,00	-13000,00	-130,00	1,30
3	-29372,00	-13000,00	-130,00	1,30
4	-24378,00	-13000,00	-130,00	1,30
5	-28565,00	-13000,00	-130,00	1,30
6	-27780,00	-13000,00	-130,00	1,30
7	-27335,00	-13000,00	-130,00	1,30
8	-25415,00	-13000,00	-130,00	1,30
9	-27875,00	-13000,00	-130,00	1,30
10	-30442,00	-13000,00	-130,00	1,30
11	-28799,00	-13000,00	-130,00	1,30
12	-26375,00	-13000,00	-130,00	1,30
13	-26384,00	-13000,00	-130,00	1,30
14	-26359,00	-13000,00	-130,00	1,30
15	-26374,00	-13000,00	-130,00	1,30
16	-24137,00	-13000,00	-130,00	1,30
17	-22510,00	-13000,00	-130,00	1,30
18	-22201,00	-13000,00	-130,00	1,30
19	-20296,00	-13000,00	-130,00	1,30
20	-20872,00	-13000,00	-130,00	1,30
21	-21934,00	-13000,00	-130,00	1,30
22	-21593,00	-13000,00	-130,00	1,30
23	-21103,00	-13000,00	-130,00	1,30
24	-17799,00	-13000,00	-130,00	1,30
25	-18328,00	-13000,00	-130,00	1,30
26	-7089,00	-7089,00	-70,89	0,71

Tabla 6 23. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje Y negativo.

En la figura 6.31 se representan en un espacio muy corto de tiempo muchos valores de módulo máximo que requieren de mucho tiempo para ejecutarse; haciendo que de los 26 valores solo se usen 2.

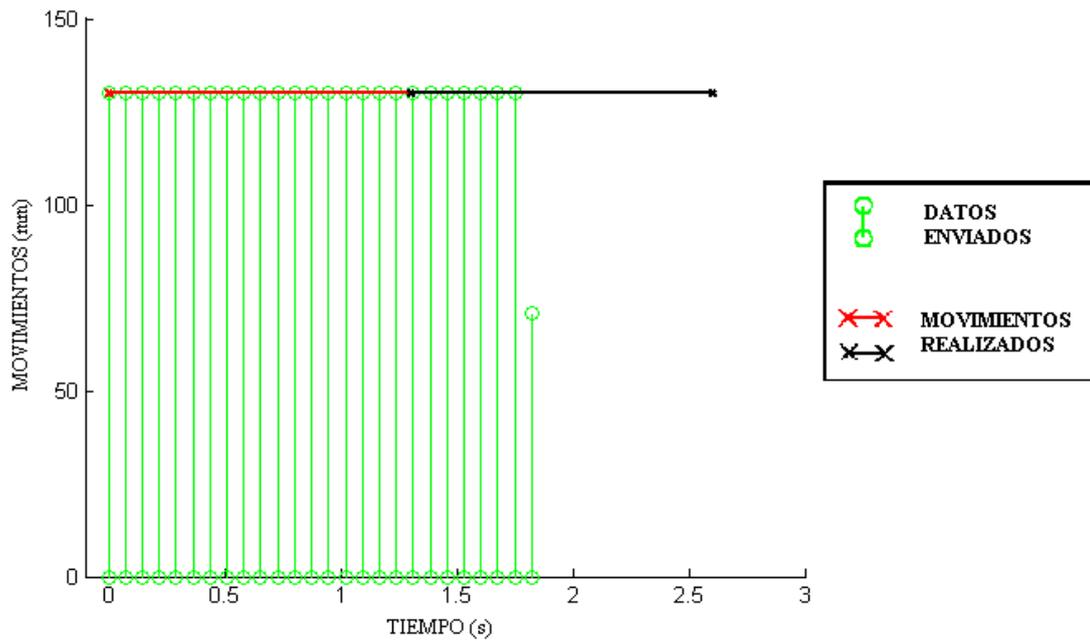


Fig. 6.31. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Y negativo.

Este análisis es especial y no se tendrá en cuenta en las conclusiones finales debido su gran error de medición a la hora de calcular la posición final puesto que el brazo no realiza un desplazamiento solo en el eje Y; además al acabar el movimiento retrocede sobre su trayectoria.

### 6.2.5. Movimiento sobre el eje Z.

Los movimientos estudiados son los que se producen a lo largo del eje Z como muestra la figura 6.32.

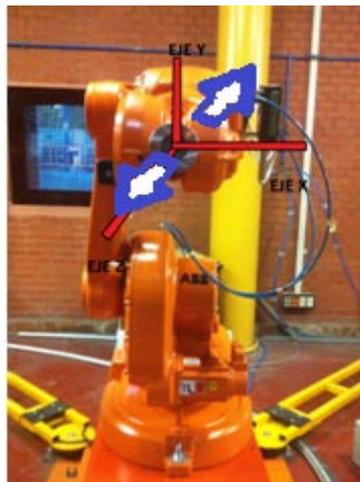


Fig. 6.32. Movimiento sobre el eje z.

### 6.2.6. Desplazamiento en sentido positivo, eje z.

Los valores con los que se hacen el ensayo son los enmarcados en la figura 6.33.

13	u	u	v	u	u	-v
1626	0	0	116	0	0	9841
2433	0	0	-1248	0	0	11400
830	0	0	-46	0	0	11928
617	0	0	907	0	0	11634
1602	0	0	868	0	0	12146
2486	0	0	1026	0	0	12084
1591	0	0	1424	0	0	12522
1587	0	0	1655	0	0	12049
1481	0	0	2095	0	0	12435
1080	0	0	2452	0	0	12675
1185	0	0	2662	0	0	12632
1199	0	0	788	0	0	11408
1406	0	0	1410	0	0	12244
2617	0	0	1028	0	0	12434
2393	0	0	424	0	0	11879
1130	0	0	1251	0	0	11049
965	0	0	743	0	0	10658
384	0	0	787	0	0	10735
719	0	0	1029	0	0	9708
-133	0	0	975	0	0	8441
91	0	0	910	0	0	7772

Fig. 6.33. Valores desplazamientos sentido positivo eje Z.

Desde el programa en Rapid se puede conocer la posición inicial de la que parte el robot y la posición final al acabar el movimiento. Obteniendo así la distancia que recorre el robot en milímetros reflejados en la tabla 6 24.

	x	y	Z
<b>Punto inicial</b>	913.20	138.39	883.54
<b>Punto final</b>	848.86	-232.26	143.54
<b>Inicial – Final</b>	64.34	370.65	740

Tabla 6 24. Distancia total en milímetros del desplazamiento.

Con una distancia calculada de 740 mm y sabiendo que la velocidad del robot puesta por software es de 100 mm/s obtenemos el tiempo total del desplazamiento, figura 6 25.

Distancia (mm)	Velocidad (m/s)	TIEMPO (s)
740	100	7,4

Tabla 6 25. Tiempo total del movimiento.

Sabiendo el tiempo del desplazamiento y dividiéndolo entre el total de datos, calculamos la frecuencia de envió, tabla 6 26.

Tiempo (s)	Numero de datos	Frecuencia de envió (s)
7,4	21	0,352

Tabla 6 26. Frecuencia de envió de datos

En la tabla 6 27 se muestra todos los datos enviados al robot una vez procesados, así como la distancia que debe de desplazarse y el tiempo que tarda en realizar dicho desplazamiento. Dejando enmarcados aquellos que son utilizados por el robot.

Nº	Leídos por el sensor	Enviados al robot	Distancia en (mm) del movimiento a realizar	Tiempo (s) que tarda en ejecutar el movimiento
<b>1</b>	9841,00	9841,00	98,41	0,98
2	11400,00	11400,00	114,00	1,14
3	11928,00	11928,00	119,28	1,19
4	11634,00	11634,00	116,34	1,16
5	12146,00	12146,00	121,46	1,21
<b>6</b>	12084,00	12084,00	120,84	1,21
7	12522,00	12522,00	125,22	1,25
8	12049,00	12049,00	120,49	1,20
9	12435,00	12435,00	124,35	1,24
10	12675,00	12675,00	126,75	1,27
11	12632,00	12632,00	126,32	1,26
<b>12</b>	11408,00	11408,00	114,08	1,14
13	12244,00	12244,00	122,44	1,22
14	12434,00	12434,00	124,34	1,24
15	11879,00	11879,00	118,79	1,19
16	11049,00	11049,00	110,49	1,10
17	10658,00	10658,00	106,58	1,07
<b>18</b>	10735,00	10735,00	107,35	1,07
19	9708,00	9708,00	97,08	0,97
20	8441,00	8441,00	84,41	0,84
21	7772,00	7772,00	77,72	0,78

Tabla 6 27. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje Z positivo.

En la figura 6.34 vemos una ejecución de un movimiento sobre un eje, el z, en el que es difícil ejercer un movimiento lineal como se ve en dicha figura, al tener un mal acceso a este produciendo valores de fuerza diferentes entre sí .

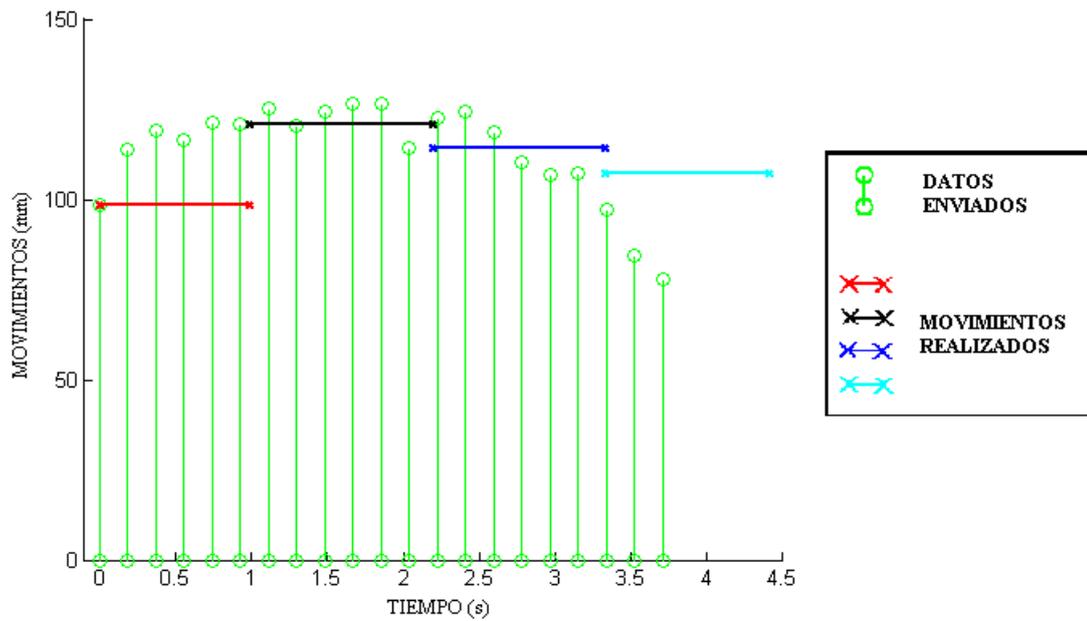


Fig. 6.34. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Y negativo.

Se puede comprobar que se ejecuten 4 valores de los 21 que se envían, puesto que no da tiempo a ejecutarlos todos.

El desplazamiento real que realiza el robot, con respecto al de la suma de los datos enviados y ejecutados; es diferente, como se puede apreciar en la tabla 6 28 haciendo por tanto un desplazamiento poco preciso aunque posteriormente se explicara el porqué.

Suma de datos(mm)	Distancia recorrida (mm)
441	740

Tabla 6 28. Desplazamiento real y datos enviados

### 6.2.6.2 Desplazamiento en sentido negativo, eje z.

Los valores con los que se hacen el ensayo son los enmarcados en la 6.35.

1234	0	0	-620	0	0	-9867
3025	0	0	-1739	0	0	-14292
5742	0	0	-1899	0	0	-15964
5837	0	0	-2413	0	0	-15634
6128	0	0	-2648	0	0	-16257
6977	0	0	-2775	0	0	-17436
5848	0	0	-2038	0	0	-17431
6536	0	0	-2422	0	0	-17223
7024	0	0	-2363	0	0	-18116
6769	0	0	-2589	0	0	-17468
-703	0	0	581	0	0	-13487
-6155	0	0	1190	0	0	-14258
-11125	0	0	1869	0	0	-12944
-21702	0	0	1826	0	0	-13861
-18285	0	0	-1770	0	0	-12284
-7585	0	0	-4054	0	0	-12611
-5678	0	0	-1902	0	0	-12505
219	0	0	774	0	0	-11355
1773	0	0	642	0	0	-10135
3575	0	0	-885	0	0	-8781
2716	0	0	631	0	0	-9123
7251	0	0	2301	0	0	-9534
3165	0	0	2291	0	0	-8229
-3741	0	0	-2285	0	0	-7652
-923	0	0	874	0	0	-6948
-2931	0	0	-1800	0	0	-6173
441	0	0	-92	0	0	-8082
2907	0	0	-162	0	0	-9095
8128	0	0	-4088	0	0	-7599

Fig. 6.35. Valores desplazamientos sentido negativo eje Z.

Desde el programa en Rapid se puede conocer la posición inicial de la que parte el robot y la posición final al acabar el movimiento. Obteniendo así la distancia que recorre el robot en milímetros reflejados en la tabla 6 29.

	x	y	Z
<b>Punto inicial</b>	848.86	232.26	143.54
<b>Punto final</b>	893.47	182.61	933.97
<b>Inicial – Final</b>	-44.61	49.65	-790.43

Tabla 6 29. Distancia total en milímetros del desplazamiento.

Con una distancia calculada de 790 mm y sabiendo que la velocidad del robot puesta por software es de 100 mm/s obtenemos el tiempo total del desplazamiento, figura 6 30.

Distancia (mm)	Velocidad (m/s)	TIEMPO (s)
790	100	7,9

Tabla 6 30. Tiempo total del movimiento.

Sabiendo el tiempo del desplazamiento y dividiéndolo entre el total de datos, calculamos la frecuencia de envío, tabla 6 31.

Tiempo (s)	Numero de datos	Frecuencia de envío (s)
7,9	29	0,272

Tabla 6 31. Frecuencia de envío de datos

En la tabla 6.32 se muestra todos los datos enviados al robot una vez procesados, así como la distancia que debe de desplazarse y el tiempo que tarda en realizar dicho desplazamiento. Dejando enmarcados aquellos que son utilizados por el robot.

Nº	Leídos por el sensor	Enviados al robot	Distancia en (mm) del movimiento a realizar	Tiempo (s) que tarda en ejecutar el movimiento
1	-9867,00	-9867,00	-98,67	0,99
2	-14292,00	-13000,00	-130,00	1,30
3	-15964,00	-13000,00	-130,00	1,30
4	-15634,00	-13000,00	-130,00	1,30
5	-16257,00	-13000,00	-130,00	1,30
6	-17436,00	-13000,00	-130,00	1,30
7	-17431,00	-13000,00	-130,00	1,30
8	-17223,00	-13000,00	-130,00	1,30
9	-18116,00	-13000,00	-130,00	1,30
10	-17468,00	-13000,00	-130,00	1,30
11	-13487,00	-13000,00	-130,00	1,30
12	-14258,00	-13000,00	-130,00	1,30
13	-12944,00	-12944,00	-129,44	1,29
14	-13861,00	-13000,00	-130,00	1,30
15	-12284,00	-12284,00	-122,84	1,23
16	-12611,00	-12611,00	-126,11	1,26
17	-12505,00	-12505,00	-125,05	1,25
18	-11355,00	-11355,00	-113,55	1,14
19	-10135,00	-10135,00	-101,35	1,01
20	-8781,00	-8781,00	-87,81	0,88
21	-9123,00	-9123,00	-91,23	0,91
22	-9534,00	-9534,00	-95,34	0,95
23	-8229,00	-8229,00	-82,29	0,82
24	-7652,00	-7652,00	-76,52	0,77
25	-6948,00	-6948,00	-69,48	0,69
26	-6173,00	-6173,00	-61,73	0,62
27	-8082,00	-8082,00	-80,82	0,81
28	-9095,00	-9095,00	-90,95	0,91
29	-7599,00	-7599,00	-75,99	0,76

Tabla 6 32. Datos enviados, tiempo y distancia realizados por el robot eje Z negativo.

En la figura 6.36 al ser un eje complicado de manejar obtenemos unos valores de fuerza diferentes entre sí. Produciendo muchos saltos en el movimiento y por tanto errores.

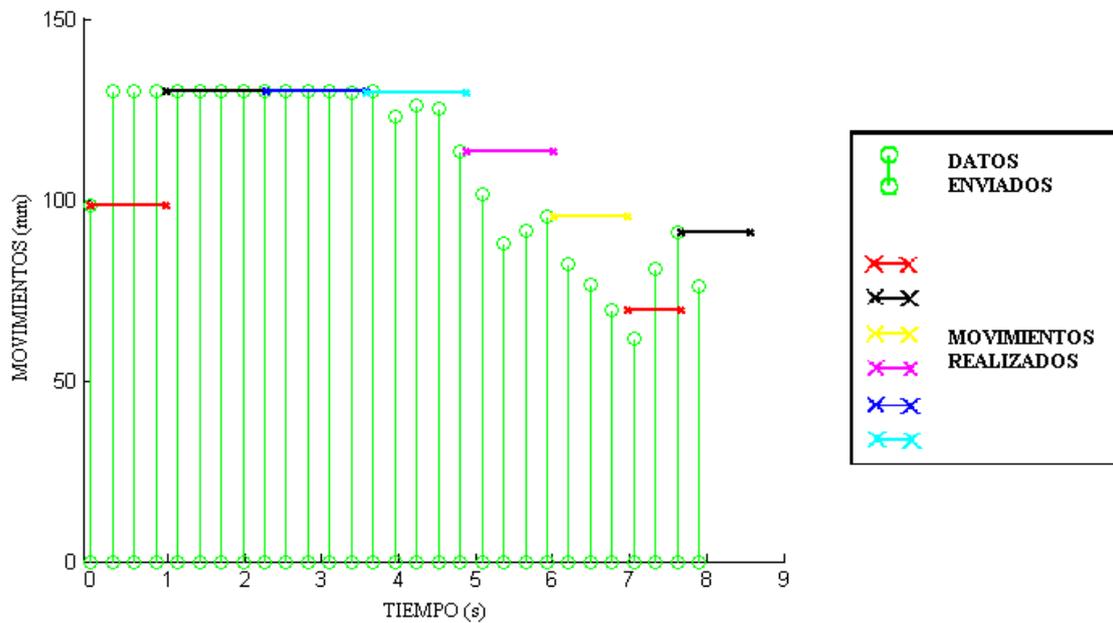


Fig. 6.36. Análisis de los valores de fuerza usados, eje Z negativo.

Se puede comprobar que se ejecuten 8 valores de los 29 que se envían, puesto que no da tiempo a ejecutarlos todos.

El desplazamiento real que realiza el robot, con respecto al de la suma de los datos enviados y ejecutados; es diferente, como se puede apreciar en la tabla 6 33 haciendo por tanto un desplazamiento poco preciso aunque posteriormente se explicara el porqué.

Suma de datos(mm)	Distancia recorrida (mm)
857	790

Tabla 6 33. Desplazamiento real y datos enviados.

### 6.3. Conclusión del estudio de movimientos.

Se han analizado tres ejes de coordenadas, con el objetivo de conocer una serie de parámetros, que se explicaran a continuación; y que nos ayudarán a comprender mejor los movimientos.

➤ Frecuencia de envío.

El primero de estos puntos es la frecuencia de envío, que mide el tiempo que se tarda en enviar un dato al robot, para que este después el robot los procese.

Obtenido este dato, se podrá comparar cuánto tarda en recibir un valor el robot y cuanto en realizarlo.

En la tabla 6 34 se observa una frecuencia de envío y un tiempo medio de ejecución de un valor, muy similar entre todos los casos. Esta similitud solo es posible si las medidas fueran correctamente tomadas, por eso se descarta el eje Y negativo el tener mucho error.

	Frecuencia de envío (s)	Tiempo medio de ejecución (s)
Eje X +	0,342	1,056
Eje x -	0,3985	1,3
Eje y +	0,3566	1,269
Eje Y -	----	----
Eje z +	0,352	1,11
Eje Z -	0,272	1,06
<b>MEDIA DE ROBOT</b>	<b>0,344</b>	<b>1,159</b>

Tabla 6 34. Frecuencia de envío media y tiempo medio de ejecución de un dato.

Por conociendo los valores de la tabla anterior se podría en trabajos futuros o ampliaciones intentar mejorarlos, desde el punto de vista del software o el hardware.

➤ Porcentaje de desviación.

Este valor nos proporciona el porciento en mm que el robot se ha desviado de los valores que se le han mandado .Pudiendo así saber si se pierden muchos datos en el envío u , el robot comete demasiado error al moverse.

La tabla 6 35 muestra los valores del movimiento teórico y el que el robot realizado en la verdad, para posteriormente ofrecer el porcentaje de desviación.

	<b>Distancia teórica (mm)</b>	<b>Distancia real (mm)</b>	<b>Porcentaje de desviación (%)</b>
Eje X +	561,1	548	2,34
Eje x -	520	558	7,31
Eje y +	1177	1270	7,91
Eje Y -	----	----	----
Eje z +	441	740	32,12
Eje Z -	857	790	7,82
<b>MEDIA DE ROBOT</b>			<b>6,347</b>

Tabla 6 35. Porcentaje en la desviación de la trayectoria.

Observando la tabla anterior al igual que en la tabla 6 34 se desprecia el eje Y negativo por sus errores .Y en este caso concretamente también se desprecia el eje Z positivo puesto que como se puede ver en la figura 6.36 se trata de un movimiento corto y en el que solo se ejecutan unos valores de poco modulo con respecto a los demás repercutiendo posteriormente en la distancia recorrida.

Analizando el porcentaje de error obtenido en la tabla 6 35 se puede concluir en que dado que no se puede interrumpir una ejecución una vez empezada, y teniendo en cuenta todos los ejes podemos considerar que el robot se mueve en tiempo real, al movimiento de la persona.

Al igual que en caso anterior la este error también es motivo de mejora para trabajos posteriores.

## 7. PRESUPUESTO.

El siguiente aparatado contiene el presupuesto aproximado de la realización y puesta en marcha del proyecto descrito.

### 7.1. Medidas.

#### 7.1.1. Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.

ITEM	Descripción	Cantidad
1	<b>Sensor fuerza-par JR3.</b> Modelo 85M35A3.	1
2	<b>Cable conexión sensor JR3-PC.</b> Cable con conector RJ-11 de 6 pines.	1
3	<b>Piezas aluminio para instalación de sensor JR3.</b> Fabricación de las piezas en aluminio para acoplar el sensor al robot ABB.	12

Tabla 7 1. Medidas – Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.

#### 7.1.2. Capítulo 2: Software y hardware.

ITEM	Descripción	Cantidad
4	<b>Ordenador sobremesa HP.</b> Ordenador sobremesa con monitor TFT 17'' y tarjeta de adquisición de datos.	1
5	<b>SolidEdge.</b> Incluye programa SolidEdge y licencia correspondiente.	1
6	<b>Visual Studio 2008.</b> Incluye programa Visual Studio 2008 y licencia correspondiente.	1
7	<b>RobotStudio.</b> Incluye programa RobotStudio con licencia de los paquetes necesarios para la aplicación.	1

Tabla 7 2. Medidas – Capítulo 2: Software y hardware.

## 7.1.3. Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.

ITEM	Descripción	Cantidad
8	<b>Diseño de piezas aluminio para instalación del sensor mediante SolidEdge.</b> Diseño mediante SolidEdge de las piezas para la instalación del sensor en el robot ABB.	15
9	<b>Programación y desarrollo de interfaz en PC mediante Visual Studio 2008.</b> Desarrollo de la comunicación PC-SENSOR-ROBOT. Adaptación de la interfaz.	50
10	<b>Programación de la comunicación y recepción de datos en robot ABB median RobotStudio.</b> Desarrollo de la aplicación para la extracción de la trama enviada al robot ABB y creación de los movimientos.	30
11	<b>Montaje e instalación de todos los elementos.</b> Instalación del sensor JR3 en el robot ABB y puesta en marcha de la aplicación.	20

Tabla 7.3. Medidas – Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.

## 7.2. Cuadro de precios.

### 7.2.1. Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.

ITEM	Descripción	Precio
1	<b>Sensor fuerza-par JR3.</b> Modelo 85M35A3.	956,68 €/u
2	<b>Cable conexión sensor JR3-PC.</b> Cable con conector RJ-11 de 6 pines.	8,56 €/u
3	<b>Piezas aluminio para instalación de sensor JR3.</b> Fabricación de las piezas en aluminio para acoplar el sensor al robot ABB.	25 €/h

Tabla 7 4. Cuadro de precios – Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.

### 7.2.2. Capítulo 2: Software y hardware.

ITEM	Descripción	Precio
4	<b>Ordenador sobremesa HP.</b> Ordenador sobremesa con monitor TFT 17'' y tarjeta de adquisición de datos.	1050 €/u
5	<b>SolidEdge.</b> Incluye programa SolidEdge y licencia correspondiente.	350 €/u
6	<b>Visual Studio 2008.</b> Incluye programa Visual Studio 2008 y licencia correspondiente.	300 €/u
7	<b>RobotStudio.</b> Incluye programa RobotStudio con licencia de los paquetes necesarios para la aplicación.	380 €/u

Tabla 7 5. Cuadro de precios – Capítulo 2: Software y hardware.

### 7.2.3. Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.

ITEM	Descripción	Precio
8	<b>Diseño de piezas aluminio para instalación del sensor mediante SolidEdge.</b> Diseño mediante SolidEdge de las piezas para la instalación del sensor en el robot ABB.	27 €/h
9	<b>Programación y desarrollo de interfaz en PC mediante Visual Studio 2008.</b> Desarrollo de la comunicación PC-SENSOR-ROBOT. Adaptación de la interfaz.	32 €/h
10	<b>Programación de la comunicación y recepción de datos en robot ABB median RobotStudio.</b> Desarrollo de la aplicación para la extracción de la trama enviada al robot ABB y creación de los movimientos.	30 €/h
11	<b>Montaje e instalación de todos los elementos.</b> Instalación del sensor JR3 en el robot ABB y puesta en marcha de la aplicación.	20 €/h

Tabla 7.6. Cuadro de precios – Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.

### 7.3. Presupuesto.

### 7.3.1. Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.

ITEM	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
1	Sensor fuerza-par JR3.	1	956,68 €/u	956,68 €
2	Cable conexión sensor JR3-PC.	1	8,56 €/u	8,56 €
3	Piezas aluminio para instalación de sensor JR3.	12	25 €/h	300 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 1: Material eléctrico y mecánico.</b>				<b>1265,24 €</b>

Tabla 7 7. Cuadro de precios – Capítulo 1: Material eléctrico y mecánico.

### 7.3.2. Capítulo 2: Software y hardware.

ITEM	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
4	Ordenador sobremesa HP.	1	1050 €/u	1050 €
5	SolidEdge.	1	350 €/u	350 €
6	Visual Studio 2008.	1	300 €/u	300 €
7	RobotStudio.	1	380 €/u	380 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 2: Software y hardware.</b>				<b>2080,00 €</b>

Tabla 7 8. Cuadro de precios – Capítulo 2: Software y hardware.

### 7.3.3. Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.

ITEM	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
8	Diseño de piezas aluminio para instalación del sensor mediante SolidEdge.	15	27 €/h	405 €
9	Programación y desarrollo de interfaz en PC mediante Visual Studio 2008.	50	32 €/h	1600 €
10	Programación de la comunicación y recepción de datos en robot ABB median RobotStudio.	30	30 €/h	900 €
11	Montaje e instalación de todos los elementos.	20	20 €/h	400 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 3: Programación, diseño y puesta en marcha.</b>				<b>3305,00 €</b>

Tabla 7 9. Cuadro de precios – Capítulo 3: Programación, diseño y puesta en marcha.

## 7.4. Resumen del presupuesto.

<b>CAPÍTULO 1: Material eléctrico y mecánico.</b>	<b>1265,24 €</b>
<b>CAPÍTULO 2: Software y hardware.</b>	<b>2080,00 €</b>
<b>CAPÍTULO 3: Programación, diseño y puesta en marcha.</b>	<b>3305, 00 €</b>
	<b>+</b>
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.</b>	<b>6650,24 €</b>
	<b>+</b>
<b>I.V.A. (18%)</b>	<b>1197,05 €</b>
	<b>+</b>
<b>PRESUPUESTO POR LICITACIÓN</b>	<b>7847, 29 €</b>

El presupuesto por licitación del presente proyecto asciende a **SIETE MIL OCHOCIENTOS CUARENTA Y SIETE EUROS CON VEINTINUEVE CENTIMOS.**

## 8. CONCLUSIONES.

Tras la realización de las modificaciones y adaptación del software proporcionado por JR3 para esta nueva aplicación, se ha comprobado el correcto funcionamiento permitiendo al usuario interactuar con el robot ABB IRB 1600 guiándole y realizando trayectorias únicamente aplicando una fuerza en el extremo de la herramienta.

Mediante esta comunicación realizada del robot ABB con el sensor JR3 y el PC, se pueden lograr numerosas aplicaciones ya que se permite al robot conocer las fuerzas aplicadas en su extremo e interpretar dichos datos en sus aplicaciones. Durante el desarrollo del proyecto, esta comunicación fue la parte más complicada del desarrollo ya que se podía realizar de numerosas formas pero al final se optó por una comunicación TCP/IP que permitía desarrollar la aplicación.

Con la comunicación ya realizada, cuando se comenzaron a enviar los datos leídos por el sensor se empezó a enviar los datos de fuerza por separado pero se observó que el controlador del robot necesitaba demasiado tiempo para la recepción e interpretación de cada uno de los datos enviados por el PC. Tras estudiar este problema se llegó a la conclusión que era mejor realizar el envío de una sola trama de datos que facilitara así la comunicación del PC con el controlador ya que se reducían los datos de tres a uno. Con esta decisión se generó un nuevo problema ya que el generar una sola trama planteaba un problema en las longitudes de los valores de fuerza. Debido a que los valores leídos por el sensor van desde cero hasta decenas de millar, las longitudes de estos valores varían y con esto toda la trama a enviar. Para la resolución de este problema se optó por medir la longitud de los valores de fuerza e incluirlos en la trama para más tarde extraerlos en el robot y descifrar así la trama enviada correctamente.

Otro de los problemas encontrados en el proyecto constantemente era la diferencia de velocidad del procesador del PC con respecto al procesador del controlador del robot. Esta diferencia de velocidad ha tenido que ser corregida mediante la introducción de esperas en la comunicación del PC y permitir así que el controlador recibiera e interpretara los datos correctamente.

Cuando se comenzaron a realizar movimientos con el robot mediante la lectura de las fuerzas en el extremo, se pudo observar que el robot no podía interrumpir los movimientos que comenzada a realizar. Esto implica que si el robot comienza a describir una trayectoria y de repente esta trayectoria es modificada, el controlador es incapaz de ir modificando el movimiento ya que tiene que finalizar los que ha comenzado a realizar.

En lo que a movimientos se refiere, lo que más problemas causó durante todo el proyecto fue la interpretación de fuerza demasiado grandes o demasiado pequeñas. Esto causó numerosos problemas en los movimientos ya que en muchas ocasiones se pedía al robot realizar movimientos

fuera de su rango de trabajo. Al final, para la solución de este problema se optó por limitar el rango de fuerzas que se le envían al robot y de esta manera no salir del rango de trabajo del robot.

Durante todo el desarrollo del proyecto, debido a la diferencia de velocidad entre el procesador del PC y el del controlador, se ha intentado en la medida de lo posible cargar el desarrollo de software más complicado al PC ya que permite realizar las operaciones de maneras más rápida y dejas así más “libre” al controlador del robot ABB para que únicamente se encargue de recibir la trama y realizar los movimientos. Al principio se probó cargar más operaciones al controlador del robot pero se vio que la velocidad de reacción del robot era muy alta ya que necesitaba mucho tiempo para realizar las operaciones. Tras quitar carga de operaciones al procesador del controlador como se ha indicado se vio que el tiempo de reacción se redujo considerablemente.

De esta manera, una de las conclusiones que se puede extraer de este proyecto son las ventajas y facilidades que puede proporcionar esta aplicación ya que permite al robot percibir más datos de sobre su entorno. Cuantos más conocimientos se proporcionen al robot sobre lo que le rodea, permitirán a este realizar movimientos más precisos y, por ejemplo, evitar situaciones de riesgo como puede ser coger mediante una garra objetos pesados que puedan caerse al ser transportados. Mediante la nueva aplicación este problema se puede resolver limitando unos movimientos cuando las fuerzas obtenidas en el extremo del robot sean muy grandes.

## 9. TRABAJOS FUTUROS.

Sobre los trabajos futuros que se pueden aplicar a este desarrollo se pueden destacar los relacionados con las trayectorias descritas con el robot. Por ejemplo, sería interesante relacionar las velocidades y aceleraciones con las fuerzas aplicadas en el extremo de la herramienta del robot.

Con toda la comunicación ya realizada, también sería útil permitir al robot interpretar los valores de par leídos por el sensor y permitirle así realizar giros a la vez que desplazamientos laterales. Todo esto sumado a la interpretación de la velocidad y aceleración podría proporcionar movimientos más reales a las situaciones aplicadas en el extremo de la herramienta del robot.

También, sería útil el conseguir interrumpir movimientos del robot cuando las fuerzas aplicadas en el extremo varíen el sentido de las que el robot se encuentra describiendo en ese momento, esto permitiría realizar movimientos más instantáneos y eliminar los retardos que se producen al tener que esperar que el robot finalice cada uno de los movimientos que comienza a realizar.

Por otra parte, puede ser interesante estudiar casos que limiten los movimientos del robot donde el extremo de la herramienta soporte fuerzas muy grandes que puedan generar situaciones de peligro como puede ser el realizar transportes mediante una garra de piezas muy pesadas que se puedan caer. Este es uno de los ejemplos de aplicación que se podría desarrollar. Al fin y al cabo, el proyecto desarrollado lo que permite es tener información de fuerzas y pares aplicados en el extremo del robot. Todo lo que sean nuevos datos del entorno puede tener numerosas aplicaciones que faciliten las cosas.

En cuanto a seguridad en la aplicación, otro punto que sería bueno estudiar es el acoplar alguna limitación de movimientos en automático con la aplicación desarrollada. Debido a que el robot realiza los movimientos dependiendo de la fuerza aplicada en el extremo, esto permite trabajar en automático con el robot y moverlo únicamente realizando fuerzas en el extremo. Sería interesante por ejemplo reducir la velocidad al realizar pruebas en esta aplicación o incluso dotar al extremo del robot con un detector que de algún modo permita detener el robot en caso de peligro únicamente dejando de tocar el extremo de la herramienta. Se podría instalar en el extremo de la herramienta un sensor que detectara el contacto de la piel y que detuviera de inmediato el movimiento del robot si este contacto se interrumpe. Este problema no se genera si se trabaja en manual con el pulsador de hombre muerto de la FlexPendant.

En lo que a instalación se refiere, sería interesante sustituir el cable utilizado para la conexión del sensor JR3 con el PC por uno que permitiera sin problema el giro del extremo del robot sin peligro ninguno. El actual cable puede generar problemas si se producen numerosos giros del extremo ya que no lo soportaría.

Estos son algunos de los trabajos que se podrían desarrollar en un futuro para de algún modo aprovechar la información captada por el sensor de fuerza par. Para todo el desarrollo de nuevas aplicaciones siempre será importante tener en cuenta el problema de diferencia de velocidad en los procesadores y cargar lo menos posible al controlador del robot, realizando la mayoría de los cálculos en el PC.

## 10. BIBLIOGRAFIA.

- [1] <http://www.slideshare.net/mmastino/geometra-de-los-robots> (consultada el 01/01/2011)
- [2] [http://muatrip.blogspot.com/2011\\_05\\_01\\_archive.html](http://muatrip.blogspot.com/2011_05_01_archive.html) (consultada el 01/01/2011)
- [3] [http://cfievalladolid2.net/tecnocyr\\_01/robotica/industrial.htm](http://cfievalladolid2.net/tecnocyr_01/robotica/industrial.htm) (consultada el 01/01/2011)
- [4] <http://www.abb.es/> (consultada el 01/01/2011)
- [5] <http://www.profesorblanco.com.ar/apuntesteco/SENSORES%201.pdf> (consultada el 01/01/2011)
- [6] <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf> (consultada el 01/01/2011)
- [7] <http://www.guemisa.com/articul/html/sensores.htm> (consultada el 01/01/2011)
- [8] <http://www.abb.es/product/seitp327/df90f6fe2c1ffc64c125725100252d4d.aspx>
- [9] <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/aa187919.aspx>
- [10] <http://www.solarsockets.solar-opensource.com/index.php/SolarSockets>

## 11. ANEXOS.

### 11.1. Archivos .CPP

#### 11.1.1. DlgProxy.cpp

```
// DlgProxy.cpp : implementation file
//

#include "stdafx.h"
#include "jr3pci.h"
#include "DlgProxy.h"
#include "jr3pciDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

////////////////////////////////////
// CJr3pciDlgAutoProxy

IMPLEMENT_DYNCREATE(CJr3pciDlgAutoProxy, CCmdTarget)

CJr3pciDlgAutoProxy::CJr3pciDlgAutoProxy()
{
    EnableAutomation();

    // To keep the application running as long as an automation
    // object is active, the constructor calls AfxOleLockApp.
    AfxOleLockApp();

    // Get access to the dialog through the application's
    // main window pointer. Set the proxy's internal pointer
    // to point to the dialog, and set the dialog's back pointer to
    // this proxy.
    ASSERT (AfxGetApp()->m_pMainWnd != NULL);
    ASSERT_VALID (AfxGetApp()->m_pMainWnd);
    ASSERT_KINDOF(CJr3pciDlg, AfxGetApp()->m_pMainWnd);
    m_pDialog = (CJr3pciDlg*) AfxGetApp()->m_pMainWnd;
    m_pDialog->m_pAutoProxy = this;
}

CJr3pciDlgAutoProxy::~CJr3pciDlgAutoProxy()
{
    // To terminate the application when all objects created with
    // with automation, the destructor calls AfxOleUnlockApp.
    // Among other things, this will destroy the main dialog
    if (m_pDialog != NULL)
        m_pDialog->m_pAutoProxy = NULL;
    AfxOleUnlockApp();
}

```

```

void C Jr3pciDlgAutoProxy::OnFinalRelease()
{
    // When the last reference for an automation object is released
    // OnFinalRelease is called. The base class will automatically
    // deletes the object. Add additional cleanup required for your
    // object before calling the base class.

    CCmdTarget::OnFinalRelease();
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(C Jr3pciDlgAutoProxy, CCmdTarget)
    //{{AFX_MSG_MAP(C Jr3pciDlgAutoProxy)
    // NOTE - the ClassWizard will add and remove mapping macros here.
    //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

BEGIN_DISPATCH_MAP(C Jr3pciDlgAutoProxy, CCmdTarget)
    //{{AFX_DISPATCH_MAP(C Jr3pciDlgAutoProxy)
    // NOTE - the ClassWizard will add and remove mapping macros here.
    //}}AFX_DISPATCH_MAP
END_DISPATCH_MAP()

// Note: we add support for IID_I Jr3pci to support typesafe binding
// from VBA. This IID must match the GUID that is attached to the
// dispinterface in the .ODL file.

// {A502BA66-101F-49A8-802F-1FDD0089A192}
static const IID IID_I Jr3pci =
{ 0xa502ba66, 0x101f, 0x49a8, { 0x80, 0x2f, 0x1f, 0xdd, 0x0, 0x89, 0xa1, 0x92 } };

BEGIN_INTERFACE_MAP(C Jr3pciDlgAutoProxy, CCmdTarget)
    INTERFACE_PART(C Jr3pciDlgAutoProxy, IID_I Jr3pci, Dispatch)
END_INTERFACE_MAP()

// The IMPLEMENT_OLECREATE2 macro is defined in StdAfx.h of this project
// {85A6144F-92D1-457A-A958-D32D7D417890}
IMPLEMENT_OLECREATE2(C Jr3pciDlgAutoProxy, " Jr3pci.Application", 0x85a6144f, 0x92d1, 0x457a,
0xa9, 0x58, 0xd3, 0x2d, 0x7d, 0x41, 0x78, 0x90)

////////////////////////////////////
// C Jr3pciDlgAutoProxy message handlers

```

### 11.1.2. Jr3pci.cpp

```
// jr3pci.cpp : Defines the class behaviors for the application.
//

#include "stdafx.h"
#include "jr3pci.h"
#include "jr3pciDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

////////////////////////////////////
// CJr3pciApp

BEGIN_MESSAGE_MAP(CJr3pciApp, CWinApp)
   //{{AFX_MSG_MAP(CJr3pciApp)
    // NOTE - the ClassWizard will add and remove mapping macros here.
    // DO NOT EDIT what you see in these blocks of generated code!
    //}}AFX_MSG
    ON_COMMAND(ID_HELP, CWinApp::OnHelp)
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
// CJr3pciApp construction

CJr3pciApp::CJr3pciApp()
{
    // TODO: add construction code here,
    // Place all significant initialization in InitInstance
}

////////////////////////////////////
// The one and only CJr3pciApp object

CJr3pciApp theApp;

////////////////////////////////////
// CJr3pciApp initialization

BOOL CJr3pciApp::InitInstance()
{
    // Initialize OLE libraries
    if (!AfxOleInit())
    {
        AfxMessageBox(IDP_OLE_INIT_FAILED);
        return FALSE;
    }

    AfxEnableControlContainer();

    // Standard initialization
    // If you are not using these features and wish to reduce the size
```

```

// of your final executable, you should remove from the following
// the specific initialization routines you do not need.

#ifdef _AFXDLL
    Enable3dControls();           // Call this when using MFC in a shared DLL
#else
    Enable3dControlsStatic();     // Call this when linking to MFC statically
#endif

// Parse the command line to see if launched as OLE server
if (RunEmbedded() || RunAutomated())
{
    // Register all OLE server (factories) as running. This enables the
    // OLE libraries to create objects from other applications.
    COleTemplateServer::RegisterAll();
}
else
{
    // When a server application is launched stand-alone, it is a good idea
    // to update the system registry in case it has been damaged.
    COleObjectFactory::UpdateRegistryAll();
}

CJr3pciDlg dlg;
m_pMainWnd = &dlg;
int nResponse = dlg.DoModal();
if (nResponse == IDOK)
{
    // TODO: Place code here to handle when the dialog is
    // dismissed with OK
}
else if (nResponse == IDCANCEL)
{
    // TODO: Place code here to handle when the dialog is
    // dismissed with Cancel
}

// Since the dialog has been closed, return FALSE so that we exit the
// application, rather than start the application's message pump.
return FALSE;
}

```

### 11.1.3. Jr3pciDlg.cpp

```

// jr3pciDlg.cpp : implementation file
//

#include "stdafx.h"
#include "jr3pci.h"
#include "jr3pciDlg.h"
#include "DlgProxy.h"
#include "jr3pci_ft.h"
//Ficheros cabecera de SolarSockets necesarios para la comunicación sockets (TCP/IP)
#include <SolarSockets/SolarSockets++.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <sstream>
#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif
short initiated=0;
UINT timer_ID;
CString mmsg;
DWORD vendor_ID, device_ID;
short pnun, num, bnum;
//Declaraciones de las variables necesarias para la nueva aplicación.
string datofx="", datofy="", datofz="", datomx="", datomy="", datomz="";
string stringlongitudfx="", stringlongitudfy="", stringlongitudfz="";
string datocompleto="";
char charlongitudfx[1], charlongitudfy[1], charlongitudfz[1];
short primeravez=1;
int contador=0;
int nTempx=0;
int nTempy=0;
int nTempz=0;
int longitudfx=0;
int longitudfy=0;
int longitudfz=0;
int maximo=13000;
int minimo=150;
int almacenardatos=0;

//Creación del fichero para almacenar los datos leídos.
FILE * pFile= fopen ("datos_sensor.txt", "w");

ClienteTest Cliente;
ClienteTest::ClienteTest(void)
{
}

ClienteTest::~~ClienteTest(void)
{
}

```

```

class CAboutDlg : public CDialog
{
public:
    CAboutDlg();

    enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };

protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);

protected:

    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

CAboutDlg::CAboutDlg() : CDialog(CAboutDlg::IDD)
{
}

void CAboutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CAboutDlg, CDialog)

END_MESSAGE_MAP()

IMPLEMENT_DYNAMIC(CJr3pciDlg, CDialog);

CJr3pciDlg::CJr3pciDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
    : CDialog(CJr3pciDlg::IDD, pParent)
{
    m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_jr3pci);
    m_hIcon1 = AfxGetApp()->LoadIcon(IDI_read);
    m_pAutoProxy = NULL;
}

CJr3pciDlg::~CJr3pciDlg()
{
    if (m_pAutoProxy != NULL)
        m_pAutoProxy->m_pDialog = NULL;
}

```

```

void Cjr3pciDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
    DDX_Control(pDX, IDC_bnum, m_bnum);
    DDX_Control(pDX, IDC_vect, m_vect);
    DDX_Control(pDX, IDC_about, m_about);
    DDX_Control(pDX, IDC_pnumcombo, m_pnum);
    DDX_Control(pDX, IDC_mz4, m_mz4);
    DDX_Control(pDX, IDC_mz3, m_mz3);
    DDX_Control(pDX, IDC_v8, m_v8);
    DDX_Control(pDX, IDC_v7, m_v7);
    DDX_Control(pDX, IDC_v6, m_v6);
    DDX_Control(pDX, IDC_v5, m_v5);
    DDX_Control(pDX, IDC_v4, m_v4);
    DDX_Control(pDX, IDC_v3, m_v3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v8, m_pv8);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v7, m_pv7);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v6, m_pv6);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v5, m_pv5);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v4, m_pv4);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v3, m_pv3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mz4, m_pmz4);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mz3, m_pmz3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mz2, m_pmz2);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_my4, m_pmy4);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_my3, m_pmy3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_my2, m_pmy2);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mx4, m_pmx4);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mx3, m_pmx3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mx2, m_pmx2);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fz4, m_pfz4);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fz3, m_pfz3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fz2, m_pfz2);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fy4, m_pfy4);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fy3, m_pfy3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fy2, m_pfy2);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fx4, m_pfx4);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fx3, m_pfx3);
    DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fx2, m_pfx2);
    DDX_Control(pDX, IDC_mz2, m_mz2);
    DDX_Control(pDX, IDC_my4, m_my4);
    DDX_Control(pDX, IDC_my3, m_my3);
    DDX_Control(pDX, IDC_my2, m_my2);
    DDX_Control(pDX, IDC_mx4, m_mx4);
    DDX_Control(pDX, IDC_mx3, m_mx3);
    DDX_Control(pDX, IDC_mx2, m_mx2);
    DDX_Control(pDX, IDC_fz4, m_fz4);
    DDX_Control(pDX, IDC_fz3, m_fz3);
    DDX_Control(pDX, IDC_fz2, m_fz2);
    DDX_Control(pDX, IDC_fy4, m_fy4);
    DDX_Control(pDX, IDC_fy3, m_fy3);
    DDX_Control(pDX, IDC_fy2, m_fy2);
    DDX_Control(pDX, IDC_fx4, m_fx4);
    DDX_Control(pDX, IDC_fx3, m_fx3);
    DDX_Control(pDX, IDC_fx2, m_fx2);
}

```

```

DDX_Control(pDX, IDC_nump, m_nump);
DDX_Control(pDX, IDC_did, m_did);
DDX_Control(pDX, IDC_vid, m_vid);
DDX_Control(pDX, IDC_offnum, m_offnum);
DDX_Control(pDX, IDC_msg, m_msg);
DDX_Control(pDX, IDC_setoff, m_setoff);
DDX_Control(pDX, IDC_rminfs, m_rminfs);
DDX_Control(pDX, IDC_rMfs, m_rmfs);
DDX_Control(pDX, IDC_info, m_info);
DDX_Control(pDX, IDC_detFS, m_setfs);
DDX_Control(pDX, IDOK, m_ok);
DDX_Control(pDX, IDC_read, m_read);
DDX_Control(pDX, IDC_stop, m_stop);
DDX_Control(pDX, IDC_v2, m_v2);
DDX_Control(pDX, IDC_v1, m_v1);
DDX_Control(pDX, IDC_units, m_units);
DDX_Control(pDX, IDC_thickness, m_thickness);
DDX_Control(pDX, IDC_software, m_software);
DDX_Control(pDX, IDC_serial, m_serial);
DDX_Control(pDX, IDC_roff, m_roff);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v2, m_pv2);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_v1, m_pv1);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mz, m_pmz);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_my, m_pmy);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_mx, m_pmx);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fz, m_pfz);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fy, m_pfy);
DDX_Control(pDX, IDC_PROGRESS_fx, m_pfx);
DDX_Control(pDX, IDC_off_mz, m_off_mz);
DDX_Control(pDX, IDC_off_my, m_off_my);
DDX_Control(pDX, IDC_off_mx, m_off_mx);
DDX_Control(pDX, IDC_off_fz, m_off_fz);
DDX_Control(pDX, IDC_off_fy, m_off_fy);
DDX_Control(pDX, IDC_off_fx, m_off_fx);
DDX_Control(pDX, IDC_mz, m_mz);
DDX_Control(pDX, IDC_my, m_my);
DDX_Control(pDX, IDC_mx, m_mx);
DDX_Control(pDX, IDC_model, m_model);
DDX_Control(pDX, IDC_init, m_init);
DDX_Control(pDX, IDC_fz, m_fz);
DDX_Control(pDX, IDC_fy, m_fy);
DDX_Control(pDX, IDC_fx, m_fx);
DDX_Control(pDX, IDC_fs_mz, m_fsmz);
DDX_Control(pDX, IDC_fs_my, m_fsmy);
DDX_Control(pDX, IDC_fs_mx, m_fsmx);
DDX_Control(pDX, IDC_fs_fz, m_fs_fz);
DDX_Control(pDX, IDC_fs_fy, m_fs_fy);
DDX_Control(pDX, IDC_fs_fx, m_fs_fx);
DDX_Control(pDX, IDC_eeprom, m_eeprom);
DDX_Control(pDX, IDC_adc, m_adc);
}

```

```
BEGIN_MESSAGE_MAP(CJr3pciDlg, CDialog)
```

```

ON_WM_SYSCOMMAND()
ON_WM_PAINT()

```

```

ON_WM_QUERYDRAGICON()
ON_WM_CLOSE()
ON_BN_CLICKED(IDC_init, Oninit)
ON_BN_CLICKED(IDC_roff, Onroff)
ON_BN_CLICKED(IDC_read, Onread)
ON_BN_CLICKED(IDC_stop, Onstop)
ON_WM_TIMER()
ON_BN_CLICKED(IDC_detFS, OndetFS)
ON_BN_CLICKED(IDC_rMfs, OnrMfs)
ON_BN_CLICKED(IDC_rminfs, Onrminfs)
ON_BN_CLICKED(IDC_setoff, Onsetoff)
ON_BN_CLICKED(IDC_info, Oninfo)
ON_CBN_DROPDOWN(IDC_pnumcombo, OnDropdownpnumcombo)
ON_CBN_SELENDOK(IDC_pnumcombo, OnSelendokpnumcombo)
ON_CBN_SELENCANCEL(IDC_pnumcombo, OnSelendcancelpnumcombo)
ON_BN_CLICKED(IDC_about, Onabout)
ON_STN_CLICKED(IDC_mx3, &CJr3pciDlg::OnStnClickedmx3)
END_MESSAGE_MAP()

BOOL CJr3pciDlg::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();

    ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
    ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

    CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
    if (pSysMenu != NULL)
    {
        CString strAboutMenu;
        strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
        if (!strAboutMenu.IsEmpty())
        {
            pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
            pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX, strAboutMenu);
        }
    }

    SetIcon(m_hIcon, TRUE);
    SetIcon(m_hIcon, FALSE);

    m_init.SetIcon(m_hIcon1);
    m_read.SetIcon(AfxGetApp()->LoadIcon(IDI_start));
    m_stop.SetIcon(AfxGetApp()->LoadIcon(IDI_stop));
    m_init.SetIcon(AfxGetApp()->LoadIcon(IDI_init));
    m_ok.SetIcon(AfxGetApp()->LoadIcon(IDI_out));
    m_about.SetIcon(AfxGetApp()->LoadIcon(IDI_info));
    mmsg.Format("%x", 0x1762);
    m_vid.SetWindowText(mmsg);
    mmsg.Format("%x", 0x5112);
    m_did.SetWindowText(mmsg);
    m_msg.SetWindowText("Listed IDs and Board Number are the ones by DEFAULT. Change
them if needed.");
}

```

```

m_bnum.SetWindowText("1");

{

    m_tooltip.Create(this);
    m_tooltip.Activate(TRUE);

    m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_init), "Download DSP CODE and Start
Sensor.");
    m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDOK), "Bye!");
    m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_read), "Read FT Data: 1ms");
    m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_stop), "Stop reading sensor.");
m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_roff), "Reset Offsets");
m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_setoff), "Set Offsets: write-in the values");
    m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_detFS), "Set FScalEs: write-in the values");
    m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_rMfs), "Read Recommended Maximum FS");
    m_tooltip.AddTool(GetDlgItem(IDC_rminfs), "Read Recommended Minimum FS");

}
return TRUE;
}

void Cjr3pciDlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
{
    if ((nID & 0xFFFF) == IDM_ABOUTBOX)
    {
        CAboutDlg dlgAbout;
        dlgAbout.DoModal();
    }
    else
    {
        CDialog::OnSysCommand(nID, lParam);
    }
}

void Cjr3pciDlg::OnPaint()
{
    if (IsIconic())
    {
        CPaintDC dc(this);

        SendMessage(WM_ICONERASEBKGND, (LPARAM) dc.GetSafeHdc(), 0);

        int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
        int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
        CRect rect;
        GetClientRect(&rect);
        int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
        int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;
    }
}

```

```
        dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
    }
    else
    {
        CDialog::OnPaint();
    }
}

HCURSOR CJr3pciDlg::OnQueryDragIcon()
{
    return (HCURSOR) m_hIcon;
}

void CJr3pciDlg::OnClose()
{
    if (CanExit())
        CDialog::OnClose();
}

void CJr3pciDlg::OnOK()
{
    if (CanExit())
        CDialog::OnOK();
}

void CJr3pciDlg::OnCancel()
{
    if (CanExit())
        CDialog::OnCancel();
}

BOOL CJr3pciDlg::CanExit()
{
    if (m_pAutoProxy != NULL)
    {
        ShowWindow(SW_HIDE);

        return FALSE;
    }

    return TRUE;
}

void CJr3pciDlg::Oninit()
{
    CString msg,msg1;
```

```

int a;
DWORD os_version;

if (!initiated)
{
    m_bnum.GetWindowText(msg);
    bnum=(short)strtoul(msg,NULL,10);

    m_vid.GetWindowText(msg);
    vendor_ID=strtoul(msg,NULL,16);
    m_did.GetWindowText(msg);
    device_ID=strtoul(msg,NULL,16);
    strtoul(msg,NULL,16);
    msg1=msg.Right(1);
    m_nump.SetWindowText(msg1);
    nump=(short)strtoul(msg1,NULL,10);
    os_version=GetVersion();
    //Creación de las columnas en el fichero para almacenar los datos guardados.
    fputs (" Fx          Mx          Fy          My          Fz
Mz",pFile);
    fputs ("\n",pFile);
    //Conexión del PC con el robot ABB. Espera de 100 ms para establecer la conexión correctamente.

    Cliente.Connect("192.168.133.2", 4410);
    Sleep(100);

    a=init_jr3(vendor_ID, device_ID, bnum,nump,1);
    m_pnum.SetWindowText("0");
    if (a>=0) m_msg.SetWindowText("DSP Code was downloaded OK"); else
    {
        if (a== -96)
            msg.Format("Download Error. %d",a);
        if (a== -92)
            msg.Format("Windriver version error: %d",a);
        if (a== -93)
            msg.Format("PCI Card Not Found: %d",a);
        if (a== -94)
            msg.Format("Card Not In Range: %d",a);
        if (a== -95)
            msg.Format("Failed Locking PCI Card (already in use): %d",a);
        if (a== -91)

            msg.Format("Failed to open Handle to Windriver ... run wdreg %d",a);

        if (a== -90)
            msg.Format("IDM file with DSP code not found.");

        AfxMessageBox(msg);
    }
}

```

```

        return;
    }

    initiated=1;

    m_ok.EnableWindow(FALSE);
    m_read.EnableWindow(TRUE);
    m_stop.EnableWindow(TRUE);
    m_info.EnableWindow(TRUE);
    m_setfs.EnableWindow(TRUE);
    m_setoff.EnableWindow(TRUE);
    m_roff.EnableWindow(TRUE);
    m_rminfs.EnableWindow(TRUE);
    m_rmfs.EnableWindow(TRUE);
    m_pnum.EnableWindow(TRUE);

    m_pnum.SetWindowText("0");
    pnum=0;

} else
{

    close_jr3();
    initiated=0;
    m_ok.EnableWindow(TRUE);
    m_read.EnableWindow(FALSE);
    m_stop.EnableWindow(FALSE);
    m_info.EnableWindow(FALSE);
    m_setfs.EnableWindow(FALSE);
    m_setoff.EnableWindow(FALSE);
    m_roff.EnableWindow(FALSE);
    m_rminfs.EnableWindow(FALSE);
    m_rmfs.EnableWindow(FALSE);
    m_msg.SetWindowText("Bye for NOW.");
    m_pnum.EnableWindow(FALSE);

}

}

void CJr3pciDlg::Onroff()
{

    CString msg;
    m_offnum.GetWindowText(msg);
    m_pnum.GetWindowText(msg);
    pnum=(short)strtoul(msg,NULL,10);
    reset_offsets(pnum);
    m_msg.SetWindowText("Offsets reseted to current FT data");
    CJr3pciDlg::Oninfo();

}

```

```

void Cjr3pciDlg::Onread()
{
    struct force_array off;
    short range;
    CString msg;

    m_pnum.GetWindowText(msg);
    pnum=(short)strtol(msg,NULL,10);
    msg.Format("%d",pnum);
    m_pnum.SetWindowText(msg);

    m_init.EnableWindow(FALSE);

    range = 16384;

    m_pfx.SetRange(0,range);
    m_pfy.SetRange(0,range);
    m_pfz.SetRange(0,range);
    m_pmx.SetRange(0,range);
    m_pmy.SetRange(0,range);
    m_pmz.SetRange(0,range);
    m_pv1.SetRange(0,range);
    m_pv2.SetRange(0,range);

    m_pfx2.SetRange(0,range);
    m_pfy2.SetRange(0,range);
    m_pfz2.SetRange(0,range);
    m_pmx2.SetRange(0,range);
    m_pmy2.SetRange(0,range);
    m_pmz2.SetRange(0,range);
    m_pv3.SetRange(0,range);
    m_pv4.SetRange(0,range);

    m_pfx3.SetRange(0,range);
    m_pfy3.SetRange(0,range);
    m_pfz3.SetRange(0,range);
    m_pmx3.SetRange(0,range);
    m_pmy3.SetRange(0,range);
    m_pmz3.SetRange(0,range);
    m_pv5.SetRange(0,range);
    m_pv6.SetRange(0,range);

    m_pfx4.SetRange(0,range);
    m_pfy4.SetRange(0,range);
    m_pfz4.SetRange(0,range);
    m_pmx4.SetRange(0,range);
    m_pmy4.SetRange(0,range);
    m_pmz4.SetRange(0,range);
    m_pv7.SetRange(0,range);
    m_pv8.SetRange(0,range);

    off = read_ftdata(FILTER2,0);

    msg.Format("%d",(off.fx));

```

```

    m_fx.SetWindowText(msg);
    m_pfx.SetPos(abs(off.fx));
msg.Format("%d",off.fy);
    m_fy.SetWindowText(msg);
    m_pfy.SetPos(abs(off.fy));
msg.Format("%d", (off.fz));
    m_fz.SetWindowText(msg);
    m_pfz.SetPos(abs(off.fz));

    msg.Format("%d",off.mx);
    m_mx.SetWindowText(msg);
    m_pmx.SetPos(abs(off.mx));

    msg.Format("%d",off.my);
    m_my.SetWindowText(msg);
    m_pmy.SetPos(abs(off.my));

msg.Format("%d",off.mz);
    m_mz.SetWindowText(msg);
    m_pmz.SetPos(abs(off.mz));

msg.Format("%d",off.v1);
    m_v1.SetWindowText(msg);
    m_pv1.SetPos(abs(off.v1));
msg.Format("%d",off.v2);
    m_v2.SetWindowText(msg);
    m_pv2.SetPos(abs(off.v2));

timer_ID=SetTimer(NULL,1, NULL);

    msg.Format("%d",off.fx);
    m_fx2.SetWindowText(msg);
    m_pfx2.SetPos(abs(off.fx));
msg.Format("%d",off.fy);
    m_fy2.SetWindowText(msg);
    m_pfy2.SetPos(abs(off.fy));
msg.Format("%d",off.fz);
    m_fz2.SetWindowText(msg);
    m_pfz2.SetPos(abs(off.fz));
msg.Format("%d",off.mx);
    m_mx2.SetWindowText(msg);
    m_pmx2.SetPos(abs(off.mx));

msg.Format("%d",off.my);
    m_my2.SetWindowText(msg);
    m_pmy2.SetPos(abs(off.my));

    msg.Format("%d",off.mz);
    m_mz2.SetWindowText(msg);
    m_pmz2.SetPos(abs(off.mz));

msg.Format("%d",off.v1);
    m_v3.SetWindowText(msg);
    m_pv3.SetPos(abs(off.v1));
msg.Format("%d",off.v2);
    m_v4.SetWindowText(msg);

```

```

    m_pv4.SetPos(abs(off.v2));

    msg.Format("%d",off.fx);
    m_fx3.SetWindowText(msg);
    m_pfx3.SetPos(abs(off.fx));
msg.Format("%d",off.fy);
    m_fy3.SetWindowText(msg);
    m_pfy3.SetPos(abs(off.fy));
msg.Format("%d",off.fz);
    m_fz3.SetWindowText(msg);
    m_pfz3.SetPos(abs(off.fz));
msg.Format("%d",off.mx);
    m_mx3.SetWindowText(msg);
    m_pmx3.SetPos(abs(off.mx));

msg.Format("%d",off.my);
    m_my3.SetWindowText(msg);
    m_pmy3.SetPos(abs(off.my));

    msg.Format("%d",off.mz);
    m_mz3.SetWindowText(msg);
    m_pmz3.SetPos(abs(off.mz));

msg.Format("%d",off.v1);
    m_v5.SetWindowText(msg);
    m_pv5.SetPos(abs(off.v1));
msg.Format("%d",off.v2);
    m_v6.SetWindowText(msg);
    m_pv6.SetPos(abs(off.v2));

    msg.Format("%d",off.fx);
    m_fx4.SetWindowText(msg);
    m_pfx4.SetPos(abs(off.fx));
msg.Format("%d",off.fy);
    m_fy4.SetWindowText(msg);
    m_pfy4.SetPos(abs(off.fy));
msg.Format("%d",off.fz);
    m_fz4.SetWindowText(msg);
    m_pfz4.SetPos(abs(off.fz));
msg.Format("%d",off.mx);
    m_mx4.SetWindowText(msg);
    m_pmx4.SetPos(abs(off.mx));

msg.Format("%d",off.my);
    m_my4.SetWindowText(msg);
    m_pmy4.SetPos(abs(off.my));

    msg.Format("%d",off.mz);
    m_mz4.SetWindowText(msg);
    m_pmz4.SetPos(abs(off.mz));

msg.Format("%d",off.v1);
    m_v7.SetWindowText(msg);
    m_pv7.SetPos(abs(off.v1));
msg.Format("%d",off.v2);

```

```

        m_v8.SetWindowText(msg);
        m_pv8.SetPos(abs(off.v2));

    }

    m_msg.SetWindowText("Reading FT data at 1 ms ...");

}

void Cjr3pciDlg::Onstop()
{
    KillTimer(timer_ID);

    m_msg.SetWindowText("Timer killed ... ");
    m_init.EnableWindow(TRUE);

}

void Cjr3pciDlg::OnTimer(UINT nIDEvent)
{
    struct force_array off;
    short i;
    CString msg;
    timer_ID = nIDEvent;

    for (i=0;i<=nump-1;i++)
    {

        off = read_ftdata(FILTER2,i);

        // Processor 1
        if (i == 0)
        {

            msg.Format("%d",off.fx);
            m_fx.SetWindowText(msg);
            //Estracción de los valores de fuerza. Conversión mediante atoi a un entero para su
            comparación.
            nTempx = atoi (msg);
            datofx = msg;
            m_pfx.SetPos(abs(off.fx));

            msg.Format("%d",off.fy);
            m_fy.SetWindowText(msg);
            nTempy = atoi (msg);
            datofy = msg;
            m_pfy.SetPos(abs(off.fy));

            msg.Format("%d",off.fz);
            m_fz.SetWindowText(msg);

```

```

nTempz = atoi (msg);
    datofz = msg;
    m_pfz.SetPos(abs(off.fz));

msg.Format("%d",off.mx);
    m_mx.SetWindowText(msg);
    datomx=msg;
    m_pmx.SetPos(abs(off.mx));

msg.Format("%d",off.my);
    m_my.SetWindowText(msg);
    datomy=msg;
    m_pmy.SetPos(abs(off.my));

msg.Format("%d",off.mz);
    m_mz.SetWindowText(msg);
    datomz=msg;
    m_pmz.SetPos(abs(off.mz));

msg.Format("%d",off.v1);
    m_v1.SetWindowText(msg);

    m_pv1.SetPos(abs(off.v1));
msg.Format("%d",off.v2);
    m_v2.SetWindowText(msg);
    m_pv2.SetPos(abs(off.v2));

    //Almacenar datos en archivo txt.
if (almacenardatos==1)
{
    fputs ("\n",pFile);
    fwrite (&datofx,sizeof(datofx),1,pFile);
    fwrite (&datofy,sizeof(datofy),1,pFile);
    fwrite (&datofz,sizeof(datofz),1,pFile);
    fwrite (&datomx,sizeof(datomx),1,pFile);
    fwrite (&datomy,sizeof(datomy),1,pFile);
    fwrite (&datomz,sizeof(datomz),1,pFile);

}

//Comprobación de los valores de fuerza para ver si se encuentran dentro del rango establecido.
if ((nTempx>minimo) && (nTempx<minimo) && (nTempy>minimo) && (nTempy<minimo) &&
(nTempz>minimo) && (nTempz<minimo))
{
datofx="";
datofy="";
datofz="";

nTempx=0;
nTempy=0;
nTempz=0;

}

```

```

if (nTempx<-maximo)

{
datofx="-13000";
}
else if (nTempx>maximo)

{
datofx="13000";
}
else if (nTempy<-maximo)

{
datofy="-13000";
}
else if (nTempy>maximo)

{
datofy="13000";
}
else if (nTempz<-maximo)

{
datofz="-13000";
}
else if (nTempz>maximo)

{
datofz="13000";
}

// Condición despues de conectar para evitar enviar los primeros datos
// medidos por el sensor, los cuales son erroneos.
if (primeravez==1)
{
    for (contador=0;contador<=4;contador++)
    {

        datocompleto="";
        stringlongitudfx="";
        stringlongitudfy="";
        stringlongitudfz="";
        datofx = "";
        datofy = "";
        datofz = "";
        Sleep(500);
        Cliente.Send(datocompleto);
        primeravez=0;

    }
}

//Medida de la longitud de los valores de fuerzas para formar la trama.

```

```

longitudfx=strlen(datofx.c_str());
itoa (longitudfx,charlongitudfx,10);
stringlongitudfx=charlongitudfx;
stringlongitudfx.resize (1);
datocompleto+=stringlongitudfx;

```

```

longitudfy=strlen(datofy.c_str());
itoa (longitudfy,charlongitudfy,10);
stringlongitudfy=charlongitudfy;
stringlongitudfy.resize (1);
datocompleto+=stringlongitudfy;

```

```

longitudfz=strlen(datofz.c_str());
itoa (longitudfz,charlongitudfz,10);
stringlongitudfz=charlongitudfz;
stringlongitudfz.resize (1);
datocompleto+=stringlongitudfz;

```

//Se completa la trama con los valores de las tres fuerzas.

// TRAMA COMPLETA = [longitud de fuerza X + longitud de fuerza Y + longitud de fuerza Z + Fuerza X + Fuerza Y + Fuerza Z]

```

datocompleto+=datofx;
datocompleto+=datofy;
datocompleto+=datofz;

```

//Envia la trama completa.

```

Sleep(500);
Cliente.Send(datocompleto);

```

```

        datocompleto="";
        stringlongitudfx="";
    stringlongitudfy="";
        stringlongitudfz="";
        datofx = "0";
        datofy = "0";
    datofz = "0";
        longitudfx=0;
        longitudfy=0;
        longitudfz=0;

```

```

}

```

// Processor 2

```

if (i == 1)
{
    msg.Format("%d",off.fx);
    m_fx2.SetWindowText(msg);
    m_pfx2.SetPos(abs(off.fx));
    msg.Format("%d",off.fy);
    m_fy2.SetWindowText(msg);
    m_pfy2.SetPos(abs(off.fy));
}

```

```

msg.Format("%d",off.fz);
    m_fz2.SetWindowText(msg);
    m_pzf2.SetPos(abs(off.fz));
msg.Format("%d",off.mx);
    m_mx2.SetWindowText(msg);
    m_pmx2.SetPos(abs(off.mx));

msg.Format("%d",off.my);
    m_my2.SetWindowText(msg);
    m_pmy2.SetPos(abs(off.my));

    msg.Format("%d",off.mz);
    m_mz2.SetWindowText(msg);
    m_pmz2.SetPos(abs(off.mz));

    //off.v2=(int) sqrt(off.fx*off.fx+off.fy*off.fy+off.fz*off.fz);

msg.Format("%d",off.v1);
    m_v3.SetWindowText(msg);

    m_pv3.SetPos(abs(off.v1));
msg.Format("%d",off.v2);
    m_v4.SetWindowText(msg);
    m_pv4.SetPos(abs(off.v2));
}

// Processor 3

if (i == 2)
{
    msg.Format("%d",off.fx);
    m_fx3.SetWindowText(msg);
    m_pfx3.SetPos(abs(off.fx));
msg.Format("%d",off.fy);
    m_fy3.SetWindowText(msg);
    m_pfy3.SetPos(abs(off.fy));
msg.Format("%d",off.fz);
    m_fz3.SetWindowText(msg);
    m_pzf3.SetPos(abs(off.fz));
msg.Format("%d",off.mx);
    m_mx3.SetWindowText(msg);
    m_pmx3.SetPos(abs(off.mx));

msg.Format("%d",off.my);
    m_my3.SetWindowText(msg);
    m_pmy3.SetPos(abs(off.my));

    msg.Format("%d",off.mz);
    m_mz3.SetWindowText(msg);
    m_pmz3.SetPos(abs(off.mz));

msg.Format("%d",off.v1);
    m_v5.SetWindowText(msg);
    m_pv5.SetPos(abs(off.v1));
msg.Format("%d",off.v2);
    m_v6.SetWindowText(msg);

```

```

        m_pv6.SetPos(abs(off.v2));
    }

    // Processor 4

if (i == 3)
    {
        msg.Format("%d",off.fx);
        m_fx4.SetWindowText(msg);
        m_pfx4.SetPos(abs(off.fx));
        msg.Format("%d",off.fy);
        m_fy4.SetWindowText(msg);
        m_pfy4.SetPos(abs(off.fy));
        msg.Format("%d",off.fz);
        m_fz4.SetWindowText(msg);
        m_pfz4.SetPos(abs(off.fz));
        msg.Format("%d",off.mx);
        m_mx4.SetWindowText(msg);
        m_pmx4.SetPos(abs(off.mx));

        msg.Format("%d",off.my);
        m_my4.SetWindowText(msg);
        m_pmy4.SetPos(abs(off.my));

        msg.Format("%d",off.mz);
        m_mz4.SetWindowText(msg);
        m_pmz4.SetPos(abs(off.mz));

        msg.Format("%d",off.v1);
        m_v7.SetWindowText(msg);
        m_pv7.SetPos(abs(off.v1));
        msg.Format("%d",off.v2);
        m_v8.SetWindowText(msg);
        m_pv8.SetPos(abs(off.v2));

    }
}

CDialog::OnTimer(nIDEvent);

}

void CJr3pciDlg::Oninidown()
{

}

void CJr3pciDlg::OndetFS()
{
    struct six_axis_array fs;
    CString msg;

    m_fsfx.GetWindowText(msg);
    fs.fx=atoi(msg);
    m_fsfy.GetWindowText(msg);

```

```

        fs.fy=atoi(msg);
m_fsfc.GetWindowText(msg);
        fs.fz=atoi(msg);
m_fsmx.GetWindowText(msg);
        fs.mx=atoi(msg);
m_fsmy.GetWindowText(msg);
        fs.my=atoi(msg);
m_fsmz.GetWindowText(msg);
        fs.mz=atoi(msg);

        m_pnum.GetWindowText(msg);
        pnum=(short)strtoul(msg,NULL,10);

        set_full_scales(fs,pnum);
        m_msg.SetWindowText("New F Scales Programmed");
    }

void C Jr3pciDlg::OnrMfs()
{
    struct six_axis_array fs;
    CString msg;

        m_pnum.GetWindowText(msg);
        pnum=(short)strtoul(msg,NULL,10);

        fs=get_recommended_full_scales(MAX_F_S,pnum);
        msg.Format("%d",fs.fx);
        m_fsfx.SetWindowText(msg);
        msg.Format("%d",fs.fy);
        m_fsfy.SetWindowText(msg);
        msg.Format("%d",fs.fz);
        m_fsfc.SetWindowText(msg);
        msg.Format("%d",fs.mx);
        m_fsmx.SetWindowText(msg);
        msg.Format("%d",fs.my);
        m_fsmy.SetWindowText(msg);
        msg.Format("%d",fs.mz);
        m_fsmz.SetWindowText(msg);
        //C Jr3pciDlg::OndetFS();
        m_msg.SetWindowText("F Scales Read: MAX_F_S");
}

void C Jr3pciDlg::Onrminfs()
{
    struct six_axis_array fs;
    CString msg;

        m_pnum.GetWindowText(msg);
        pnum=(short)strtoul(msg,NULL,10);

        fs=get_recommended_full_scales(MIN_F_S,pnum);
        msg.Format("%d",fs.fx);

```

```

        m_fsfx.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.fy);
        m_fsfy.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.fz);
        m_fsfz.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.mx);
        m_fsmx.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.my);
        m_fsmy.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.mz);
        m_fsmz.SetWindowText(msg);
        m_msg.SetWindowText("FScales Read: MIN_F_S");
}

```

```
void C Jr3pciDlg::Onsetoff()
```

```

{
    struct six_axis_array off;
    CString msg;

        m_pnum.GetWindowText(msg);
pnum=(short)strtoul(msg,NULL,10);

        change_offset_num(atoi(msg),pnum);
use_offset(atoi(msg),0);

m_off_fx.GetWindowText(msg);
    off.fx=atoi(msg);
m_off_fy.GetWindowText(msg);
    off.fy=atoi(msg);
m_off_fz.GetWindowText(msg);
    off.fz=atoi(msg);
m_off_mx.GetWindowText(msg);
    off.mx=atoi(msg);
m_off_my.GetWindowText(msg);
    off.my=atoi(msg);
m_off_mz.GetWindowText(msg);
    off.mz=atoi(msg);
m_offnum.GetWindowText(msg);
    set_offsets(off,0);
m_msg.SetWindowText("New Offsets Programmed");
}

```

```
void C Jr3pciDlg::Oninfo()
```

```

{
    //Variable que habilita el fichero para almacenar los datos leídos por el JR3.
    almacenardatos=1;
    struct six_axis_array off;
    struct force_array fs;
    CString msg;

        m_pnum.GetWindowText(msg);
pnum=(short)strtoul(msg,NULL,10);

```

```

        msg.Format("%d",read_jr3(OFFSET_N,pnum));
        m_offnum.SetWindowText(msg);

msg.Format("%d",read_jr3(MODEL_N,pnum));
    m_model.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",read_jr3(SERIAL_N,pnum));
    m_serial.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",read_jr3(EEPROM_V_N,pnum));
    m_eeprom.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",read_jr3(SOFTWARE_V_N,pnum));
    m_software.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",read_jr3(THICKNESS,pnum));
    m_thickness.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",read_jr3(UNITS,pnum));
    m_units.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",read_jr3(BITS,pnum));
    m_adc.SetWindowText(msg);

    off = read_offsets(pnum);
msg.Format("%d",off.fx);
    m_off_fx.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",off.fy);
    m_off_fy.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",off.fz);
    m_off_fz.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",off.mx);
    m_off_mx.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",off.my);
    m_off_my.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",off.mz);
    m_off_mz.SetWindowText(msg);

    fs = get_full_scales(pnum);
msg.Format("%d",fs.fx);
    m_fsfx.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.fy);
    m_fsfy.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.fz);
    m_fs fz.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.mx);
    m_fsmx.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.my);
    m_fsmy.SetWindowText(msg);
msg.Format("%d",fs.mz);
    m_fsmz.SetWindowText(msg);
    m_msg.SetWindowText("Reading INFO from Sensor: Offsets + F Scales + Labels");

msg.Format("%d",read_jr3(VECT_A,pnum));
    m_vect.SetWindowText(msg);

}

BOOL CJr3pciDlg::PreTranslateMessage(MSG* pMsg)
{

```

```

    {
        m_tooltip.RelayEvent(pMsg);
    }
    return CDialog::PreTranslateMessage(pMsg);
}

void Cjr3pciDlg::OnDropdownpnumcombo()
{
    short i;
    CString msg;

    m_pnum.ResetContent();
    for (i=0;i<=nump-1;i++)
    {
        msg.Format("%d",i);
        m_pnum.InsertString(i,msg);
    }
}

void Cjr3pciDlg::OnSelendokpnumcombo()
{
    short i;
    CString msg;

    i=m_pnum.GetCurSel();
    msg.Format("%d",i);
    m_pnum.SetWindowText(msg);
}

void Cjr3pciDlg::OnSelendcancelpnumcombo()
{
}

void Cjr3pciDlg::Onabout()
{
    CAboutDlg dlgAbout;
    dlgAbout.DoModal();
}

void ClienteTest::onConnect()
{
    //Variable que indica al conectar que es el primer ciclo de envio
    //de datos para evitar mandar datos erroneos.
    primeravez=1;
}

void Cjr3pciDlg::OnStnClickedmx3()
{

```

```
}

```

#### 11.1.4. ProgDlg.cpp

```
// ProgDlg.cpp : implementation file
// CG: This file was added by the Progress Dialog component

#include "stdafx.h"
#include "resource.h"
#include "ProgDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#undef THIS_FILE
static char BASED_CODE THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

////////////////////////////////////
// CProgressDlg dialog

CProgressDlg::CProgressDlg(UINT nCaptionID)
{
    m_nCaptionID = CG_IDS_PROGRESS_CAPTION;
    if (nCaptionID != 0)
        m_nCaptionID = nCaptionID;

    m_bCancel=FALSE;
    m_nLower=0;
    m_nUpper=100;
    m_nStep=1;
    //{AFX_DATA_INIT(CProgressDlg)
    // NOTE: the ClassWizard will add member initialization here
    //}AFX_DATA_INIT
    m_bParentDisabled = FALSE;
}

CProgressDlg::~CProgressDlg()
{
    if(m_hWnd!=NULL)
        DestroyWindow();
}

BOOL CProgressDlg::DestroyWindow()
{
    ReEnableParent();
    return CDialog::DestroyWindow();
}

void CProgressDlg::ReEnableParent()
{
    if(m_bParentDisabled && (m_pParentWnd!=NULL))
        m_pParentWnd->EnableWindow(TRUE);
    m_bParentDisabled=FALSE;
}

BOOL CProgressDlg::Create(CWnd *pParent)

```

```

{
    // Get the true parent of the dialog
    m_pParentWnd = CWnd::GetSafeOwner(pParent);

    // m_bParentDisabled is used to re-enable the parent window
    // when the dialog is destroyed. So we don't want to set
    // it to TRUE unless the parent was already enabled.

    if((m_pParentWnd!=NULL) && m_pParentWnd->IsWindowEnabled())
    {
        m_pParentWnd->EnableWindow(FALSE);
        m_bParentDisabled = TRUE;
    }

    if(!CDialog::Create(CProgressDlg::IDD,pParent))
    {
        ReEnableParent();
        return FALSE;
    }

    return TRUE;
}

void CProgressDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
    //{{AFX_DATA_MAP(CProgressDlg)
    DDX_Control(pDX, CG_IDC_PROGDLG_PROGRESS, m_Progress);
    //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CProgressDlg, CDialog)
    //{{AFX_MSG_MAP(CProgressDlg)
    //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

void CProgressDlg::SetStatus(LPCTSTR lpszMessage)
{
    ASSERT(m_hWnd); // Don't call this _before_ the dialog has
                   // been created. Can be called from OnInitDialog
    CWnd *pWndStatus = GetDlgItem(CG_IDC_PROGDLG_STATUS);

    // Verify that the static text control exists
    ASSERT(pWndStatus!=NULL);
    pWndStatus->SetWindowText(lpszMessage);
}

void CProgressDlg::OnCancel()
{
    m_bCancel=TRUE;
}

void CProgressDlg::SetRange(int nLower,int nUpper)
{
    m_nLower = nLower;
    m_nUpper = nUpper;
}

```

```

    m_Progress.SetRange(nLower,nUpper);
}

int CProgressDlg::SetPos(int nPos)
{
    PumpMessages();
    int iResult = m_Progress.SetPos(nPos);
    UpdatePercent(nPos);
    return iResult;
}

int CProgressDlg::SetStep(int nStep)
{
    m_nStep = nStep; // Store for later use in calculating percentage
    return m_Progress.SetStep(nStep);
}

int CProgressDlg::OffsetPos(int nPos)
{
    PumpMessages();
    int iResult = m_Progress.OffsetPos(nPos);
    UpdatePercent(iResult+nPos);
    return iResult;
}

int CProgressDlg::StepIt()
{
    PumpMessages();
    int iResult = m_Progress.StepIt();
    UpdatePercent(iResult+m_nStep);
    return iResult;
}

void CProgressDlg::PumpMessages()
{
    // Must call Create() before using the dialog
    ASSERT(m_hWnd!=NULL);

    MSG msg;
    // Handle dialog messages
    while(PeekMessage(&msg, NULL, 0, 0, PM_REMOVE))
    {
        if(!IsDialogMessage(&msg))
        {
            TranslateMessage(&msg);
            DispatchMessage(&msg);
        }
    }
}

BOOL CProgressDlg::CheckCancelButton()
{
    // Process all pending messages
    PumpMessages();

    // Reset m_bCancel to FALSE so that

```

```

// CheckCancelButton returns FALSE until the user
// clicks Cancel again. This will allow you to call
// CheckCancelButton and still continue the operation.
// If m_bCancel stayed TRUE, then the next call to
// CheckCancelButton would always return TRUE

BOOL bResult = m_bCancel;
m_bCancel = FALSE;

return bResult;
}

void CProgressDlg::UpdatePercent(int nNewPos)
{
    CWnd *pWndPercent = GetDlgItem(CG_IDC_PROGDLG_PERCENT);
    int nPercent;

    int nDivisor = m_nUpper - m_nLower;
    ASSERT(nDivisor>0); // m_nLower should be smaller than m_nUpper

    int nDividend = (nNewPos - m_nLower);
    ASSERT(nDividend>=0); // Current position should be greater than m_nLower

    nPercent = nDividend * 100 / nDivisor;

    // Since the Progress Control wraps, we will wrap the percentage
    // along with it. However, don't reset 100% back to 0%
    if(nPercent!=100)
        nPercent %= 100;

    // Display the percentage
    CString strBuf;
    strBuf.Format(_T("%d%c"),nPercent,_T('%'));

    CString strCur; // get current percentage
    pWndPercent->GetWindowText(strCur);

    if (strCur != strBuf)
        pWndPercent->SetWindowText(strBuf);
}

////////////////////////////////////
// CProgressDlg message handlers

BOOL CProgressDlg::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();
    m_Progress.SetRange(m_nLower,m_nUpper);
    m_Progress.SetStep(m_nStep);
    m_Progress.SetPos(m_nLower);

    CString strCaption;
    VERIFY(strCaption.LoadString(m_nCaptionID));
    SetWindowText(strCaption);

    return TRUE;
}

```

```
}
```

### 11.1.5. StdAfx.cpp

```
// stdafx.cpp : source file that includes just the standard includes  
//    jr3pci.pch will be the pre-compiled header  
//    stdafx.obj will contain the pre-compiled type information  
  
#include "stdafx.h"
```

## 11.2. Cabeceras .h

### 11.2.1. DlgProxy.h

```
// DlgProxy.h : header file
//

#ifndef AFX_DLGPROXY_H__243D6A69_8A6D_4B9C_8B68_8DF1ACA527AD__INCLUDED_
#define AFX_DLGPROXY_H__243D6A69_8A6D_4B9C_8B68_8DF1ACA527AD__INCLUDED_

#if _MSC_VER > 1000
#pragma once
#endif // _MSC_VER > 1000

class CJr3pciDlg;

////////////////////////////////////
// CJr3pciDlgAutoProxy command target

class CJr3pciDlgAutoProxy : public CCmdTarget
{
    DECLARE_DYNCREATE(CJr3pciDlgAutoProxy)

    CJr3pciDlgAutoProxy();    // protected constructor used by dynamic creation

// Attributes
public:
    CJr3pciDlg* m_pDialog;

// Operations
public:

// Overrides
    // ClassWizard generated virtual function overrides
    //{{AFX_VIRTUAL(CJr3pciDlgAutoProxy)
    public:
    virtual void OnFinalRelease();
    //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:
    virtual ~CJr3pciDlgAutoProxy();

    // Generated message map functions
    //{{AFX_MSG(CJr3pciDlgAutoProxy)
        // NOTE - the ClassWizard will add and remove member functions here.
    //}}AFX_MSG

    DECLARE_MESSAGE_MAP()
    DECLARE_OLECREATE(CJr3pciDlgAutoProxy)

    // Generated OLE dispatch map functions
    //{{AFX_DISPATCH(CJr3pciDlgAutoProxy)
        // NOTE - the ClassWizard will add and remove member functions here.
```

```
    //}}AFX_DISPATCH
    DECLARE_DISPATCH_MAP()
    DECLARE_INTERFACE_MAP()
};

////////////////////////////////////

//{{AFX_INSERT_LOCATION}}
// Microsoft Visual C++ will insert additional declarations immediately before the previous line.

    #endif //
!defined(AFX_DLGPROXY_H__243D6A69_8A6D_4B9C_8B68_8DF1ACA527AD__INCLUDED_)
```

### 11.2.2. Jr3Pci.h

```

// jr3pci.h : main header file for the JR3PCI application
//

#ifndef AFX_JR3PCI_H__59C05E9E_D63A_41AB_842C_A5022DB758DE__INCLUDED_
#define AFX_JR3PCI_H__59C05E9E_D63A_41AB_842C_A5022DB758DE__INCLUDED_

#if _MSC_VER > 1000
#pragma once
#endif // _MSC_VER > 1000

#ifndef __AFXWIN_H__
    #error include 'stdafx.h' before including this file for PCH
#endif

#include "resource.h"          // main symbols

////////////////////////////////////

// CJr3pciApp:
// See jr3pci.cpp for the implementation of this class
//

class CJr3pciApp : public CWinApp
{
public:
    CJr3pciApp();

// Overrides
    // ClassWizard generated virtual function overrides
    //{{AFX_VIRTUAL(CJr3pciApp)
public:
    virtual BOOL InitInstance();
    //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation

    //{{AFX_MSG(CJr3pciApp)
        // NOTE - the ClassWizard will add and remove member functions here.
        // DO NOT EDIT what you see in these blocks of generated code !
    //}}AFX_MSG
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

////////////////////////////////////

//{{AFX_INSERT_LOCATION}}
// Microsoft Visual C++ will insert additional declarations immediately before the previous line.

#endif // !defined(AFX_JR3PCI_H__59C05E9E_D63A_41AB_842C_A5022DB758DE__INCLUDED_)

```

### 11.2.3. Jr3pciDlg.h

```

// jr3pciDlg.h : header file
#include <SolarSockets/solarSockets++.h>

#ifndef AFX_JR3PCIDLG_H__78BD5C12_9199_45A1_93AB_356DD59654C2__INCLUDED_
#define AFX_JR3PCIDLG_H__78BD5C12_9199_45A1_93AB_356DD59654C2__INCLUDED_

#if _MSC_VER > 1000
#pragma once
#endif // _MSC_VER > 1000

class CJr3pciDlgAutoProxy;
class ssPPClient;
////////////////////////////////////
// CJr3pciDlg dialog

class CJr3pciDlg : public CDialog
{
    DECLARE_DYNAMIC(CJr3pciDlg);
    friend class CJr3pciDlgAutoProxy;
    friend class ssPPClient;

// Construction
public:
    virtual BOOL PreTranslateMessage(MSG* pMsg);
    CJr3pciDlg(CWnd* pParent = NULL);    // standard constructor
    virtual ~CJr3pciDlg();

// Dialog Data
   //{{AFX_DATA(CJr3pciDlg)
    enum { IDD = IDD_JR3PCI_DIALOG };
    CEdit     m_bnum;
    CEdit     m_vect;
    CButton   m_about;
    CComboBox m_pnum;
    CStatic   m_mz4;
    CStatic   m_mz3;
    CStatic   m_v8;
    CStatic   m_v7;
    CStatic   m_v6;
    CStatic   m_v5;
    CStatic   m_v4;
    CStatic   m_v3;
    CProgressCtrl m_pv8;
    CProgressCtrl m_pv7;
    CProgressCtrl m_pv6;
    CProgressCtrl m_pv5;
    CProgressCtrl m_pv4;
    CProgressCtrl m_pv3;
    CProgressCtrl m_pmz4;
    CProgressCtrl m_pmz3;
    CProgressCtrl m_pmz2;
    CProgressCtrl m_pmy4;
    }
}

```

```
CProgressCtrl m_pmy3;
CProgressCtrl m_pmy2;
CProgressCtrl m_pmx4;
CProgressCtrl m_pmx3;
CProgressCtrl m_pmx2;
CProgressCtrl m_pfz4;
CProgressCtrl m_pfz3;
CProgressCtrl m_pfz2;
CProgressCtrl m_pfy4;
CProgressCtrl m_pfy3;
CProgressCtrl m_pfy2;
CProgressCtrl m_pfx4;
CProgressCtrl m_pfx3;
CProgressCtrl m_pfx2;
CStatic m_mz2;
CStatic m_my4;
CStatic m_my3;
CStatic m_my2;
CStatic m_mx4;
CStatic m_mx3;
CStatic m_mx2;
CStatic m_fz4;
CStatic m_fz3;
CStatic m_fz2;
CStatic m_fy4;
CStatic m_fy3;
CStatic m_fy2;
CStatic m_fx4;
CStatic m_fx3;
CStatic m_fx2;
CEdit m_nump;
CEdit m_did;
CEdit m_vid;
CEdit m_offnum;
CStatic m_msg;
CButtonm_setoff;
CButtonm_rminfs;
CButtonm_rmfs;
CButtonm_info;
CButtonm_setfs;
CButtonm_ok;
CButtonm_inidown;
CButtonm_radio1;
CButtonm_read;
CButtonm_stop;
CStatic m_v2;
CStatic m_v1;
CEdit m_units;
CEdit m_thickness;
CEdit m_software;
CEdit m_serial;
CButtonm_roff;
CProgressCtrl m_pv2;
CProgressCtrl m_pv1;
CProgressCtrl m_pmz;
CProgressCtrl m_pmy;
```

```

CProgressCtrl m_pmx;
CProgressCtrl m_pfz;
CProgressCtrl m_pfy;
CProgressCtrl m_pfx;
CEdit m_off_mz;
CEdit m_off_my;
CEdit m_off_mx;
CEdit m_off_fz;
CEdit m_off_fy;
CEdit m_off_fx;
CStatic m_mz;
CStatic m_my;
CStatic m_mx;
CEdit m_model;
CButtonm_init;
CStatic m_fz;
CStatic m_fy;
CStatic m_fx;
CEdit m_fsmz;
CEdit m_fsmy;
CEdit m_fsmx;
CEdit m_fsfz;
CEdit m_fsfy;
CEdit m_fsfx;
CEdit m_eeeprom;
CEdit m_adc;
//}}AFX_DATA

// ClassWizard generated virtual function overrides
//{{AFX_VIRTUAL(CJr3pciDlg)
protected:
virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); // DDX/DDV support
//}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:
CToolTipCtrl m_tooltip;
CJr3pciDlgAutoProxy* m_pAutoProxy;
HICON m_hlcon;
HICON m_hlcon1;

BOOL CanExit();

// Generated message map functions
//{{AFX_MSG(CJr3pciDlg)
virtual BOOL OnInitDialog();
afx_msg void OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam);
afx_msg void OnPaint();
afx_msg HCURSOR OnQueryDragIcon();
afx_msg void OnClose();
virtual void OnOK();
virtual void OnCancel();
afx_msg void Oninit();
afx_msg void Onroff();
afx_msg void Onread();
afx_msg void Onstop();

```

```

afx_msg void OnTimer(UINT nIDEvent);

afx_msg void Oninidown();
afx_msg void OndetFS();
afx_msg void OnrMfs();
afx_msg void Onrminfs();
afx_msg void Onsetoff();
afx_msg void Oninfo();
afx_msg void OnDropdownpnumcombo();
afx_msg void OnSelendokpnumcombo();
afx_msg void OnSelendcancelpnumcombo();
afx_msg void Onabout();
//}}AFX_MSG
DECLARE_MESSAGE_MAP()
public:
    afx_msg void OnStnClickedmx3();
};

//{{AFX_INSERT_LOCATION}}
// Microsoft Visual C++ will insert additional declarations immediately before the previous line.

//Declaración de las clase necesaria para la conexión Socket (TCP/IP)
class ClienteTest : public ssPPClient
{
public:
    ClienteTest(void);
    virtual ~ClienteTest(void);

    void onConnect();

};

#endif //
!defined(AFX_JR3PCIDLG_H__78BD5C12_9199_45A1_93AB_356DD59654C2__INCLUDED_)

```

#### 11.2.4. ProgDlg.h

```

/ ProgDlg.h : header file
// CG: This file was added by the Progress Dialog component

////////////////////////////////////
// CProgressDlg dialog

#ifdef __PROGDLG_H__
#define __PROGDLG_H__

class CProgressDlg : public CDialog
{
// Construction / Destruction
public:
    CProgressDlg(UINT nCaptionID = 0); // standard constructor
    ~CProgressDlg();

    BOOL Create(CWnd *pParent=NULL);

    // Checking for Cancel button
    BOOL CheckCancelButton();
    // Progress Dialog manipulation
    void SetStatus(LPCTSTR lpszMessage);
    void SetRange(int nLower,int nUpper);
    int SetStep(int nStep);
    int SetPos(int nPos);
    int OffsetPos(int nPos);
    int StepIt();

// Dialog Data
    //{AFX_DATA(CProgressDlg)
    enum { IDD = CG_IDD_PROGRESS };
    CProgressCtrl m_Progress;
    //}AFX_DATA

// Overrides
    // ClassWizard generated virtual function overrides
    //{AFX_VIRTUAL(CProgressDlg)
    public:
        virtual BOOL DestroyWindow();
    protected:
        virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); // DDX/DDV support
    //}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:
    UINT m_nCaptionID;
    int m_nLower;
    int m_nUpper;
    int m_nStep;

    BOOL m_bCancel;
    BOOL m_bParentDisabled;

```

```
void ReEnableParent();

virtual void OnCancel();
virtual void OnOK() {};
void UpdatePercent(int nCurrent);
void PumpMessages();

// Generated message map functions
//{{AFX_MSG(CProgressDlg)
virtual BOOL OnInitDialog();
//}}AFX_MSG
DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

#endif // __PROGDLG_H__
```

### 11.2.5. Resource.h

```

//{{NO_DEPENDENCIES}}
// Microsoft Visual C++ generated include file.
// Used by jr3pci.rc
//
#define IDM_ABOUTBOX                    0x0010
#define IDD_ABOUTBOX                    100
#define IDP_OLE_INIT_FAILED              100
#define IDS_ABOUTBOX                     101
#define IDD_JR3PCI_DIALOG                 102
#define CG_IDD_PROGRESS                   103
#define CG_IDS_PROGRESS_CAPTION           104
#define IDR_MAINFRAME                    128
#define IDR_jr3pci                        128
#define IDB_B1                             129
#define IDI_read                           131
#define IDI_ICON3                          132
#define IDI_ICON4                          133
#define IDI_ok                             134
#define IDI_nok                            135
#define IDI_init2                          136
#define IDI_ICON8                          137
#define IDI_ICON9                          138
#define IDI_info                           139
#define IDI_stop                           140
#define IDI_ICON12                         141
#define IDI_ICON13                         142
#define IDI_init                            143
#define IDI_ICON15                         144
#define IDI_jr3                            145
#define IDI_start                          146
#define IDI_out                             148
#define IDI_ICON2                          149
#define IDI_ICON1                           150
#define IDB_PNG1                           158
#define IDB_PNG2                           159
#define IDB_PNG3                           161
#define IDB_PNG4                           166
#define IDB_PNG5                           168
#define IDI_ICON5                          172
#define CG_IDC_PROGDLG_PROGRESS            1003
#define CG_IDC_PROGDLG_PERCENT            1004
#define IDC_init                           1004
#define CG_IDC_PROGDLG_STATUS              1005
#define IDC_fx                             1005
#define IDC_fy                             1006
#define IDC_fz                             1007
#define IDC_v1                             1008
#define IDC_mx                             1009
#define IDC_my                             1010
#define IDC_mz                             1011
#define IDC_v2                             1012
#define IDC_PROGRESS_fx                    1013
#define IDC_roff                           1014
#define IDC_serial                         1015
#define IDC_model                          1016
#define IDC_eeprom                         1017
#define IDC_read                           1018
#define IDC_stop                           1019
#define IDC_PROGRESS_fx2                   1020

```

```
#define IDC_fx2 1021
#define IDC_PROGRESS_fy 1022
#define IDC_PROGRESS_fz 1023
#define IDC_PROGRESS_v1 1024
#define IDC_PROGRESS_mx 1025
#define IDC_PROGRESS_my 1026
#define IDC_PROGRESS_mz 1027
#define IDC_PROGRESS_v2 1028
#define IDC_setoff 1029
#define IDC_software 1030
#define IDC_detFS 1031
#define IDC_thickness 1032
#define IDC_units 1033
#define IDC_adc 1034
#define IDC_off_fx 1035
#define IDC_off_fy 1036
#define IDC_off_fz 1037
#define IDC_off_mx 1038
#define IDC_off_my 1039
#define IDC_off_mz 1040
#define IDC_fs_fx 1041
#define IDC_fs_fy 1042
#define IDC_fs_fz 1043
#define IDC_fs_mx 1044
#define IDC_fs_my 1045
#define IDC_fs_mz 1046
#define IDC_rMfs 1047
#define IDC_rminfs 1048
#define IDC_msg 1049
#define IDC_info 1050
#define IDC_offnum 1051
#define IDC_vid 1052
#define IDC_did 1053
#define IDC_nump 1054
#define IDC_vect 1055
#define IDC_PROGRESS_fy2 1056
#define IDC_fy2 1057
#define IDC_PROGRESS_fz2 1058
#define IDC_fz2 1059
#define IDC_PROGRESS_v3 1060
#define IDC_v3 1061
#define IDC_PROGRESS_mx2 1062
#define IDC_mx2 1063
#define IDC_PROGRESS_my2 1064
#define IDC_my2 1065
#define IDC_PROGRESS_mz2 1066
#define IDC_mz2 1067
#define IDC_PROGRESS_v4 1068
#define IDC_v4 1069
#define IDC_pnumcombo 1070
#define IDC_bnum 1071
#define IDC_PROGRESS_fx5 1072
#define IDC_fx5 1073
#define IDC_PROGRESS_fy5 1074
#define IDC_fy5 1075
#define IDC_PROGRESS_fz5 1076
#define IDC_fz5 1077
#define IDC_PROGRESS_v9 1078
#define IDC_v9 1079
#define IDC_PROGRESS_mx5 1080
#define IDC_mx5 1081
#define IDC_PROGRESS_my5 1082
#define IDC_my5 1083
```

```

#define IDC_PROGRESS_mz5          1084
#define IDC_mz5                  1085
#define IDC_PROGRESS_v10        1086
#define IDC_v10                  1087
#define IDC_vect2                1088
#define IDC_PROGRESS_fx3        1102
#define IDC_fx3                  1103
#define IDC_PROGRESS_fy3        1104
#define IDC_fy3                  1105
#define IDC_PROGRESS_fz3        1106
#define IDC_fz3                  1107
#define IDC_PROGRESS_v5         1108
#define IDC_v5                    1109
#define IDC_PROGRESS_mx3        1110
#define IDC_mx3                   1111
#define IDC_PROGRESS_my3        1112
#define IDC_my3                   1113
#define IDC_PROGRESS_mz3        1114
#define IDC_mz3                   1115
#define IDC_PROGRESS_v6         1116
#define IDC_v6                     1117
#define IDC_PROGRESS_fx4        1118
#define IDC_fx4                   1119
#define IDC_PROGRESS_fy4        1120
#define IDC_fy4                   1121
#define IDC_PROGRESS_fz4        1122
#define IDC_fz4                   1123
#define IDC_PROGRESS_v7         1124
#define IDC_v7                     1125
#define IDC_PROGRESS_mx4        1126
#define IDC_mx4                   1127
#define IDC_PROGRESS_my4        1128
#define IDC_my4                   1129
#define IDC_PROGRESS_mz4        1130
#define IDC_mz4                   1131
#define IDC_PROGRESS_v8         1132
#define IDC_v8                     1133
#define IDC_about                1134
#define IDC_PROGRESS_fx6        1135
#define IDC_fx6                   1136
#define IDC_PROGRESS_fy6        1137
#define IDC_fy6                   1138
#define IDC_PROGRESS_fz6        1139
#define IDC_fz6                   1140
#define IDC_PROGRESS_v11        1141
#define IDC_v11                   1142
#define IDC_PROGRESS_mx6        1143
#define IDC_mx6                   1144
#define IDC_PROGRESS_my6        1145
#define IDC_my6                   1146
#define IDC_PROGRESS_mz6        1147
#define IDC_mz6                   1148
#define IDC_PROGRESS_v12        1149
#define IDC_v12                   1150
#define IDC_PROGRESS_fx7        1151
#define IDC_fx7                   1152
#define IDC_PROGRESS_fy7        1153
#define IDC_fy7                   1154
#define IDC_PROGRESS_fz7        1155
#define IDC_fz7                   1156
#define IDC_PROGRESS_v13        1157
#define IDC_v13                   1158
#define IDC_PROGRESS_mx7        1159

```

```
#define IDC_PROGRESS_my7          1160
#define IDC_PROGRESS_mz7          1161
#define IDC_PROGRESS_v14          1162
#define IDC_about2                1163

// Next default values for new objects
//
#ifdef APSTUDIO_INVOKED
#ifndef APSTUDIO_READONLY_SYMBOLS
#define _APS_NEXT_RESOURCE_VALUE  173
#define _APS_NEXT_COMMAND_VALUE  32771
#define _APS_NEXT_CONTROL_VALUE   1072
#define _APS_NEXT_SYMED_VALUE     105
#endif
#endif
```

### 11.2.6. StdAfx.h

```

// stdafx.h : include file for standard system include files,
// or project specific include files that are used frequently, but
// are changed infrequently
//

#ifndef AFX_STDAFX_H__01EB288E_B723_4249_AFAD_220A79F6A34E__INCLUDED_
#define AFX_STDAFX_H__01EB288E_B723_4249_AFAD_220A79F6A34E__INCLUDED_

#if _MSC_VER > 1000
#pragma once
#endif // _MSC_VER > 1000

#define VC_EXTRALEAN // Exclude rarely-used stuff from Windows headers

#include <afxwin.h> // MFC core and standard components
#include <afxext.h> // MFC extensions
#include <afxdisp.h> // MFC Automation classes
// #include <afxdtctl.h> // MFC support for Internet Explorer 4 Common Controls
#ifndef _AFX_NO_AFXCMN_SUPPORT
#include <afxcmn.h> // MFC support for Windows Common Controls
#endif // _AFX_NO_AFXCMN_SUPPORT

// This macro is the same as IMPLEMENT_OLECREATE, except it passes TRUE
// for the bMultiInstance parameter to the COleObjectFactory constructor.
// We want a separate instance of this application to be launched for
// each automation proxy object requested by automation controllers.
#ifndef IMPLEMENT_OLECREATE2
#define IMPLEMENT_OLECREATE2(class_name, external_name, l, w1, w2, b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8) \
    AFX_DATADEF COleObjectFactory class_name::factory(class_name::guid, \
        RUNTIME_CLASS(class_name), TRUE, _T(external_name)); \
    const AFX_DATADEF GUID class_name::guid = \
        { l, w1, w2, { b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8 } };
#endif // IMPLEMENT_OLECREATE2

//{{AFX_INSERT_LOCATION}}
// Microsoft Visual C++ will insert additional declarations immediately before the previous line.

#endif // AFX_STDAFX_H__01EB288E_B723_4249_AFAD_220A79F6A34E__INCLUDED_

```

### 11.3. Archivo de RAPID.

```

MODULE MainModule
!Declaración de variables para creación del socket
VAR socketdev temp_socket;
VAR socketdev client_socket;
VAR string received_string;
VAR bool keep_listening := TRUE;
VAR NUM conectar:=0;
!Variables de fuerza recibidas.
VAR NUM numfx:=0;
VAR NUM numfy:=0;
VAR NUM numfz:=0;
VAR NUM offfx:=0;
VAR NUM offfy:=0;
VAR NUM offfz:=0;
VAR bool bOK;
VAR num lenfx:=0;
VAR num lenfy:=0;
VAR num lenfz:=0;
VAR rotarget posactual;

!Proceso leer datos, se ejecuta en paralelo con el movimiento.
PROC leer()
!Recepción del dato enviado por el PC.
SocketReceive client_socket \Str:=received_string;
!Extracción de las longitudes de los valores de fuerza.
bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,1,1),lenfx);
bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,2,1),lenfy);
bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,3,1),lenfz);
!Extracción de los valores de fuerza.
bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,4,lenfx),numfx);
bOK:=StrToVal (StrPart(received_string,4+lenfx,lenfy),numfy);
bOK:=StrToVal
(StrPart(received_string,4+lenfx+lenfy,lenfz),numfz);
!Valor nulo al string.
received_string := "";
!División de los valores de fuerza para realizar movimientos mas
cortos.
offfx:=numfx/(-100);
offfy:=numfy/(-100);
offfz:=numfz/(-100);

ENDPROC

PROC main()

!Creación del socket y espera de conexión. Solo se realiza la
primera vez.
IF (conectar=0) THEN
SocketCreate temp_socket;
SocketBind temp_socket, "192.168.133.2", 4410;
SocketListen temp_socket;
SocketAccept temp_socket, client_socket;
!Desactivación de la supervisión del movimiento.
MotionSup \Off;
WaitTime 5;
conectar:=1;

```

```
ENDIF
!Leer la posición actual.
posactual := CRobT(\Tool:=tool0 \WObj:=wobj0);
!Movimiento con el offset recibido y mientras ejecutar el
proceso de leer datos.
MoveJSync Offs (posactual,offfx,offfy,offfz), v100, z50, tool0,
"leer";

!Condición para desconectar. En este caso el robot permanece
conectado siempre al PC.
IF (conectar=3) THEN
SocketClose client_socket;
SocketClose temp_socket;
ENDIF

ENDPROC

ENDMODULE
```