

Índice general:

Capítulo 1: Introducción

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. ROBOTS DE ESTRUCTURA PARALELA.	3
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	4
1.2.1. DESARROLLO PREVIO	4
1.2.2. OBJETIVOS	5
1.3. ORGANIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	6

Capítulo 2: Componentes

2.1. INTRODUCCIÓN	11
2.2. ELECCIÓN DE COMPONENTES	11
2.3. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES	12
2.3.1. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	12
2.3.1.A. TARJETA DT9812	12
2.3.1.B. TARJETA PCI-MIO-16E-1	13
2.3.2. CILINDROS NORMALIZADOS DE DOBLE EFECTO.	15
2.3.3. EL CONVERTIDOR DE VALOR MEDIDO.	16
2.3.4. VÁLVULAS DE CONTROL PROPORCIONAL	18
2.3.5. CILINDRO DE DOBLE EFECTO CON VÁSTAGO PASANTE	19
2.3.6. TRANSMISOR DE POSICIÓN PARA EL CILINDRO DE VÁSTAGO PASANTE.	20
2.3.7. VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN.	20
2.3.8. VÁLVULAS MOFH-3-1/8.	21
2.3.9. TRANSFORMADOR DE TENSIÓN.	22

2.3.10. OTROS ELEMENTOS UTILIZADOS.	22
2.4. SOFTWARE	22
2.4.1. MATLAB	25
2.4.1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	25
2.4.1.2 MOTIVOS PARA USAR MATLAB	26
2.4.2. ORCAD CAPTURE	27
2.4.3. PCB WIZARD	28
2.4.4. AUTOCAD	28
2.4.4.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS CAD.	28
2.4.5. FESTO FLUIDSIM	30

Capítulo 3: Montaje del robot

3.1. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE DEL HABITÁCULO DE SEGURIDAD	35
3.1.1. MATERIAL NECESARIO	35
3.2. MONTAJE DE LOS COMPONENTES DENTRO DEL ARMARIO.	40
3.3. DESMONTAJE DE LOS COMPONENTES.	41

Capítulo 4: Conexión eléctrico y neumático

4.1. INSTALACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	45
4.1.1. CONEXIÓN ENTRE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y EL PC	45
4.1.2. BORNERA CB68LP.	46
4.2. CÓMO REALIZAR EL CONEXIONADO DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS.	46
4.3. INSTALACIÓN DE LOS CONVERTIDORES DADE-MVC-010	49
4.3.1 CONEXIÓN DE LOS CONVERTIDORES DADE-MVC-010	49
4.3.2. PUESTA A PUNTO	51

4.3.2.1. PRIMERA PUESTA A PUNTO	51
4.3.2.2. PUESTA A PUNTO TRAS UN ENCENDIDO/APAGADO	52
4.3.2.3. RESUMEN	53
4.3.3. RESTABLECIMIENTO AL ESTADO DE SUMINISTRO	53
4.3.4. SALIDA ANALÓGICA	53
4.3.5. DIAGNOSIS	54
4.4. INSTALACIÓN DE LAS VÁLVULAS MPYE-5-1/8-LF-010-B.	55
4.4.1. CONEXIÓN DE LAS VÁLVULAS PROPORCIONALES.	55
4.4.2. ELIMINACIÓN DE FALLOS.	56
4.5. SENSOR SMAT-8E-S50-IU-M8	56
4.5.1. CONEXIÓN ELÉCTRICA.	56
4.5.2. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	57
4.5.3. SEÑAL DE LAS SALIDAS ANALÓGICAS	57
4.5.4. ELIMINACIÓN DE FALLOS.	58
4.6. VÁLVULAS MOFH-3-1/8	58
4.6.1. ELIMINACIÓN DE FALLOS.	60
4.7. CIRCUITOS DE POTENCIA	60
4.7.1. INTERRUPTOR MEDIANTE ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO.	61
4.7.2. CIRCUITO ADAPTADOR DE TENSIÓN PARA LA ACTIVACIÓN DE LAS VÁLVULAS MOFH.	62
4.8. ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE LA INSTALACIÓN COMPLETA.	64
4.9. ESQUEMA NEUMÁTICO DE LA INSTALACIÓN COMPLETA.	64

Capítulo 5: Desarrollo del programa informático

5.1. INTRODUCCIÓN AL DATA ACQUISITION DE MATLAB.	67
5.1.1. ADQUIRIENDO DATOS ANALÓGICOS.	67
5.1.2. SACANDO DATOS ANALÓGICOS.	67
5.1.3. LEYENDO Y ESCRIBIENDO VALORES DIGITALES.	68

5.1.4.	TRABAJANDO CON DATOS	68
5.2.	ADQUISICIÓN DE DATOS ANALÓGICOS (COMPROBANDO CONEXIÓN DE LOS SENSORES).	69
5.3.	PROGRAMACIÓN DE LOS CONTROLADORES.	70
5.3.1.	INTRODUCCIÓN.	70
5.3.2.	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR PARA LA POSICIÓN DEL CILINDRO DNC (CONTROLADOR TODO-NADA).	71
5.3.3.	PROGRAMACIÓN DE UN CONTROLADOR INDIVIDUAL PARA EL CILINDRO DNCI (CONTROL ANALÓGICO).	73
5.3.4.	CONTROL SIMULTÁNEO DE LOS TRES CILINDROS.	78
5.4.	PROGRAMA COMPLETO.	84
5.4.1.	CREACIÓN Y USO DE LA INTERFAZ GRÁFICA	84
5.4.2.	GENERACIÓN DEL CÓDIGO DE LAS FUNCIONES QUE FORMAN LA INTERFAZ.	87
5.5.	COMPILACIÓN DEL PROGRAMA.	98

Capítulo 6: Sintonía experimental de controladores

6.1.	INTRODUCCIÓN.	103
6.2.	CONTROLADORES PARA EL CILINDRO DNC-32-100-PPV-A-S2.	103
6.2.1.	ACCIÓN DE CONTROL DE DOS POSICIONES O DE ENCENDIDO-APAGADO (ON/OFF).	103
6.2.2.	PRESIÓN ADECUADA DE FUNCIONAMIENTO.	104
6.2.3.	FRECUENCIA DE MUESTREO.	105
6.2.4.	COMPARACIÓN ENTRE CONTROL ON-OFF Y PROPORCIONAL.	106
6.3.	CONTROLADORES PID.	107
6.3.1.	INTRODUCCIÓN.	107
6.3.2.	ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL PID.	107
6.3.3.	REGLAS DE SINTONÍA DE CONTROLADORES PID.	108
6.4.	CONTROLADORES PID PARA LOS CILINDROS DNCI FUNCIONANDO DE MANERA INDEPENDIENTE.	109

6.4.1.	SINTONÍA MEDIANTE ENSAYO-ERROR.	109
6.4.2.	SINTONÍA MEDIANTE ZIEGLER-NICHOLS.	117
6.4.3.	SINTONÍA MEDIANTE EL MÉTODO DE HARRIOT.	123
6.5.	CONTROLADORES PARA LA POSICIÓN DEL ROBOT.	127
6.5.1.	INTRODUCCIÓN	127
6.5.2.	CONTROLADOR PARA EL CILINDRO DNC-32-100-A-S2.	127
6.5.3.	CONTROLADORES PARA LOS CILINDROS DNCI.	128

Capítulo 7: Conclusiones y desarrollos futuros

7.1.	CONCLUSIONES	133
7.2.	DESARROLLOS FUTUROS.	134

Índice de ilustraciones y tablas:

Capítulo 1: Introducción

<i>Ilustración 1. 1. Esquema del manipulador Delta</i>	3
--	---

Capítulo 2: Componentes

<i>Ilustración 2. 1. Robot estructura paralela.</i>	11
<i>Ilustración 2. 2. Terminales de conexión del dispositivo DT9812</i>	13
<i>Ilustración 2. 3. Dispositivo PCI-MIO-16E-1.</i>	14
<i>Ilustración 2. 4. Terminales de conexión del dispositivo PCI-MIO-16E-1.</i>	14
<i>Ilustración 2. 5. Elementos operativos y conexiones del cilindro DNCI-32-300-P-A.</i>	15
<i>Ilustración 2. 6. Cable del sensor (S2).</i>	16
<i>Ilustración 2. 7. Conexiones y elementos operativos del convertidor DADE-MVC-010.</i>	17
<i>Ilustración 2. 8. Cable del convertidor (S1).</i>	18
<i>Ilustración 2. 9. Válvula MPYE-5-1/-LF-010-B.</i>	18
<i>Ilustración 2. 10. Cilindro DNC-32-100-PPV-A-S2.</i>	19
<i>Ilustración 2. 11. Cilindro de doble efecto con vástago pasante.</i>	20
<i>Ilustración 2. 12. Cilindro normalizado de doble efecto.</i>	20
<i>Ilustración 2. 13. SMAT-8E-S50-IU-M8.</i>	20
<i>Ilustración 2. 14. LFR-D-MINI.</i>	20
<i>Ilustración 2. 15. Especificaciones técnicas LFR-D-MINI.</i>	21
<i>Ilustración 2. 16. Válvula neumática MOFH-3-1/8.</i>	21

Tabla 2. 1. Consumo de los componentes.	22
--	----

Capítulo 3: Montaje del robot

Ilustración 3. 1. Vista simulada del robot completo	35
Ilustración 3. 2. Vistas del a superficie inferior con las patas de goma colocadas	36
Ilustración 3. 3. Vista del anclaje mediante escuadras	37
Ilustración 3. 4. Vista de una de las escuadras encargas de la sujeción de la puerta deslizante	38
Ilustración 3. 5. Conexiones del robot a la fuente de alimentación y de aire comprimido	39
Ilustración 3. 6. Fotografías que muestran la ubicación de los componentes dentro del habitáculo de seguridad	41

Capítulo 4: Conexionado eléctrico y neumático

Ilustración 4. 1. tarjeta de adquisición de datos PCI-MIO-16E-1 y bornera CBLP	45
Ilustración 4. 2. Cable de 68 pines	45
Ilustración 4. 3. Terminales de conexión del dispositivo PCI-MIO-16E-1	46
Ilustración 4. 4. conexión de entradas analógicas	48
Ilustración 4. 5. Conexión a la tarjeta de adquisición de datos	49
Ilustración 4. 6. Diagnósis del convertidor DADE-MVC-010	53
Ilustración 4. 7. Utilización del cable KMPYE.	54
Ilustración 4. 8. Conexión del SMAT	55
Ilustración 4. 9. Salidas analógicas del SMAT	56
Ilustración 4. 10. Vista simulada del circuito adaptador de tensión encargado de realizar la referencia de los cilindros DNCI-32-300-P-A.	60
Ilustración 4. 11. Esquema eléctrico del circuito adaptador.	61
Ilustración 4. 12. Vista simulada del circuito adaptador de tensión entre la tarjeta de adquisición de datos y las válvulas MOFH-3-1/8.	61

Ilustración 4. 13. Esquema eléctrico de los circuitos adaptadores de tensión entre la tarjeta de adquisición de datos y las valvulas MOFH-3-1/8. 62

Tabla 4. 1. Valores de tensión y corriente de las salidas digitales. 60

Capítulo 5: Desarrollo del programa informático

Ilustración 5. 1. Señal de 10V con ruido (adquisición mediante entrada simple en lugar de hacerlo mediante entrada diferencial. 70

Ilustración 5. 2. Sistema controlado mediante PID. 77

Ilustración 5. 3. Creación del "layout" mediante GUIDE 84

Ilustración 5. 4. Pantalla de presentación del programa. 85

Ilustración 5. 5. Referenciado de los cilindros 86

Ilustración 5. 6. Pantalla para el control del robot 86

Tabla 5. 1. Funciones pertenecientes al Data Acquisition dedicadas al manejo de datos mediante cualquier dispositivo de adquisición. 69

Capítulo 6: Sintonía experimental de controladores

Ilustración 6. 1. Acción de control on-off 104

Ilustración 6. 2. Muestreo 30 m/s. Presión 3 y 2.5 bares respectivamente. 105

Ilustración 6. 3. Frecuencia de muestreo de 20, 30 y 100 muestras por segundo respectivamente. 106

Ilustración 6. 4. A la izquierda control proporcional. A la derecha control on-off. En ambos casos 3 bares de presión y muestreo a 30 muestras por segundo. 107

Ilustración 6. 5. Control SISO con $K_p = 2$. 110

Ilustración 6. 6. Control SISO. Controlador PD $K_p=2.5$ y $K_d=0.05$ 111

Ilustración 6. 7. Control SISO. Controlador PI $K_p=1.5$ y $K_i=0.25$ 112

Ilustración 6. 8. Control SISO. Controlador PI con $K_p=1.5$ y $K_i=0.25$ con anti-windup 113

Ilustración 6. 9. retardo en la respuesta ante pequeñas variaciones en la señal de control	114
Ilustración 6. 10. Control SISO. Controlador PID con $K_p=1.8$, $K_I=0.05$ y $K_D=0.1$ con anti-windup	115
Ilustración 6. 11. Control SISO. Controlador PID con $K_p=1.8$, $K_i=0.05$ y $K_d=0.1$. Con anti-windup y señal cuadrada de 0.85V	116
Ilustración 6. 12. Respuesta deseada mediante métodos de Ziegler- Nichols	118
Ilustración 6. 13. Método de Ziegler-Nichols en lazo abierto	119
Ilustración 6. 14. La respuesta no presenta forma de S.	120
Ilustración 6. 15. Planta controlada mediante acción proporcional	121
Ilustración 6. 16. Respuesta con oscilaciones mantenidas	122
Ilustración 6. 17. La salida no se inestabiliza. No podemos utilizar el 2º método de Ziegler-Nichols	123
Ilustración 6. 18. Planta controlada mediante acción proporcional	124
Ilustración 6. 19. Relación de decadencia 0.25	124
Ilustración 6. 20. sintonía mediante Harriot. Relación $b/a=0.25$	125
Ilustración 6. 21. Control SISO. Controlador PI. $K_p=3$ y $K_i=0.1$	126
Ilustración 6. 22. Control SISO. Controlador PID con $K_p=3.25$, $K_i=0.07$ y $K_d=0.017$	127
Ilustración 6. 23. Control MIMO. El sistema se vuelve inestable con los controladores calculados para control SISO.	128
Ilustración 6. 24. Control MIMO para uno de los dos cilindros. PID con $K_p=0.9$ $K_i=0.025$ y $K_d=0.01$ ante entrada escalón.	129
Ilustración 6. 25. Control MIMO comparación de la respuesta en los dos cilindros. En ambos casos PID con $K_p=0.9$ $K_i=0.025$ y $K_d=0.01$	129
Ilustración 6. 26. Control MIMO. PD con $K_p=1$ y $K_d=0.05$ ante entrada escalón	130
Ilustración 6. 27. Control MIMO. PD con $K_p=1$ y $K_d=0.05$ ante entrada escalón.	130
Tabla 6. 1. Acciones básicas de control.	108

Tabla 6. 2. Valores de los distintos controladores mediante el primer método de Ziegler-Nichols. 119

Tabla 6. 3. Valores obtenidos mediante el método de oscilaciones sostenidas de Ziegler-Nichols. 121

Tabla 6. 4. Sintonización mediante el método de Harriot (oscilaciones sostenidas). 125