



UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIONES, ESPECIALIDAD EN
SISTEMAS ELECTRÓNICOS**

PROYECTO FIN DE CARRERA

CONTROL MANUAL PARA CNC

Autores:

Montes Valles, Juan José

Martín Llorente, Miguel

Tutor:

Díez Muñoz, Pedro Luis

Tecnología Electrónica

NOVIEMBRE — 2013

Agradecimientos

Antes de comenzar la memoria del proyecto, quisiéramos agradecer a todas las personas que, de una u otra manera, han estado a nuestro lado y nos han ayudado en las distintas etapas de este camino que vamos a concluir.

En este final es inevitable pensar en todos los compañeros que hemos tenido a lo largo de estos años y, sobre todo, en los buenos momentos que hemos pasado tanto en la universidad como fuera de ella. Grandísimos recuerdos que no podrán borrarse, junto con los lazos de amistad que hemos forjado. Sois parte importante de este periodo.

Agradecer también a nuestro tutor de proyecto, Pedro L. Díez por el esfuerzo realizado y por sus consejos, que han logrado que lo que nos propusimos, con trabajo se haya hecho realidad.

Sin olvidar tampoco al resto de profesores que nos han enseñado y orientado lo mejor posible para afrontar con garantías el futuro que se nos plantea tanto como ingenieros como personas.

Y en especial, agradecer a nuestras familias, que son las que se han sacrificado para darnos esta gran oportunidad y los que han sufrido día a día para que pudiéramos llegar a este importante día. Sin vosotros no hubiera sido posible.

Muchas gracias a todos, de corazón.

Un abrazo.

ÍNDICE GENERAL

Índice General	v
Índice de Figuras	xi
Índice de Tablas	xiii
Índice de Diagramas.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo y etapas del proyecto	1
1.2 Visión global del proyecto	1
1.3 Introducción al CNC.....	1
1.3.1 Principio de funcionamiento	2
1.4 Tarjeta controladora HY-TB4DV-M.....	3
1.4.1 Introducción	3
1.4.2 Características	3
1.4.3 Modos de funcionamiento	4
1.4.4 Interfaces.....	4
1.4.4.1 Puerto DB9	4
1.4.4.2 Puerto DB15	5
1.4.4.3 Puerto DB25	6
1.4.4.4 Puerto SIP5	7
1.4.4.5 Puerto SIP15	7
1.4.5 Estudio de la tarjeta.....	8
1.4.5.1 Esquemas.....	8
2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO	9
2.1 Motores paso a paso	9
2.1.1 Introducción	9
2.1.2 Tipos de motores y su principio de funcionamiento	10
2.1.2.1 Motor de reluctancia variable	10
2.1.2.2 Motor de imanes permanentes.....	11
2.1.2.3 Motores híbridos	12
2.1.3 Interconexión y operación de los devanados.....	14
2.1.3.1 Motores PaP unipolares	14
2.1.3.2 Motores PaP bipolares	14
2.1.3.3 Motores PaP bifilares	15

2.1.3.4 Motores PaP multifase.....	15
2.2 Arduino	16
2.2.1 Introducción a Arduino	16
2.2.2 Placas de Entrada/Salida.....	16
2.2.3 Shields	17
2.2.4 Arduino Mega	18
2.2.4.1 Esquemas	18
2.2.4.2 Características.....	18
2.2.4.3 Alimentación	19
2.2.4.4 Memoria.....	19
2.2.4.5 Entradas y salidas.....	19
2.3 LCD	21
2.3.1 Funcionamiento de la LCD	22
2.3.2 Especificaciones	24
2.3.3 LCD POWERTIP PC2004-A	24
2.3.3.1 Características.....	25
2.4 Encoder	25
2.4.1 Principio de operación	26
2.4.2 Tipos de encoders ópticos	26
2.4.2.1 Incrementales	26
2.4.2.2 Absolutos	27
2.4.3 Encoder HEDS-5700	28
2.4.3.1 Características.....	29
2.5 Optoacoplador	29
2.5.1 Tipos de optoacopladores.....	30
2.5.2 Optoacoplador PC817	31
2.5.2.1 Características.....	31
2.6 Diodo	31
2.6.1 Características del diodo FR307.....	32
2.7 Schmitt trigger	32
2.7.1 Inversor SN74HC14N.....	34
2.7.2 Transceptor SN74LS245	35
2.8 Reguladores de tensión	36
2.8.1 Funcionamiento	36

2.8.2 Regulador LM7805	36
2.8.3 Regulador LM7812	37
2.9 Resistencias	37
2.9.1 Código de colores	37
2.10 Condensadores.....	38
2.10.1 Tipos de condensadores.....	39
2.11 Transistores	40
2.11.1 Tipos de transistores	40
2.11.1.1 Fototransistor	40
2.11.1.2 Transistor uniunión	40
2.11.1.3 Transistor IGBT	41
2.11.1.4 Transistores de Efecto de Campo.....	41
2.12 Toshiba TB6560AHQ.....	42
2.12.1 Características	42
3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO.....	43
3.1 Arduino.....	43
3.1.1 Entorno del programa	43
3.1.2 Lenguaje de programación.....	44
3.2 Eagle	44
3.2.1 Entorno del programa	45
3.3 Microsoft Visio 2013.....	46
3.3.1 Entorno del programa	46
3.3.2 Características	47
4. DISEÑO DEL HARDWARE.....	49
4.1 Introducción	49
4.2 Diseño del prototipo.....	49
4.2.1 Introducción	50
4.2.2 Realización del esquema de la shield	50
4.2.2.1 Circuito de control.....	50
4.2.2.2 Circuito del contraste	50
4.2.3 Realización del PCB de la shield.....	51
4.2.4 Realización de las botoneras	51
4.2.5 Lista de componentes	52
4.3 Diseño del Control Manual.....	54

4.3.1	Introducción.....	54
4.3.2	Realización del esquema del Control Manual.....	54
4.3.3	Realización del PCB del Control Manual	54
4.3.4	Lista de componentes	55
4.4	Métodos de construcción de placas de circuito impreso.	56
4.4.1	Método de insolación	57
4.4.2	Método de fresado y taladrado	57
4.4.2.1	Cam Processor.....	58
5.	DISEÑO DEL SOFTWARE.....	61
5.1	Introducción.....	61
5.2	Diagramas de flujo	61
5.2.1	Funciones necesarias	62
5.2.2	Funciones principales.....	64
5.2.3	Funciones secundarias	77
5.2.4	Interrupciones.....	97
6.	CÁLCULOS	101
6.1	Transmisión de los ejes	101
6.2	Fórmulas.....	102
6.2.1	Posición del eje	102
6.2.2	Tiempo de pulso.....	102
6.2.3	Velocidad.....	103
6.3	Tiempo de refresco de LCD (interrupción interna)	103
7.	PLANOS.....	107
7.1	Índice de planos	107
8.	PLIEGO DE CONDICIONES.....	127
8.1	Objetivo del pliego.....	127
8.1.1	Descripción general del montaje	127
8.2	Normativa de obligado cumplimiento	128
8.3	Condiciones generales de los materiales	129
8.3.1	Especificaciones eléctricas	130
8.3.1.1	Reglamento electrotécnico de baja tensión	130
8.3.1.2	Placas de circuito impreso	130
8.3.1.3	Conductores eléctricos	130
8.3.1.4	Componentes activos y pasivos	131

ÍNDICE GENERAL

8.3.1.5 Resistencias	131
8.3.1.6 Circuitos integrados y semiconductores	131
8.3.2 Especificaciones mecánicas	131
8.3.3 Componentes electrónicos.....	132
8.4 Condiciones del proceso de fabricación.....	132
8.4.1 Preparación de los componentes.....	132
8.4.2 Material del circuito impreso	132
8.4.3 Soldadura y montaje de los componentes.....	133
8.4.4 Condiciones del proceso de prueba	133
8.5 Condiciones facultativas.....	134
8.6 Solicitud de homologación de tipo CE.....	135
8.6.1 Expediente técnico de construcción.....	136
8.6.2 Declaración de conformidad del producto.....	137
8.6.3 Marcado CE sobre el producto.....	138
8.7 Marca de reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos	138
8.7.1 Marca de aparatos eléctricos y electrónicos.....	139
8.8 Cláusulas de índole legal	139
8.8.1 Modificaciones de obra	140
8.8.2 Derecho de rescisión	140
8.8.3 Rescisión por incumplimiento del contrato	140
8.8.4 Liquidación en caso de rescisión	140
8.8.5 Cuestiones no previstas o reclamaciones	141
8.9 Conclusiones.....	141
9. PRESUPUESTO.....	143
9.1 Introducción	143
9.2 Coste del material.....	143
9.2.1 Coste total del Control Manual	145
10. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS.....	147
10.1 Conclusiones.....	147
10.2 Futuras mejoras.....	147
11. ANEXOS	149
11.1 Enlaces.....	149
11.2 Manual de usuario.....	149
11.2.1 Introducción	149

11.2.2 Descripción del sistema	149
11.2.3 Características.....	150
11.2.4 Funciones	150
11.2.5 Descripción del menú	151
11.3 Contenido del CD	152
12. BIBLIOGRAFÍA	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Puerto DB9.....	4
Figura 2: Puerto DB15	5
Figura 3: Puerto DB25	6
Figura 4: Puerto SIP5	7
Figura 5: Puerto SIP15	7
Figura 6: Esquema de un Motor PaP de reluctancia variable	10
Figura 7: Posición del rotor según los estados de conexión de las bobinas.....	10
Figura 8: Secuencia de control	11
Figura 9: Traslape de los dientes en el rotor	11
Figura 10: Estator y rotor dentado	11
Figura 11: Motor PaP de imanes permanentes.....	12
Figura 12: Motor PaP Híbrido	13
Figura 13: Constitución del motor PaP Híbrido.....	13
Figura 14: Esquema de un motor PaP Unipolar	14
Figura 15: Esquema de un motor PaP Bipolar.....	14
Figura 16: Esquema de motor PaP Bifilar	15
Figura 17: Esquema de un motor PaP multifase	15
Figura 18: Placa Arduino Mega.....	18
Figura 19: Despiece de una Pantalla LCD	21
Figura 20: Encoder óptico con ambos discos superpuestos	25
Figura 21: Encoder compuesto por discos y fotoacoplador	26
Figura 22: Encoder HEDS-5700.....	28
Figura 23: Circuito típico con optoacoplador	29
Figura 24: Fototransistor	30
Figura 25: Fototriac	30
Figura 26: Optotiristor.....	30
Figura 27: Optoacoplador PC817	31
Figura 28: Símbolo del circuito	31
Figura 29: Curva característica tensión-corriente	31
Figura 30: Ejemplo de la salida Schmitt.....	33
Figura 31: Disparador Schmitt.....	33
Figura 32: Inversor SN74HC14N	34
Figura 33: Inversor SN74HC14N Configuración de los pines.....	34
Figura 34: Inversor SN74HC14N Diagrama lógico	34
Figura 35: Transceptor SN74LS245.....	35
Figura 36: Transceptor SN74LS245 Diagrama lógico.....	35
Figura 37: Transceptor SN74LS245 Configuración de los pines	35
Figura 38: Transceptor SN74LS245 Diagrama de estados.....	35
Figura 39: Regulador de Tensión LM7805.....	36
Figura 40: Regulador de Tensión LM7812.....	37
Figura 41: Código de colores de las resistencias	38
Figura 42: Tipos de condensadores.....	39
Figura 43: Símbolo fototransistor.....	40

Figura 44: Símbolo transistor uniunión.....	40
Figura 45: Símbolo transistor IGBT	41
Figura 46: Toshiba TB6560AHQ	42
Figura 47: Captura del Entorno de programación de Arduino	43
Figura 48: Barra de herramientas de Arduino	44
Figura 49: Captura del Entorno de diseño de circuitos.....	45
Figura 50: Captura del Entorno de diseño del PCB	46
Figura 51: Captura del entorno de Microsoft Visio 2013.....	46
Figura 52: Prototipo	49
Figura 53: Máquina de Control Numérico Bungard CCD	57
Figura 54: Captura del programa CAM Processor.....	58
Figura 55: Captura del programa RouterPro haciendo taladros.....	59
Figura 56: Captura del programa RouterPro haciendo el fresado de las pistas	59
Figura 57: Máquina Bungard CCD en proceso de fabricación	59
Figura 58: Transmisión de los ejes	101
Figura 59: Constantes de desplazamiento de los ejes	101
Figura 60: Cálculo de la posición del eje	102
Figura 61: Cálculo del tiempo de pulso.....	102
Figura 62: Cálculo de la velocidad.....	103
Figura 63: Registro OCR1A	105
Figura 64: Registro TCCR1A.....	105
Figura 65: Registro TCCR1B.....	106
Figura 66: Registro TIMSK1	106
Figura 67: Bit OCIE1A	106
Figura 68: Captura de la configuración del timer	106
Figura 69: Logotipo de marcado CE	138
Figura 70: Logotipo de marcado de aparatos eléctricos y electrónicos	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modos de funcionamiento de la tarjeta.....	4
Tabla 2: Puerto DB9.....	4
Tabla 3: Puerto DB15.....	5
Tabla 4: Puerto DB25.....	6
Tabla 5: Puerto SIP5	7
Tabla 6: Puerto SIP15	7
Tabla 7: Características del Arduino Mega.....	18
Tabla 8: Resistencias.....	52
Tabla 9: Resistencias variables	52
Tabla 10: Condensadores electrolíticos	52
Tabla 11: Diodos	52
Tabla 12: Circuitos Integrados.....	52
Tabla 13: Pulsadores.....	52
Tabla 14: Conectores.....	53
Tabla 15: Otros	53
Tabla 16: Resistencias.....	55
Tabla 17: Resistencias variables	55
Tabla 18: Condensadores electrolíticos	55
Tabla 19: Diodos	55
Tabla 20: Circuitos Integrados.....	55
Tabla 21: Microcontroladores	55
Tabla 22: Osciladores	56
Tabla 23: Pulsadores.....	56
Tabla 24: Conectores.....	56
Tabla 25: Otros	56
Tabla 26: Resistencias.....	143
Tabla 27: Resistencias variables	143
Tabla 28: Condensadores	143
Tabla 29: Diodos	144
Tabla 30: Circuitos Integrados.....	144
Tabla 31: Pulsadores.....	144
Tabla 32: Encoder	144
Tabla 33: Pantalla LCD	144
Tabla 34: Conectores.....	144
Tabla 35: Placa PCB.....	144
Tabla 36: Osciladores	145
Tabla 37: Coste total del Control Manual.....	145

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Función setup()	62
Diagrama 2: Función loop()	63
Diagrama 3: Función combinacionXYZ().....	65
Diagrama 4: Función pulsadorCls().....	67
Diagrama 5: Función pulsadoresXYZSPINDLE()	69
Diagrama 6: Función pulsadorHome()	71
Diagrama 7: Función pulsadorPcMan().....	72
Diagrama 8: Función pulsadorRate().....	74
Diagrama 9: Función pulsadorStop().....	76
Diagrama 10: Función configuraManual().....	77
Diagrama 11: Función configuraPC().....	78
Diagrama 12: Función contarNumeroPulsaciones().....	79
Diagrama 13: Función deshabilitar()	80
Diagrama 14: Función posicionEje()	81
Diagrama 15: Función escribeLCD()	83
Diagrama 16: Función principalLCD()	84
Diagrama 17: Función mandarPulso()	85
Diagrama 18: Función reset()	86
Diagrama 19: Función seleccionaEjesOrigen()	87
Diagrama 20: Función retornarEje().....	89
Diagrama 21: Función seleccionarDatosEje().....	90
Diagrama 22: Función sueltaCombinacion()	91
Diagrama 23: Función sueltaPulsador()	92
Diagrama 24: Función tiempoPulsacion()	93
Diagrama 25: Función tiempoPulsacionTriple()	94
Diagrama 26: Función velocidadEjes()	95
Diagrama 27: Función calculaTiempoPulso()	96
Diagrama 28: Función encoderPinA().....	97
Diagrama 29: Función encoderPinB().....	98
Diagrama 30: Función ISR()	99

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo y etapas del proyecto

El objetivo del proyecto es diseñar un control manual para controlar un CNC (Control Numérico por Computadora) de forma no automática.

A lo largo del proyecto en primer lugar se estudiará la tarjeta HY-TB4DV-M obteniendo sus esquemas mediante ingeniería inversa para diseñar de la manera más apropiada el Control Manual aquí descrito.

En segundo lugar se realizará el diseño y fabricación del prototipo para la posterior comprobación de su correcto funcionamiento.

En tercer lugar se procederá a programar el prototipo mediante la plataforma Arduino dotando al proyecto de las funcionalidades y características deseadas.

Por último se hará el diseño final del Control Manual para CNC a partir del prototipo optimizando las características que hayan ofrecido margen de mejora.

La finalidad última de este proyecto es la fabricación y comercialización del diseño para el usuario final que desee un control manual fácil de usar e intuitivo.

1.2 Visión global del proyecto

El proyecto puede verse de una forma global en el plano general que se encuentra en el apartado 7 (Planos). En él se observa como eje central la tarjeta controladora HY-TB4DV-M que se gobernará con el Control Manual diseñado en este proyecto y que será la encargada de controlar el CNC.

1.3 Introducción al CNC

El control numérico (CN) es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas.

Las primeras máquinas de control numérico se construyeron en los años 1940 y 1950, basadas en las máquinas existentes con motores modificados cuyos mandos se accionaban automáticamente siguiendo las instrucciones dadas en un sistema de tarjeta perforada. Estos servomecanismos iniciales se desarrollaron rápidamente con equipos analógicos y digitales. El abaratamiento y miniaturización de los microprocesadores ha generalizado la electrónica digital en las máquinas herramienta, lo que dio lugar a la denominación control numérico por computadora, control numérico por computador o control numérico computarizado (CNC), para diferenciarlas de las máquinas que no tenían computadora.

En la actualidad se usa el término control numérico para referirse a este tipo de sistemas, con o sin computadora.

Este sistema ha revolucionado la industria debido al abaratamiento de microprocesadores y a la simplificación de la programación de las máquinas de CNC.¹

1.3.1 Principio de funcionamiento

Para mecanizar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador.

En el caso de un torno, hace falta controlar los movimientos de la herramienta en dos ejes de coordenadas: el eje de las X para los desplazamientos longitudinales del carro y el eje de las Z para los desplazamientos transversales de la torre.

En el caso de las fresadoras se controlan también los desplazamientos verticales, que corresponden al eje Y. Para ello se incorporan servomotores en los mecanismos de desplazamiento del carro y la torreta, en el caso de los tornos, y en la mesa en el caso de la fresadora, dependiendo de la capacidad de la máquina, esto puede no ser limitado únicamente a tres ejes.

En nuestro caso utilizaremos una controladora de CNC de cuatro ejes, que se detallará más adelante.

¹ Introducción al CNC - Wikipedia

1.4 Tarjeta controladora HY-TB4DV-M

1.4.1 Introducción

La tarjeta utilizada en este proyecto para gobernar el CNC es la tarjeta controladora HY-TB4DV-M. Esta tarjeta permite controlar cuatro ejes y spindle. Está basada en el chip TB6560AHQ de Toshiba.

1.4.2 Características

Las características de la tarjeta HY-TB4DV-M son las siguientes:

- Corriente máxima de 3.5 Amperios.
- Ajuste de los pasos del motor de 1 paso (estándar) a 1/16 pasos (mayor precisión y funcionamiento más suave).
- Configuración de corriente ajustable para cada eje: 25%, 50%, 75% y 100%.
- Seguridad ante sobrecarga, sobrecorriente y exceso de temperatura. Ofrece una protección completa para el ordenador y su equipo periférico.
- Aislamiento óptico para proteger el ordenador y el equipo del usuario.
- Relé para la interfaz del motor spindle con unas salidas máximas de 36V y 7.5A.
- Cuatro canales de entrada para controlar los límites de los ejes X, Y, Z, y parada de emergencia.
- Diseño profesional. Tratamiento de señales de dos fases con anti-jamming (sin interferencias).
- Constante bipolar del interruptor de accionamiento de corriente con la región no resonante. Control de los motores sin efecto del arrastramiento.
- Cuatro entradas de control, que permite el ajuste de los límites y la parada de emergencia.
- Arquitectura universal. Soporta el software MACH3, KCAM4, EMC2, etc.

1.4.3 Modos de funcionamiento

La tarjeta tiene diferentes modos de funcionamiento que se detallan en la siguiente tabla:

Configuración de la corriente	1	2	Ajustes del modo	3	4	Ajustes de los pasos	5	6
100%	ON	ON	RÁPIDO	ON	ON	1	ON	ON
75%	ON	OFF	25%	ON	OFF	1/2	ON	OFF
50%	OFF	ON	50%	OFF	ON	1/8	OFF	OFF
25%	OFF	OFF	LENTO	OFF	OFF	1/16	OFF	ON

Tabla 1: Modos de funcionamiento de la tarjeta

1.4.4 Interfaces

La tarjeta se puede controlar desde el ordenador con los programas adecuados mediante el puerto paralelo DB25 o de forma manual mediante los puertos DB15 o SIP15, dispone también de los puertos DB9 y SIP5 en los que se podrán conectar los límites de los ejes y Stop de la máquina CNC.

1.4.4.1 Puerto DB9

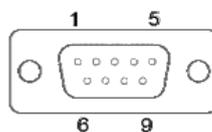
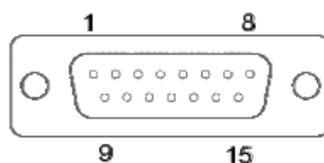


Figura 1: Puerto DB9

En la figura 1 se muestra el conector macho DB9 encargado de la comunicación con el ordenador para informar del estado de los límites y Stop. En la tabla 2 se describen las funciones de este puerto.

NÚMERO DE PIN	DIRECCIÓN	FUNCIÓN
1	Entrada/Salida	X LIMIT
2	Entrada/Salida	Y LIMIT
3	Entrada/Salida	Z LIMIT
4	Entrada/Salida	STOP
5	No Conectado	-----
6	-----	GND
7	-----	GND
8	-----	GND
9	-----	GND

Tabla 2: Puerto DB9

1.4.4.2 Puerto DB15**Figura 2: Puerto DB15**

En la figura 2 se muestra el conector macho DB15 en el cual se conectará el Control Manual diseñado en este proyecto. En la tabla 3 se describen las funciones de este puerto.

NÚMERO DE PIN	DIRECCIÓN	FUNCIÓN
1	Entrada/Salida	Z/C ENABLE
2	Entrada/Salida	C STEP
3	Entrada/Salida	Z STEP
4	Entrada/Salida	Y STEP
5	Entrada/Salida	X ENABLE
6	Entrada/Salida	Y ENABLE
7	Entrada/Salida	Y DIR
8	Entrada/Salida	Z DIR
9	Salida	+5V
10	-----	GND
11	Salida	STOP
12	Entrada/Salida	X STEP
13	Entrada/Salida	X DIR
14	Entrada/Salida	SPINDLE
15	Entrada/Salida	C DIR

Tabla 3: Puerto DB15

1.4.4.3 Puerto DB25

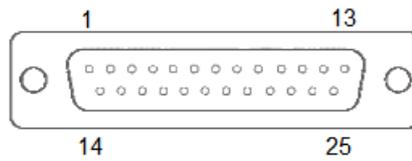


Figura 3: Puerto DB25

En la figura 3 se muestra el conector macho DB25 encargado de la comunicación con el ordenador. Las funciones de este puerto se describen en la tabla 4.

NÚMERO DE PIN	DIRECCIÓN	FUNCIÓN
1	Entrada	X DIR
2	Entrada	SPINDLE
3	Entrada	Z STEP
4	Entrada	X ENABLE
5	Entrada	Z/C ENABLE
6	Entrada	Z DIR
7	Entrada	Y DIR
8	Entrada	C DIR
9	Entrada	C STEP
10	Salida	X LIMIT
11	Salida	Y LIMIT
12	Salida	Z LIMIT
13	Salida	STOP
14	Entrada	Y STEP
15	No Conectado	-----
16	Entrada	X STEP
17	Entrada	Y ENABLE
18-25	-----	GND

Tabla 4: Puerto DB25

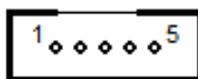
1.4.4.4 Puerto SIP5

Figura 4: Puerto SIP5

En la figura 4 se muestra el conector macho SIP5 en el que se podrán conectar los límites y Stop del CNC. En la tabla 5 se describen las funciones de este puerto.

NÚMERO DE PIN	DIRECCIÓN	FUNCIÓN
1	Entrada/Salida	X LIMIT
2	Entrada/Salida	Y LIMIT
3	Entrada/Salida	Z LIMIT
4	Entrada/Salida	STOP
5	-----	GND

Tabla 5: Puerto SIP5

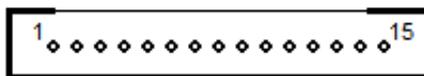
1.4.4.5 Puerto SIP15

Figura 5: Puerto SIP15

En la figura 5 se muestra el conector macho SIP15 en el cual se podrá conectar el Control Manual diseñado en este proyecto o elementos externos como pantallas. Las funciones de este puerto se detallan en la tabla 6.

NÚMERO DE PIN	DIRECCIÓN	FUNCIÓN
1	Entrada/Salida	+5V
2	Entrada/Salida	C DIR
3	Entrada/Salida	Z DIR
4	Entrada/Salida	Z/C ENABLE
5	Entrada/Salida	Y DIR
6	Entrada/Salida	SPINDLE
7	Entrada/Salida	Y ENABLE
8	Entrada/Salida	X DIR
9	Entrada/Salida	X ENABLE
10	Entrada/Salida	X STEP
11	Entrada/Salida	Y STEP
12	Entrada/Salida	Z STEP
13	Entrada/Salida	C STEP
14	-----	GND
15	Salida	STOP(IN)

Tabla 6: Puerto SIP15

1.4.5 Estudio de la tarjeta

Para la correcta utilización de la tarjeta HY-TB4DV-M y el posterior diseño del Control Manual lo primero que se ha tenido que hacer es ingeniería inversa para obtener los esquemas de la misma y comprender su funcionamiento.

1.4.5.1 Esquemas

Los esquemas de la tarjeta HY-TB4DV-M se encuentran en el punto 7 (Planos) de la memoria

2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

2.1 Motores paso a paso

2.1.1 Introducción

Los motores de pasos o motores paso a paso (PaP) son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Existen variadas formas constructivas de los motores PaP, pero se identifican tres tipos de categorías básicas:

- Motor paso a paso de reluctancia variable.
- Motor paso a paso de imanes permanentes.
- Motor paso a paso híbrido.

Otro aspecto en la caracterización de los motores corresponde a la forma en que se interconectan las bobinas y las estrategias de control para generar el giro del motor. Dentro de las técnicas utilizadas se encuentran los motores unipolares, bipolares, multifases y bifilares.

En las siguientes secciones, se presentarán con mayor detalle lo descrito sobre los motores paso a paso (PaP) profundizando en los puntos relevantes.²

² Motor paso a paso – Universidad Técnica Federico Santa María

2.1.2 Tipos de motores y su principio de funcionamiento

2.1.2.1 Motor de reluctancia variable

Si el motor PaP posee 3 bobinas conectadas como lo indica la figura 6, lo más probable es que sea uno de reluctancia variable.

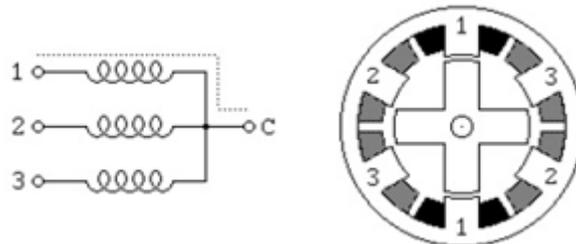


Figura 6: Esquema de un Motor PaP de reluctancia variable

El uso del cable común generalmente va al positivo de la fuente. En la figura 7 se muestra un motor de sección en cruz que es una de las variantes del motor de reluctancia de 30° por paso. El rotor posee 4 dientes mientras que el estator posee 6 polos con cada devanado enrollado en 2 polos opuestos.

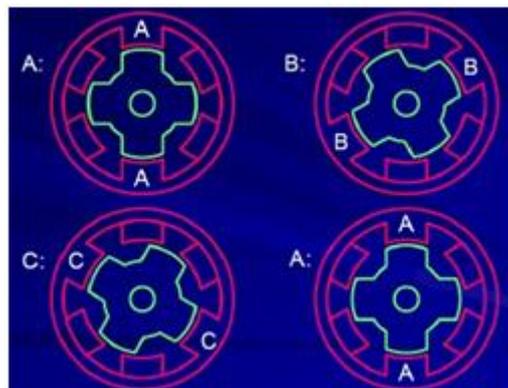


Figura 7: Posición del rotor según los estados de conexión de las bobinas

El modo de funcionamiento se basa en que el flujo generado por las bobinas se cierra por el rotor, este camino presenta una menor reluctancia en comparación al otro camino posible, que es el aire (ver figura 7, estado A). Al generarse el cambio de estado, se energiza el devanado (estado B) y el rotor tiende a girar debido a la variación en la reluctancia, producto de la geometría del rotor (llamado torque de reluctancia).

Para rotar constantemente el motor, se aplica una secuencia lógica al grupo de bobinas, que significa encender "1" y apagar "0" las bobinas en un determinado tiempo. En la figura 8 se muestra una secuencia de control de 24 pasos o dos revoluciones.

Devanado 1	1001001001001001001001
Devanado 2	0100100100100100100100
Devanado 3	0010010010010010010010
	tiempo --->

Figura 8: Secuencia de control

También existen motores de reluctancia variable de 4 a 5 bobinas y su principio de funcionamiento es similar al mencionado para el de 3 devanados. Lo que sí es importante destacar es el orden correcto para energizar las bobinas.

Agregando un número mayor de dientes en el rotor y polos en el estator se consiguen ángulos de paso mucho menores. En la práctica, para conseguir una mayor resolución, los dientes del rotor se traslapan como se muestra en la figura 9:

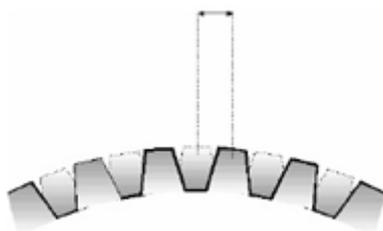


Figura 9: Traslape de los dientes en el rotor

Las caras del estator también se construyen en forma dentada lo que permite resolución de hasta un par de grados.

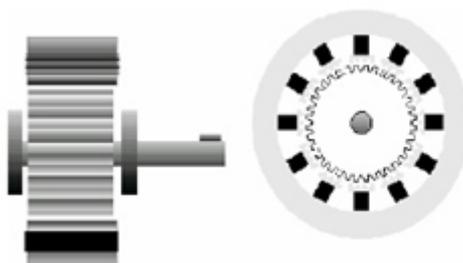


Figura 10: Estator y rotor dentado

2.1.2.2 Motor de imanes permanentes

En este tipo de motores, el rotor está provisto de imanes. Se encuentran dispuestos de tal manera que los polos N-S se encuentran opuestos entre sí en forma radial. En la figura 11 se puede visualizar un esquema del rotor y estator.

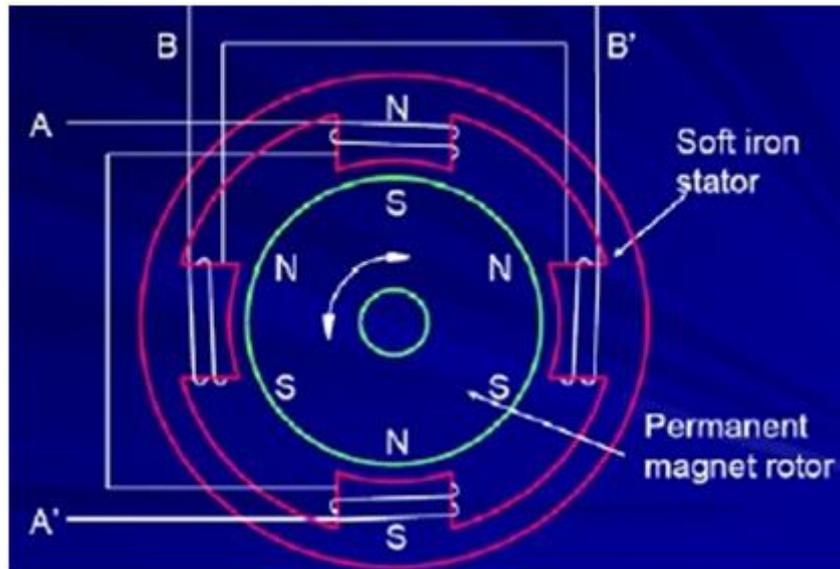


Figura 11: Motor PaP de imanes permanentes

El motor en sección que se ve en la figura 13 corresponde a un motor de imanes permanentes o híbrido de 30° por paso. El devanado 1 del motor se distribuye entre las partes superior e inferior, mientras que el devanado 2 se distribuye entre el polo derecho e izquierdo del estator. El rotor es de imanes permanentes con 6 polos, 3 sur y 3 norte distribuidos alrededor del rotor.

Para resoluciones angulares mayores, el rotor debe tener más polos. El motor de la figura 11 es uno de los diseños más comunes de motores de imanes permanentes con un paso de 30° , aunque los motores de 15° o 7.5° por paso son comúnmente utilizados. Se construyen motores de imanes permanentes con buenas resoluciones, como las de 1.8° por paso y motores híbridos de 3.6° , 1.8° y 0.72° por paso (se verá más adelante los motores híbridos).

Las ventajas que presenta este motor es que aumenta el torque en comparación al de reluctancia variable. Otro punto a favor es la permanencia en el último estado por el torque de fricción, lo que minimiza el error, puesto a que el control por lo general se construye a lazo abierto.

2.1.2.3 Motores híbridos

Un motor PaP híbrido es una combinación de los motores de reluctancia variable e imanes permanentes. En la figura 12 se observa que además de tener una geometría no regular en el rotor, los dientes poseen una determinada magnetización.

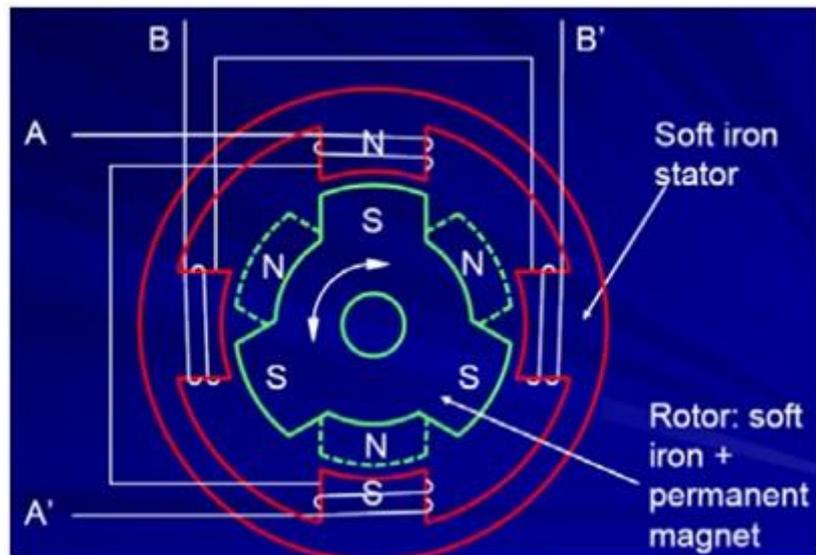


Figura 12: Motor PaP Híbrido



Figura 13: Constitución del motor PaP Híbrido

2.1.3 Interconexión y operación de los devanados

2.1.3.1 Motores PaP unipolares

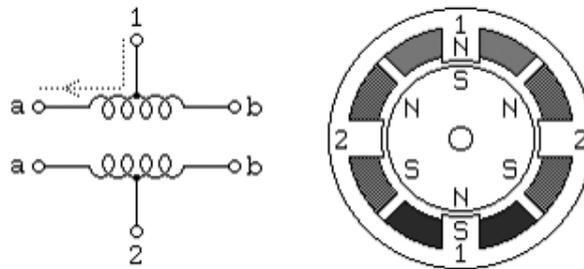


Figura 14: Esquema de un motor PaP Unipolar

Los motores con conexión unipolar, generalmente se conectan como se muestra en la figura 14. Existen dos terminales centrales (1-2) de los devanados que se conectan al positivo de la fuente y los otros dos terminales de cada devanado son conectados alternadamente al negativo para revertir la dirección del campo.

2.1.3.2 Motores PaP bipolares

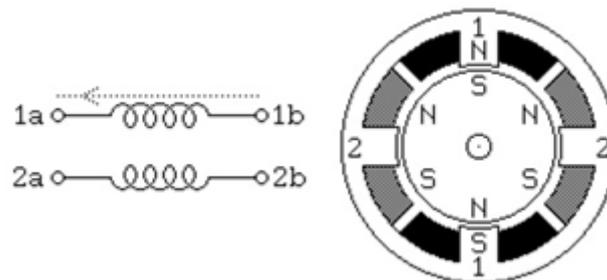


Figura 15: Esquema de un motor PaP Bipolar

Los motores bipolares se construyen en forma similar que los unipolares pero los dos devanados se conectan en forma más sencilla, puesto que no posee terminales centrales. El motor en sí es más sencillo, pero el circuito de control se torna más complejo puesto que se necesita revertir la polaridad de cada bobina.

2.1.3.3 Motores PaP bifilares

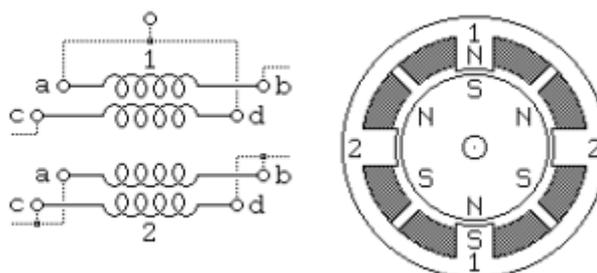


Figura 16: Esquema de motor PaP Bifilar

Los motores PaP bifilares son desarrollados de la misma forma que los motores bipolares, pero en lugar de enrollar cada bobina con un solo conductor, se utilizan dos conductores en paralelo. Como resultado el motor posee 8 conductores en lugar de 4 del bipolar. En la práctica los motores con devanado bifilar son alimentados como motores unipolares.

2.1.3.4 Motores PaP multifase

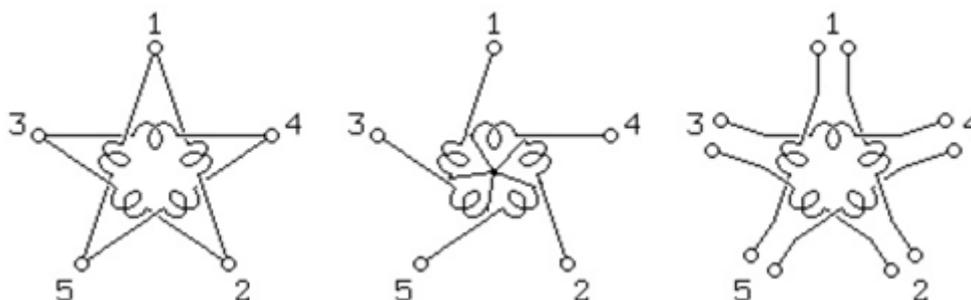


Figura 17: Esquema de un motor PaP multifase

Una clase menos común de motores PaP de imanes permanentes o híbridos son los que poseen sus bobinas interconectadas en una serie cíclica, que entre cada par de bobinas conectadas hay un terminal, mientras que los otros extremos se encuentran en una conexión interna inaccesible.

En el contexto, los motores comúnmente utilizados son los trifásicos, las interconexiones corresponderían a las configuraciones estrella (Y) y delta (D). También son utilizados los motores de 5 fases (figura 17). Algunos motores tienen todos sus terminales disponibles para que el usuario escoja la conexión que desee.

2.2 Arduino

2.2.1 Introducción a Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino. Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita (ver 11.1 Enlaces).

Hay multitud de versiones diferentes de placas Arduino. La actual placa básica, el Duemilanove, usa Atmel ATmega328. La anterior Diecimila, y las primeras unidades de Duemilanove usaban el Atmel ATmega168, mientras que las placas más antiguas usan el ATmega8. El Arduino Mega está basado en el microcontrolador ATmega1280, aunque nosotros utilizaremos el ATmega2560, que es una versión más moderna.³

2.2.2 Placas de Entrada/Salida

- **Duemilanove.** Esta es la última revisión de la placa Arduino USB básica. Se conecta al ordenador con un cable USB estándar y contiene todo lo necesario para programar la placa. Se puede ampliar con gran variedad de shields: placas de extensión con funcionalidades específicas.
- **Diecimila.** Esta es la revisión anterior de la placa USB básica.
- **Nano.** Una placa compacta diseñada para usar directamente en placas de desarrollo, el Nano se conecta al ordenador con un cable Mini-B USB.
- **Mega.** Más grande y potente placa Arduino, compatible con los shields de Duemilanove y Diecimila.

³ Arduino – <http://arduino.cc>

- **Bluetooth.** El Arduino BT contiene un módulo bluetooth que permite comunicarse y programarse sin cables. Es compatible con los shields de Arduino.
- **LilyPad.** Diseñado para aplicaciones sobre prendas, esta placa puede ser cosida a la ropa y es de color purpura y con un diseño con estilo.
- **Fio.** Diseñada para aplicaciones inalámbricas. Incluye un zócalo para XBee, un conector para baterías LiPo y electrónica para cargar baterías.
- **Mini.** La placa Arduino más pequeña. Funciona perfectamente en una placa de desarrollo o en aplicaciones donde el espacio es primordial. Se conecta al ordenador usando el adaptador Mini USB.
- **Adaptador Mini USB.** Esta placa convierte una conexión USB en 5 voltios, toma tierra, líneas TX y RX que puedes conectar al Arduino Mini o a otro micro controlador.
- **Pro.** Esta placa está diseñada para aquellos que quieran dejar la placa incrustada en el proyecto: es más barata que la Diecimila y se puede alimentar fácilmente con baterías, pero requiere de componentes extra y montaje.
- **Pro Mini.** Como la Pro, la Pro Mini está diseñada para usuarios avanzados que requieren de bajo coste, menor tamaño y dispuestos a un poco de trabajo extra.
- **Serial.** Placa básica que utiliza una interfaz RS232 como comunicación con el ordenador para programar o intercambiar datos. Esta placa es fácil de montar incluso como ejercicio didáctico.
- **Serial a una cara (Single Sided).** Esta placa está diseñada para ser trazada y montada a mano. es un poco más grande que la Diecimila, pero compatible con los shields.

2.2.3 Shields

Las shields son placas que se colocan encima de la placa Arduino y ampliando sus funciones siendo éstas controladas desde Arduino, para controlar diferentes aparatos, adquirir datos, etc.

- **Shield Ethernet:** Esta shield permite a una placa Arduino conectarse a una red Ethernet y tener acceso a y desde Internet.
- **Shield Motores:** Esta shield permite a Arduino controlar motores eléctricos de corriente continua, servos y motores paso a paso y leer encoders.
- **Shield Xbee:** Esta shield permite conectar inalámbricamente varios Arduino a distancias de 30 metros en locales interiores de edificios y de 90 metros en el exterior usando el módulo Maxstream Xbee Zigbee.

En nuestro caso se diseñará una shield para realizar el prototipo que se detallará más adelante.

2.2.4 Arduino Mega

Para la fabricación de nuestro prototipo utilizaremos esta placa, ya que posee un número elevado de pines de E/S. En la figura 18 se muestra la placa de Arduino Mega, está basada en el microcontrolador ATmega 2560.



Figura 18: Placa Arduino Mega

2.2.4.1 Esquemas

Se puede ver un esquema de pinout de Arduino Mega en el archivo “PinOut ATmega2560.pdf”, que se encuentra en el contenido del CD.

2.2.4.2 Características

Microcontrolador	ATmega 2560
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines Entrada/Salida digitales	54 (15 provistas de salidas PWM)
Pines de Entrada analógica	16
Intensidad por pin Entrada/Salida	40mA
Intensidad en el pin 3.3V	50mA
Memoria Flash	256Kb (8Kb usados por el bootloader)
Memoria SRAM	8Kb
Memoria EEPROM	4Kb
Velocidad de reloj	16MHz

Tabla 7: Características del Arduino Mega

2.2.4.3 Alimentación

El Arduino Mega puede ser alimentado por la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. El origen de la alimentación se selecciona automáticamente.

Las fuentes de alimentación externas (no-USB) pueden ser tanto un transformador o una batería. El transformador se puede conectar usando un conector macho de 2.1mm con centro positivo en el conector hembra de la placa. Los cables de la batería pueden conectarse a los pines Gnd y Vin en los conectores de alimentación (POWER).

La placa puede trabajar con una alimentación externa de entre 6 a 20 voltios. Si el voltaje suministrado es inferior a 7V el pin de 5V puede proporcionar menos de 5 Voltios y la placa puede volverse inestable, si se usan más de 12V los reguladores de voltaje se pueden sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación son los siguientes:

- **VIN.** La entrada de voltaje a la placa Arduino cuando se está usando una fuente externa de alimentación (en opuesto a los 5 voltios de la conexión USB). Se puede proporcionar voltaje a través de este pin o, si se está alimentado a través de la conexión de 2.1mm, acceder a ella a través de este pin.
- **5V.** La fuente de voltaje estabilizado usado para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Ésta puede provenir de VIN a través de un regulador integrado en la placa, o proporcionada directamente por el USB u otra fuente estabilizada de 5V.
- **3V3.** Una fuente de voltaje a 3.3 voltios generada en el chip FTDI integrado en la placa. La corriente máxima soportada es de 50mA.
- **GND.** Pines de toma de tierra.

2.2.4.4 Memoria

El ATmega2560 tiene 256Kb de memoria flash para almacenar código, de los cuales 8Kb son usados para el arranque del sistema (bootloader). El ATmega2560 tiene 8Kb de memoria SRAM y 4Kb de EEPROM, la cual puede ser modificada en la librería EEPROM.

2.2.4.5 Entradas y salidas

Cada uno de los 54 pines digitales en el Arduino Mega pueden utilizarse como entradas o como salidas usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()` y `digitalRead()`. Las E/S operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir una intensidad máxima de 40mA y tiene una resistencia interna (desconectada por defecto) de 20kΩ. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- **Serie:** 0 (RX) y 1 (TX), Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Usado para recibir (RX) transmitir (TX) datos a través de puerto serie TTL. Los pines Serie: 0 (RX) y 1 (TX) están conectados a los pines correspondientes del chip ATmega8U2 USB-to-TTL.
- **Interrupciones Externas:** 2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3), y 21 (interrupción 2). Estos pines se pueden configurar para lanzar una interrupción en un valor LOW (0V), en flancos de subida o bajada (cambio de LOW a HIGH (5V) o viceversa), o en cambios de valor. Ver la función `attachInterrupt()` para más detalles.
- **PWM:** de 2 a 13 y de 44 a 46. Proporciona una salida PWM (Pulse Wave Modulation, modulación de onda por pulsos) de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255) a través de la función `analogWrite()`.
- **SPI:** 50 (SS), 51 (MOSI), 52 (MISO), 53 (SCK). Estos pines proporcionan comunicación SPI usando la librería SPI.
- **LED:** 13. Hay un LED integrado en la placa conectado al pin digital 13, cuando este pin tiene un valor HIGH (5V) el LED se enciende y cuando este tiene un valor LOW (0V) este se apaga.
- **I2C:** 20 (SDA) y 21 (SCL). Soporte del protocolo de comunicaciones I2C (TWI) usando la librería `Wire`.

El Mega tiene 16 entradas analógicas, y cada una de ellas proporciona una resolución de 10bits (1024 valores). Por defecto se mide de tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar la cota superior de este rango usando el pin AREF y la función `analogReference()`. Además algunos pines tienen funciones especializadas:

- **AREF.** Voltaje de referencia para las entradas analógicas. La función es `analogReference()`.
- **Reset.** Suministrar un valor LOW (0V) para reiniciar el microcontrolador. Típicamente usado para añadir un botón de reset a los shields que no dejan acceso a este botón en la placa.

2.3 LCD

Una pantalla de cristal líquido o LCD (sigla del inglés liquid crystal display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.⁴

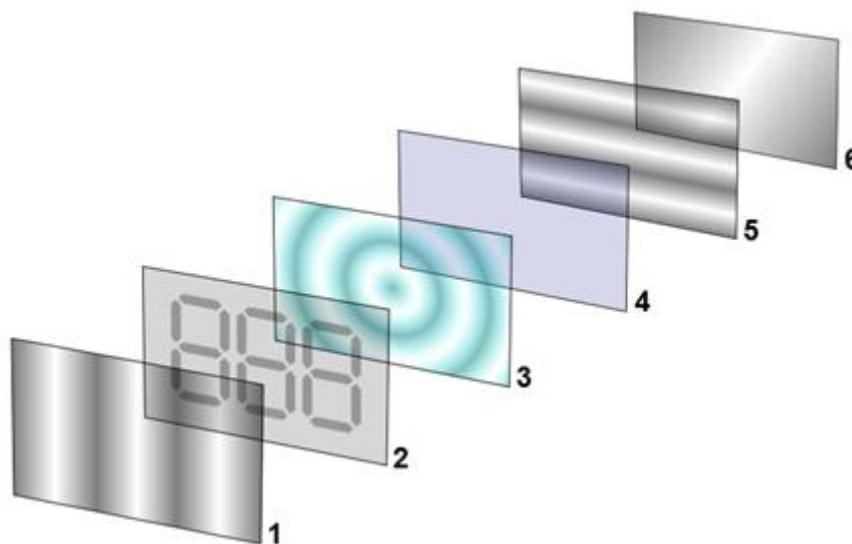


Figura 19: Despiece de una Pantalla LCD

A continuación se explica cada capa de la ilustración anterior:

1. Film de filtro vertical para polarizar la luz que entra.
2. Sustrato de vidrio con electrodos de Óxido de Indio ITO. Las formas de los electrodos determinan las formas negras que aparecen cuando la pantalla se enciende y apaga. Los cantos verticales de la superficie son suaves.
3. Cristales líquidos "Twisted Nematic" (TN).
4. Sustrato de vidrio con film electrodo común (ITO) con los cantos horizontales para alinearse con el filtro horizontal.
5. Film de filtro horizontal para bloquear/permitir el paso de luz.
6. Superficie reflectante para devolver la luz al espectador. En un LCD retroiluminado, esta capa es reemplazada por una fuente luminosa.

⁴ LCD - Wikipedia

2.3.1 Funcionamiento de la LCD

Cada píxel de un LCD típicamente consiste de una capa de moléculas alineadas entre dos electrodos transparentes, y dos filtros de polarización, los ejes de transmisión de cada uno que están (en la mayoría de los casos) perpendiculares entre sí. Sin cristal líquido entre el filtro polarizante, la luz que pasa por el primer filtro sería bloqueada por el segundo (cruzando) polarizador.

La superficie de los electrodos que están en contacto con los materiales de cristal líquido es tratada a fin de ajustar las moléculas de cristal líquido en una dirección en particular. Este tratamiento suele ser normalmente aplicable en una fina capa de polímero que es unidireccionalmente frotada utilizando, por ejemplo, un paño. La dirección de la alineación de cristal líquido se define por la dirección de frotación.

Antes de la aplicación de un campo eléctrico, la orientación de las moléculas de cristal líquido está determinada por la adaptación a las superficies. En un dispositivo twisted nematic, TN (uno de los dispositivos más comunes entre los de cristal líquido), las direcciones de alineación de la superficie de los dos electrodos son perpendiculares entre sí, y así se organizan las moléculas en una estructura helicoidal, o retorcida. Debido a que el material es de cristal líquido birrefringente, la luz que pasa a través de un filtro polarizante se gira por la hélice de cristal líquido que pasa a través de la capa de cristal líquido, lo que le permite pasar por el segundo filtro polarizado. La mitad de la luz incidente es absorbida por el primer filtro polarizante, pero por lo demás todo el montaje es transparente.

Cuando se aplica un voltaje a través de los electrodos, una fuerza de giro orienta las moléculas de cristal líquido paralelas al campo eléctrico, que distorsiona la estructura helicoidal (esto se puede resistir gracias a las fuerzas elásticas desde que las moléculas están limitadas a las superficies). Esto reduce la rotación de la polarización de la luz incidente, y el dispositivo aparece gris. Si la tensión aplicada es lo suficientemente grande, las moléculas de cristal líquido en el centro de la capa son casi completamente desenrolladas y la polarización de la luz incidente no es rotada ya que pasa a través de la capa de cristal líquido. Esta luz será principalmente polarizada perpendicular al segundo filtro, y por eso será bloqueada y el píxel aparecerá negro. Por el control de la tensión aplicada a través de la capa de cristal líquido en cada píxel, la luz se puede permitir pasar a través de distintas cantidades, constituyéndose los diferentes tonos de gris.

El efecto óptico de un dispositivo twisted nematic (TN) en el estado del voltaje es mucho menos dependiente de las variaciones de espesor del dispositivo que en el estado del voltaje de compensación. Debido a esto, estos dispositivos suelen usarse entre polarizadores cruzados de tal manera que parecen brillantes sin tensión (el ojo es mucho más sensible a las variaciones en el estado oscuro que en el brillante). Estos dispositivos también pueden funcionar en paralelo entre polarizadores, en cuyo caso la luz y la oscuridad son estados invertidos. La tensión de compensación en el estado oscuro de esta configuración aparece enrojecida debido a las pequeñas variaciones de espesor en todo el dispositivo.

Tanto el material del cristal líquido como el de la capa de alineación contienen compuestos iónicos. Si un campo eléctrico de una determinada polaridad se aplica durante un período prolongado, este material iónico es atraído hacia la superficie y se degrada el rendimiento del dispositivo. Esto se intenta evitar, ya sea mediante la aplicación de una corriente alterna o por inversión de la polaridad del campo eléctrico que está dirigida al dispositivo (la respuesta de la capa de cristal líquido es idéntica, independientemente de la polaridad de los campos aplicados).

Cuando un dispositivo requiere un gran número de píxeles, no es viable conducir cada dispositivo directamente, así cada píxel requiere un número de electrodos independiente. En cambio, la pantalla es multiplexada. En una pantalla multiplexada, los electrodos de la parte lateral de la pantalla se agrupan junto con los cables (normalmente en columnas), y cada grupo tiene su propia fuente de voltaje. Por otro lado, los electrodos también se agrupan (normalmente en filas), en donde cada grupo obtiene una tensión de sumidero. Los grupos se han diseñado de manera que cada píxel tiene una combinación única y dedicada de fuentes y sumideros.

Los circuitos electrónicos o el software que los controla, activa los sumideros en secuencia y controla las fuentes de los píxeles de cada sumidero.

2.3.2 Especificaciones

Los factores que se deben considerar al evaluar una pantalla de cristal líquido son los siguientes:

- **Resolución.** La resolución de pantalla es el número de píxeles que puede ser mostrados en la pantalla. Viene dada por el producto del ancho por el alto, medidos ambos en píxeles, con lo que se obtiene una relación, llamada relación de aspecto.
- **Ancho de punto.** La distancia entre los centros de dos píxeles adyacentes. Cuanto menor sea el ancho de punto, menor granularidad tendrá la imagen. El ancho de punto suele ser el mismo en sentido vertical y horizontal, pero puede ser diferente en algunos casos.
- **Tamaño.** El tamaño de un panel LCD se mide a lo largo de su diagonal, generalmente expresado en pulgadas (coloquialmente llamada área de visualización activa).
- **Tiempo de respuesta.** Es el tiempo que demora un píxel en cambiar de un color a otro.
- **Tipo de matriz.** Activa, pasiva y reactiva.
- **Ángulo de visión.** Es el máximo ángulo en el que un usuario puede mirar el LCD, es estando desplazado de su centro, sin que se pierda calidad de imagen. Las nuevas pantallas vienen con un ángulo de visión de 178 grados.
- **Soporte de color.** Cantidad de colores soportados. Coloquialmente conocida como gama de colores.
- **Brillo.** La cantidad de luz emitida desde la pantalla; también se conoce como luminosidad.
- **Contraste.** La relación entre la intensidad más brillante y la más oscura.
- **Aspecto.** La proporción de la anchura y la altura.

2.3.3 LCD POWERTIP PC2004-A

En este proyecto se utilizará una pantalla LCD de 20x4 caracteres para mostrar la información más importante del CNC.

2.3.3.1 Características

Las características de la pantalla LCD POWERTIP PC2004-A son las siguientes:

- Voltaje de entrada: +5V.
- Interface de bus de datos de 8bits.
- Pantalla retroiluminada.
- Contraste alto.
- 16 pines de conexión.
- Matriz de 20x4 caracteres.

2.4 Encoder

Un encoder óptico es un sensor que permite detectar el movimiento de rotación de un eje. En definitiva se trata de un transductor que convierte una magnitud de un mecanismo, tanto posición lineal como angular a una señal digital (a través de un potencial).

El encoder estará operando en relación al eje del elemento cuya posición deseamos determinar. Y su fundamento viene dado por la obtención de la medida en base a la luz que traspasa una serie de discos superpuestos que codificarán la salida digital.⁵

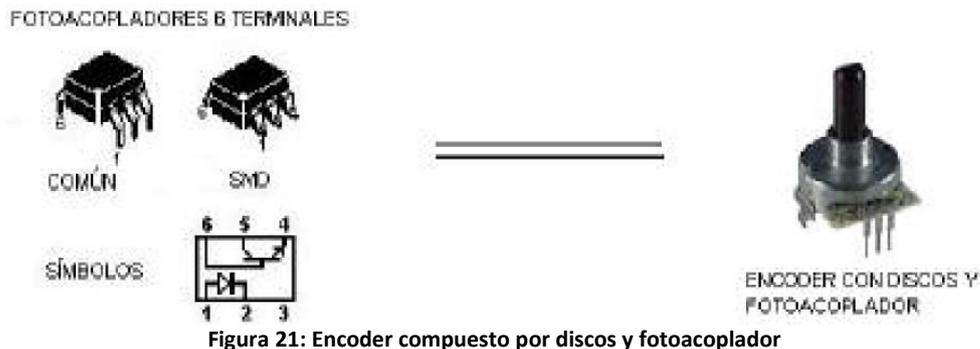


Figura 20: Encoder óptico con ambos discos superpuestos

⁵ Encoders Ópticos – Rafael T. Rosanely

2.4.1 Principio de operación

El principio de operación de un encoder se basa en los llamados fotoacopladores. Éstos son pequeños chips que consisten en un diodo en forma de fotoemisor y un transistor que realiza las tareas de fotorreceptor. Este elemento se encarga de detectar la presencia/ausencia de la luz a través de los discos concéntricos al eje, los cuales están fabricados con unas ranuras que dejan pasar la luz en función de una codificación utilizada para obtener la medida final (ver figura 21).



2.4.2 Tipos de encoders ópticos

Según la tarea que necesitemos llevar a cabo va a precisar un encoder que nos ofrezca salida en cualquier momento, es decir, aquellos llamados absolutos, mientras el otro tipo, el cual nos dará información del estado del eje cuando se encuentre en movimiento se denomina incremental. Por lo tanto se van a dividir fundamentalmente en estos dos grupos.

2.4.2.1 Incrementales

Los codificadores incrementales constan de un disco transparente al cual superponemos la plantilla de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí. El sistema fotoacoplador se encuentra en la parte posterior. El eje del que queremos obtener la medida lo acoplamos en el centro del disco. De esta manera, a medida que el eje comience a girar se irán produciendo pulsos eléctricos en el receptor cada vez que la luz atraviese una marca de los discos.

Si llevamos la cuenta de estos pulsos a través de la adquisición de la señal en el fotorreceptor podremos conseguir una medida real de la posición del eje.

Sin embargo, existe el problema de determinar el sentido de giro del eje, por lo tanto no estaríamos contando adecuadamente.

La solución correcta a este problema consiste en disponer de otra franja de marcas desplazadas respecto a la anterior de manera que cuando se produzcan los pulsos tengamos un desfase de 90º respecto al anterior. Con esta disposición, y con la herramienta matemática que nos proporciona el producto vectorial podemos construir un circuito sencillo que obtenga el sentido de giro del eje y así podamos bien incrementar o decrementar la medida.

También necesitaremos disponer de una marca adicional que nos indique cuando se ha dado una vuelta completa y que por tanto comience la cuenta de nuevo. Esta marca también nos va a servir para poder comenzar a contar de nuevo donde nos habíamos quedado tras una caída de la tensión.

A continuación se muestra la clasificación de encoders incrementales según su salida:

- **Unidireccionales:** Dan una salida y no se puede determinar el sentido de giro. Sólo nos servirá para obtener valores absolutos.
- **Bidireccionales:** Nos ofrece dos salidas A y B. El sentido se va a distinguir por la diferencia de fase.

2.4.2.2 Absolutos

Los encoders absolutos van a funcionar en todo momento dando la posición angular del eje. El funcionamiento básico es muy similar al incremental. Tenemos las lentes de adaptación correspondientes, el disco graduado y los fotorreceptores. El disco transparente se divide en un número de sectores potencia de 2, codificándose de forma binaria en cualquiera de las formas posibles que se comentará más adelante, lo cual queda representado por zonas transparentes y opacas dispuestas radialmente.

En los encoders absolutos no necesitamos ninguna herramienta especial para obtener el sentido de giro, ya que cada sector está codificado de manera absoluta. La resolución es fija y vendrá dada por el número de anillos concéntricos que contenga el disco.

En algunos encoders absolutos se utiliza otro encoder absoluto más pequeño conectado por un engranaje reductor al principal, de manera que cuando éste gire una vuelta completa, el codificado adicional avanzará una posición. Estos encoders ópticos absolutos son calificados como absolutos multivuelta.

A continuación se muestra la clasificación de Encoders Absolutos según su salida:

- **Código BCD:** Binario codificado a decimal. Se trata del código binario normal pero aplicado a cada dígito. Es decir se codifica 0000 a 1001. Del 0 al 9.
- **Código Gray:** Es un código binario especial muy útil para evitar errores, ya que su funcionamiento de pulsos sólo varía un bit, de esta manera los cambios sólo se producirán de uno en uno y la detección será más sencilla. Los discos codifican la salida mediante la anchura y la distribución de las ranuras.

2.4.3 Encoder HEDS-5700

En este proyecto se utilizará un encoder del tipo HEDS-5700 para controlar la velocidad de los ejes del CNC.



Figura 22: Encoder HEDS-5700

La serie HEDS-5700 es una familia de bajo coste y alto rendimiento, encoders incrementales ópticos. El HEDS-5700 está disponible con retroalimentación táctil para el accionamiento manual, o con un eje de giro libre para aplicaciones que requiere un codificador pre-ensamblado para la detección de posición. El codificador contiene una fuente de luz LED y un circuito detector especial que permite una alta resolución y un excelente rendimiento. La vida de rotación es larga, además de ser fiable. El dispositivo emite dos ondas digitales desfasadas 90 grados para proporcionar información sobre la dirección y la posición.

2.4.3.1 Características

- Salida en cuadratura de dos canales con índice opcional de pulso.
- Disponible con o sin fricción estática para una operación manual o mecanizada.
- Alta resolución. (Hasta 512 CPR).
- Vida de rotación larga. (Más de un millón de revoluciones).
- Intervalo de temperatura de funcionamiento de -25°C a 85°C.
- Salida TTL.
- Tensión de alimentación de 5V.

2.5 Optoacoplador

Son conocidos como optoaisladores o dispositivos de acoplamiento óptico, basan su funcionamiento en el empleo de un haz de radiación luminosa para pasar señales de un circuito a otro sin conexión eléctrica.

Estos son muy útiles cuando se utilizan por ejemplo, microcontroladores PICs y/o PICAXE. Si queremos proteger nuestro microcontrolador este dispositivo es una buena opción. En general pueden sustituir a los relés ya que tienen una velocidad de conmutación mayor, así como, la ausencia de rebotes.

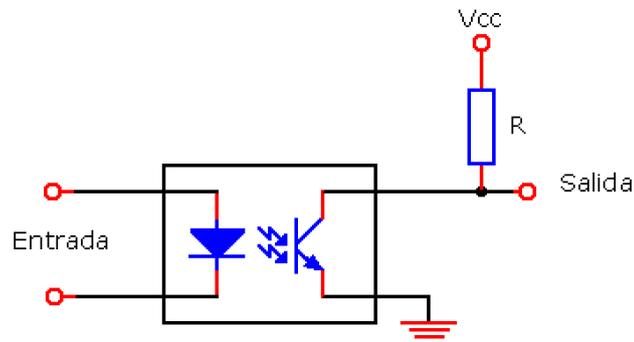


Figura 23: Circuito típico con optoacoplador

La gran ventaja de un optoacoplador reside en el aislamiento eléctrico que puede establecerse entre los circuitos de entrada y salida. Fundamentalmente este dispositivo está formado por una fuente emisora de luz y un fotosensor de silicio, que se adapta a la sensibilidad espectral del emisor luminoso, todos estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP.

2.5.1 Tipos de optoacopladores

Existen varios tipos de optoacopladores cuya diferencia entre sí depende de los dispositivos de salida que se inserten en el componente. Según esto tenemos los siguientes tipos⁶:

- **Fototransistor:** Se compone de un optoacoplador con una etapa de salida formada por un transistor BJT.

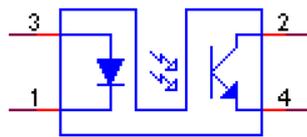


Figura 24: Fototransistor

- **Fototriac:** Se compone de un optoacoplador con una etapa de salida formada por un triac.

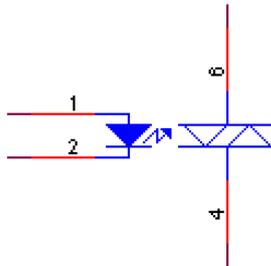


Figura 25: Fototriac

- **Fototriac de paso por cero:** Optoacoplador en cuya etapa de salida se encuentra un triac de cruce por cero. El circuito interno de cruce por cero conmuta al triac sólo en los cruces por cero de la corriente alterna.
- **Optotiristor:** Diseñado para aplicaciones donde sea preciso un aislamiento entre una señal lógica y la red.

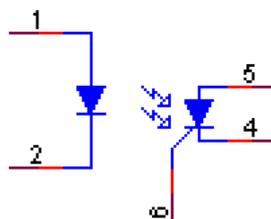


Figura 26: Optotiristor

⁶ Optoacopladores – <http://proyectoselectronics.blogspot.com.es>

2.5.2 Optoacoplador PC817

El optoacoplador PC817 está compuesto por un fototransistor a la salida, tal u encapsulado se muestra en la figura 27.



Figura 27: Optoacoplador PC817

2.5.2.1 Características

- Alta velocidad de transferencia.
- Alto voltaje de aislamiento entre la entrada y la salida.

2.6 Diodo

El diodo es un dispositivo electrónico de gran importancia, que posee dos terminales: el ánodo y el cátodo. El símbolo del diodo se muestra en la figura 28, mientras que en la figura 29 se muestra su característica tensión-corriente. Como se ve en la Figura 28, la tensión v_D en el diodo se toma como positiva de ánodo a cátodo. De igual manera, la corriente i_D en el diodo se referencia como positiva cuando circula de ánodo a cátodo.

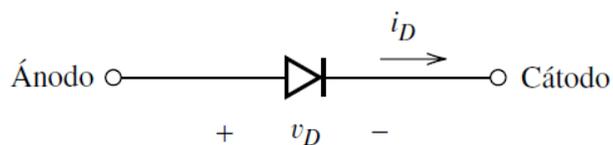


Figura 28: Símbolo del circuito

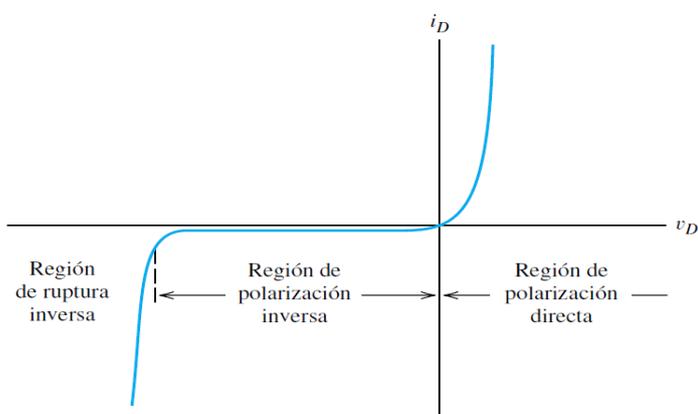


Figura 29: Curva característica tensión-corriente

Puede observarse en la curva característica que, si la tensión V_d es positiva en el diodo, pasa un flujo de corriente grande incluso con pequeñas tensiones. Esta condición se denomina polarización directa. Así, la corriente fluye fácilmente a través del diodo en la dirección que indica la flecha o el símbolo del diodo.

Por otra parte, para valores moderadamente negativos de V_d , la corriente I_d es muy pequeña. A esto se le llama región de polarización inversa, como puede verse en la curva característica del diodo. Si se aplica una tensión de polarización inversa suficientemente grande al diodo, su modo de operación entra en la región de ruptura inversa o zona de avalancha, permitiendo el flujo de una elevada corriente. Mientras que la potencia disipada en el diodo no eleve demasiado su temperatura, el modo de trabajo en ruptura inversa no destruirá el dispositivo. De hecho, veremos que a menudo se hace trabajar deliberadamente a los diodos en la región de ruptura inversa.⁷

2.6.1 Características del diodo FR307

- Alta fiabilidad.
- Conmutación rápida.
- Baja corriente de fugas.
- Baja caída de tensión.
- Alta capacidad de corriente.

2.7 Schmitt trigger

Un disparador de Schmitt es un comparador de circuito con histéresis, implementado mediante la aplicación de retroalimentación positiva a la entrada no inversora de un comparador o amplificador diferencial. Se trata de un circuito activo, que convierte una señal de entrada analógica a una señal digital de salida. El circuito se llama trigger (gatillo), porque la salida mantiene su valor hasta que la entrada cambia lo suficiente como para provocar un cambio. En la configuración no inversora, cuando la entrada es mayor que un umbral determinado elegido, la salida es alta. Cuando la entrada está por debajo de un umbral diferente (menor) elegido, la salida es baja, y cuando la entrada se encuentra entre los dos niveles, el de salida conserva su valor.⁸

⁷ Diodo – Electrónica - Allan R.Hambley

⁸ Schmitt trigger – Wikipedia

Este umbral de doble acción se llama histéresis e implica que el disparador de Schmitt posee memoria y puede actuar como un circuito biestable (pestituto o flip-flop). Existe una estrecha relación entre los dos tipos de circuitos: un disparador de Schmitt se puede convertir en un pestituto y un pestituto se puede convertir en un disparador de Schmitt.

Dispositivos de disparo Schmitt se utilizan típicamente en acondicionamiento de señal aplicaciones para eliminar el ruido de las señales utilizadas en los circuitos digitales, y cerrados de bucle de retroalimentación negativa configuraciones para implementar osciladores de relajación, utilizados en generadores de funciones y fuentes de alimentación conmutadas.

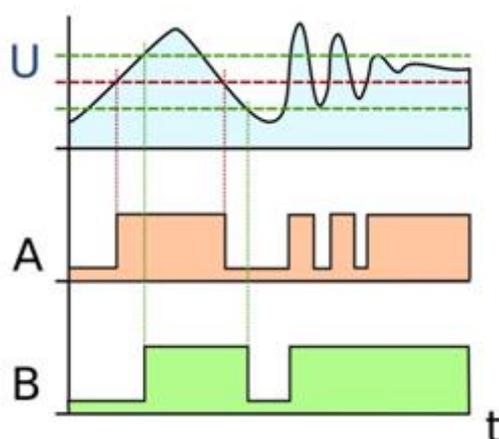


Figura 30: Ejemplo de la salida Schmitt

En la figura 30 se puede observar la salida de Schmitt trigger (B) y un comparador (A), cuando se aplica una señal con ruido (U).

La figura 31 muestra el símbolo que representa un disparador Schmitt inversor:

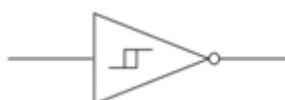


Figura 31: Disparador Schmitt

2.7.1 Inversor SN74HC14N

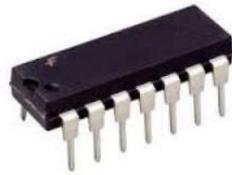


Figura 32: Inversor SN74HC14N

Los inversores 74HC14 y 74HCT14 son dispositivos CMOS de alta velocidad. Son compatibles con pines de baja potencia Schottky TTL (LSTTL). Proporcionan seis buffers inversores con la acción Schmitt-trigger. Son capaces de la transformación de señales de entrada que cambian lentamente en formas definidas, señales de salida sin fluctuaciones.

La configuración de los pines se muestra en la figura 33.

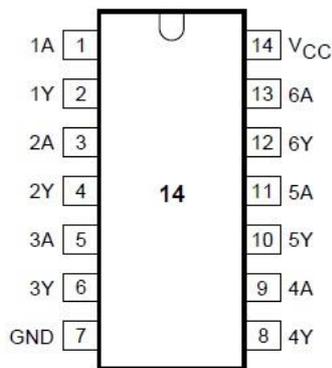


Figura 33: Inversor SN74HC14N Configuración de los pines

Y su diagrama lógico se detalla en la figura 34.

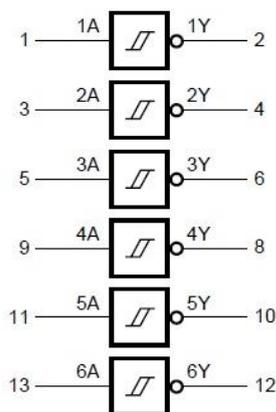


Figura 34: Inversor SN74HC14N Diagrama lógico

2.7.2 Transceptor SN74LS245



Figura 35: Transceptor SN74LS245

Este circuito integrado está formado por ocho circuitos como el que se muestra en la siguiente figura.

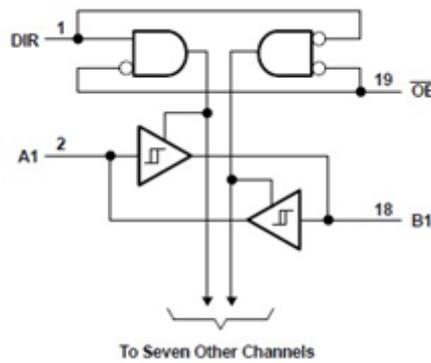


Figura 36: Transceptor SN74LS245 Diagrama lógico

La configuración de los pines es la siguiente:

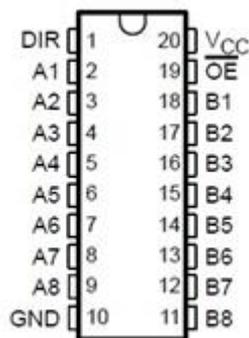


Figura 37: Transceptor SN74LS245 Configuración de los pines

Tienen 3 estados diferentes que se muestran en la figura 38, estos son la dirección de los datos y el estado de Alta Impedancia.

INPUTS		OPERATION
\overline{OE}	DIR	
L	L	B data to A bus
L	H	A data to B bus
H	X	Isolation

Figura 38: Transceptor SN74LS245 Diagrama de estados

2.8 Reguladores de tensión

Los reguladores lineales de tensión, también llamados reguladores de voltaje, son circuitos integrados diseñados para entregar una tensión constante y estable.

Estos dispositivos están presentes en la gran mayoría de fuentes de alimentación, pues proporcionan una estabilidad y protección sin apenas necesidad de componentes externos haciendo que sean muy económicos.⁹

2.8.1 Funcionamiento

Una visión simplificada, para entender su funcionamiento, sería verlos como un divisor de tensión que se reajusta constantemente para que la tensión entregada sea siempre la misma. Evidentemente no es tan simple como una par de resistencias ajustables. En el interior de un regulador lineal de tensión pueden encontrarse componentes activos, como transistores trabajando en su zona lineal, y/o pasivos, como diodos zener, en su zona de ruptura.

2.8.2 Regulador LM7805

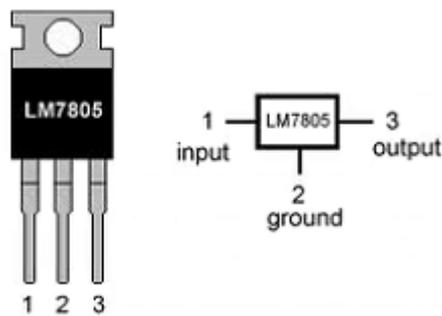


Figura 39: Regulador de Tensión LM7805

En la figura 39 se muestra el regulador de tensión de 5V LM7805.

⁹ Reguladores de tensión – <http://artefactos.leame.com/index.php>

2.8.3 Regulador LM7812

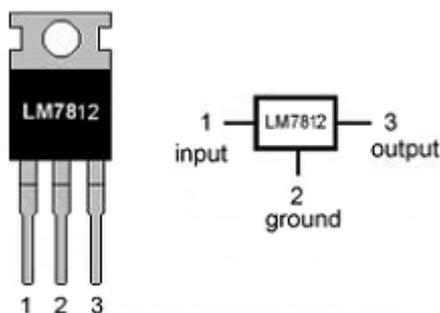


Figura 40: Regulador de Tensión LM7812

En la figura 40 se muestra el regulador de tensión de 12V LM7812.

2.9 Resistencias

Se denomina resistor o bien resistencia al componente electrónico diseñado para introducir una resistencia eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito eléctrico. En el propio argot eléctrico y electrónico, son conocidos simplemente como resistencias. En otros casos, como en las planchas calentadores, etc., se emplean resistencias para producir calor aprovechando el efecto Joule.¹⁰

Es un material formado por carbón y otros elementos resistivos para disminuir la corriente que pasa. Se opone al paso de la corriente. La corriente máxima en un resistor viene condicionada por la máxima potencia que pueda disipar su cuerpo. Esta potencia se puede identificar visualmente a partir del diámetro sin que sea necesaria otra indicación. Los valores más comunes son 0,25 W, 0,5 W y 1 W.

Existen resistencias de valor variable, que reciben el nombre de potenciómetros.

2.9.1 Código de colores

El valor de la resistencia eléctrica se obtiene leyendo las cifras como un número de una, dos o tres cifras; se multiplica por el multiplicador y se obtiene el resultado en Ohmios (Ω). El coeficiente de temperatura únicamente se aplica en resistencias de alta precisión o tolerancia menor del 1%.

¹⁰ Resistencias - <http://es.wikipedia.org/wiki/Resistor>

La siguiente imagen (figura 41) muestra el código de colores de las resistencias:

Color de la banda	Valor de la 1ª cifra significativa	Valor de la 2ª cifra significativa	Multiplicador	Tolerancia	Coefficiente de temperatura
Negro	-	0	1	-	-
Marrón	1	1	10	±1%	100ppm/°C
Rojo	2	2	100	±2%	50ppm/°C
Naranja	3	3	1 000	-	15ppm/°C
Amarillo	4	4	10 000	±4%	25ppm/°C
Verde	5	5	100 000	±0,5%	20ppm/°C
Azul	6	6	1 000 000	±0,25%	10ppm/°C
Violeta	7	7	10000000	±0,1%	5ppm/°C
Gris	8	8	100000000	±0,05%	1ppm/°C
Blanco	9	9	1000000000	-	-
Dorado	-	-	0,1	±5%	-
Plateado	-	-	0,01	±10%	-
Ninguno	-	-	-	±20%	-

Figura 41: Código de colores de las resistencias

2.10 Condensadores

Básicamente un condensador es un dispositivo capaz de almacenar energía en forma de campo eléctrico. Está formado por dos armaduras metálicas paralelas (generalmente de aluminio) separadas por un material dieléctrico. Tiene una serie de características tales como capacidad, tensión de trabajo, tolerancia y polaridad, que deberemos aprender a distinguir.¹¹

En la versión más sencilla del condensador, no se pone nada entre las armaduras y se las deja con una cierta separación, en cuyo caso se dice que el dieléctrico es el aire.

Las características son las siguientes:

- **Capacidad:** Se mide en Faradios (F), aunque esta unidad resulta tan grande que se suelen utilizar varios de los submúltiplos, tales como microfaradios (μF), nanofaradios (nF) y picofaradios (pF).
- **Tensión de trabajo:** Es la máxima tensión que puede aguantar un condensador, que depende del tipo y grosor del dieléctrico con que esté fabricado. Si se supera dicha tensión, el condensador puede perforarse (quedar cortocircuitado) y/o explotar. En este sentido hay que tener cuidado al elegir un condensador, de forma que nunca trabaje a una tensión superior a la máxima.

¹¹ Condensadores - <http://perso.wanadoo.es/abeldg/documentacion/condensadores>

- **Tolerancia:** Igual que en las resistencias, se refiere al error máximo que puede existir entre la capacidad real del condensador y la capacidad indicada sobre su cuerpo.
- **Polaridad:** Los condensadores electrolíticos y en general los de capacidad superior a $1\mu\text{F}$ tienen polaridad, eso es, que se les debe aplicar la tensión prestando atención a sus terminales positivo y negativo. Al contrario que los inferiores a $1\mu\text{F}$, a los que se puede aplicar tensión en cualquier sentido, los que tienen polaridad pueden explotar en caso de ser ésta la incorrecta

2.10.1 Tipos de condensadores

Vamos a mostrar a continuación una serie de condensadores de los más típicos que se pueden encontrar.

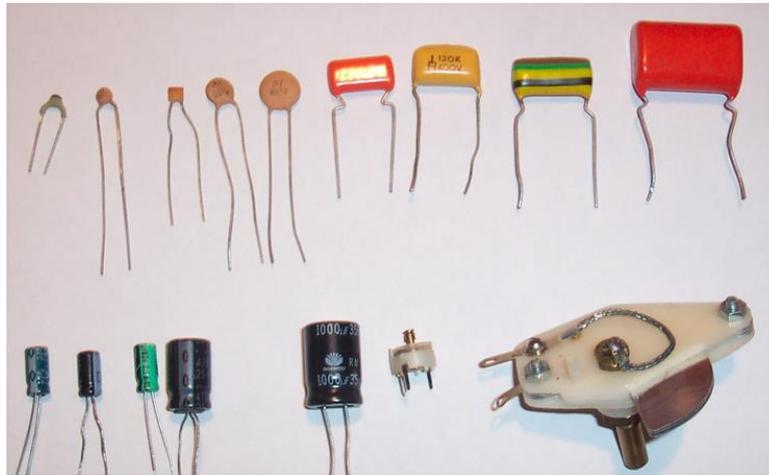


Figura 42: Tipos de condensadores

- Electrolíticos.
- Electrolíticos de tántalo
- De poliéster metalizado
- De poliéster.
- De poliéster metalizado.
- Cerámico "de lenteja" o "de disco".
- Cerámico "de tubo".

2.11 Transistores

El transistor es un dispositivo semiconductor de tres capas que consiste de dos capas de material tipo n y una capa tipo p, o bien, de dos capas de material tipo p y una tipo n. al primero se le llama transistor npn, en tanto que al segundo transistor pnp.

- Emisor. Emite los portadores de corriente, (huecos o electrones). Su labor es la equivalente al CÁTODO en los tubos de vacío o "lámparas" electrónicas.
- Base. Controla el flujo de los portadores de corriente. Su labor es la equivalente a la REJILLA cátodo en los tubos de vacío o "lámparas" electrónicas.
- Colector. Capta los portadores de corriente emitidos por el emisor. Su labor es la equivalente a la PLACA en los tubos de vacío o "lámparas" electrónicas.

2.11.1 Tipos de transistores

2.11.1.1 Fototransistor

Se llama fototransistor a un transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando portadores en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción.

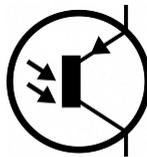


Figura 43: Símbolo fototransistor

2.11.1.2 Transistor uniunión

El transistor uniunión es un tipo de tiristor que contiene dos zonas semiconductoras.

Tiene tres terminales denominados emisor (E), base uno (B1) y base dos (B2). Está formado por una barra semiconductor tipo N, entre los terminales B1-B2, en la que se difunde una región tipo P+, el emisor, en algún punto a lo largo de la barra, lo que determina el valor del parámetro η , standoff ratio, conocido como razón de resistencias o factor intrínseco.

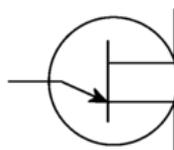


Figura 44: Símbolo transistor uniunión

2.11.1.3 Transistor IGBT

El transistor bipolar de puerta aislada es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia.

Este dispositivo posee la características de las señales de puerta de los transistores efecto campo con la capacidad de alta corriente y voltaje de baja saturación del transistor bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT.¹²

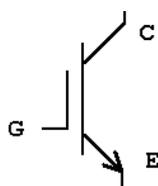


Figura 45: Símbolo transistor IGBT

2.11.1.4 Transistores de Efecto de Campo

- JFET. También llamado transistor unipolar, fue el primer transistor de efecto de campo en la práctica. Lo forma una barra de material semiconductor de silicio de tipo N o P. En los terminales de la barra se establece un contacto óhmico, tenemos así un transistor de efecto de campo tipo N de la forma más básica.
- MESFET. Transistores de efecto de campo metal semiconductor.
- MOSFET. Transistores de efecto de campo de metal-óxido semiconductor. En estos componentes, cada transistor es formado por dos islas de silicio, una dopada para ser positiva, y la otra para ser negativa, y en el medio, actuando como una puerta, un electrodo de metal.

¹² Transistores - <http://pepote.vascodelazarza.com/Transistores.html>

2.12 Toshiba TB6560AHQ

El circuito integrado Toshiba TB6560AHQ es un controlador de motores paso a paso del tipo PWM. Está diseñado para el control microstep sinusoidal de motores bipolares paso a paso.

El TB6560AHQ se puede utilizar en aplicaciones que requieren modos de excitación de 2 fases, 1-2 fases, 2W1-2 fases y 4W1-2 fases.

El TB6560AHQ es capaz de proporcionar baja vibración, alto rendimiento de avance y retroceso de un motor bipolar paso a paso de dos fases utilizando sólo una señal de reloj.



Figura 46: Toshiba TB6560AHQ

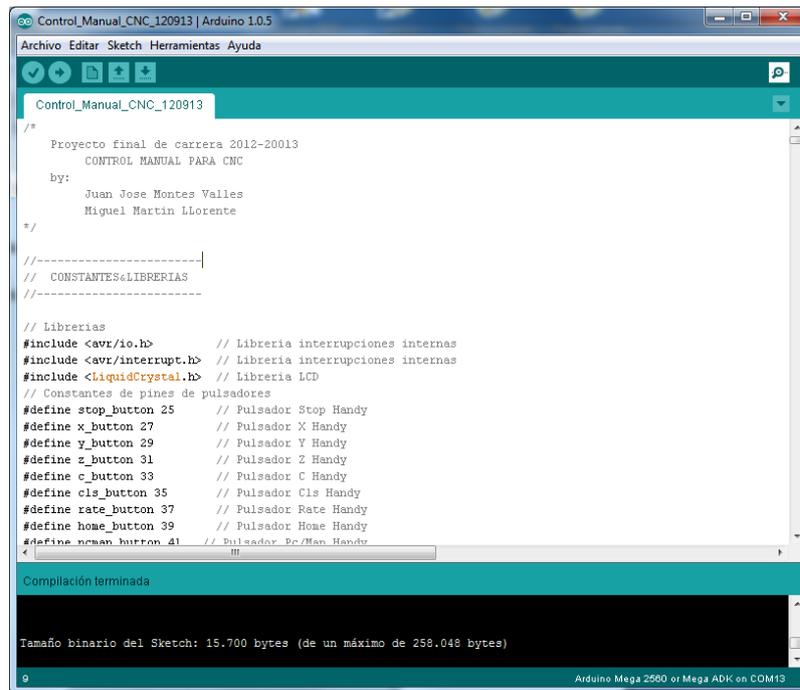
2.12.1 Características

- Controlador de motor de un solo chip para el control microstep sinusoidal de motores paso a paso.
- Alta tensión soportada por el uso del proceso de BiCD Ron (suma superior e inferior) = 0,6 Ω (valor típico).
- Avance y retroceso.
- Modos seleccionables de la fase de excitación (2, 1-2, 2W1-4W1-2 y 2).
- Alta tensión soportada: VDSS = 40 V.
- Alta corriente de salida: IOU = AHQ: 3,5A (Valor de pico).
- Encapsulados: HZIP25-P-1.27/HQFP64-P-1010-0.50.
- Resistencias internas de pull-down en las entradas de 100 kW (Valor típico).
- Salida del pin monitor: corriente MO (OMI (max) = 1 mA).
- Pines de Habilitación y Reset.
- Apagado térmico (TSD).

3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO

3.1 Arduino

3.1.1 Entorno del programa



```
Control_Manual_CNC_120913 | Arduino 1.0.5
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

Control_Manual_CNC_120913

/*
  Proyecto final de carrera 2012-20013
  CONTROL MANUAL PARA CNC
  by:
  Juan Jose Montes Valles
  Miguel Martin Llorente
*/

//-----|
// CONSTANTES y LIBRERIAS
//-----|

// Librerias
#include <avr/io.h> // Libreria interrupciones internas
#include <avr/interrupt.h> // Libreria interrupciones internas
#include <LiquidCrystal.h> // Libreria LCD
// Constantes de pines de pulsadores
#define stop_button 25 // Pulsador Stop Handy
#define x_button 27 // Pulsador X Handy
#define y_button 29 // Pulsador Y Handy
#define z_button 31 // Pulsador Z Handy
#define c_button 33 // Pulsador C Handy
#define cls_button 35 // Pulsador Cls Handy
#define rate_button 37 // Pulsador Rate Handy
#define home_button 39 // Pulsador Home Handy
#define power_button 41 // Pulsador Po/Man Handy

//
//-----|
//-----|

Compilación terminada

Tamaño binario del Sketch: 15.700 bytes (de un máximo de 258.048 bytes)

Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM13
```

Figura 47: Captura del Entorno de programación de Arduino

El entorno de desarrollo Arduino está constituido por un editor de texto para escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para las funciones comunes y una serie de menús.

Permite la conexión con el hardware de Arduino para cargar los programas y comunicarse con ellos.

Arduino utiliza para escribir el software lo que denomina "sketch" (programa). Estos programas son escritos en el editor de texto. Existe la posibilidad de cortar/pegar y buscar/remplazar texto. En el área de mensajes se muestra información mientras se cargan los programas y también muestra errores. La consola muestra el texto de salida para el entorno de Arduino incluyendo los mensajes de error completos y otras informaciones. En la figura 48 se muestra la descripción de los botones de la barra de herramientas que permite verificar el proceso de carga, creación, apertura y guardado de programas y la monitorización serie.

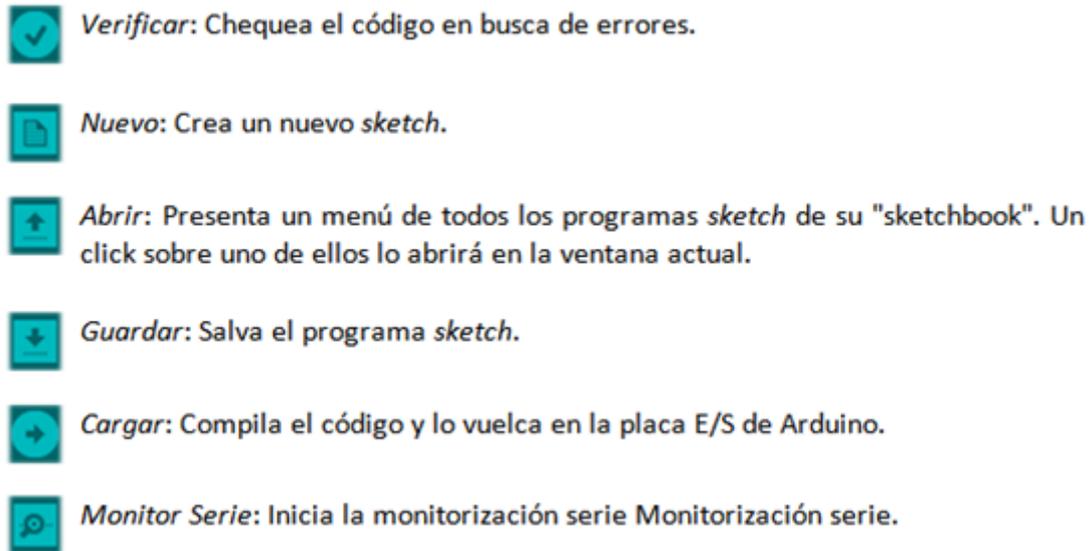


Figura 48: Barra de herramientas de Arduino

Encontrará otros comandos en los cinco menús: File, Edit, Sketch, Tools y Help. Los menús son sensibles al contexto, lo que significa que estarán disponibles sólo los elementos relevantes para la tarea que esté realizando en ese momento.

3.1.2 Lenguaje de programación

Los programas hechos con Arduino se dividen en tres partes principales: estructura, valores (variables y constantes) y funciones. El Lenguaje de programación Arduino se basa en C/C++.

Puede ver un resumen del lenguaje de Arduino en el archivo "Acordeón Arduino.pdf" que se encuentra en el contenido del CD.

3.2 Eagle

EAGLE, (siglas de Easily Applicable Graphical Layout Editor) es un programa de diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador. Famoso alrededor del mundo de los proyectos electrónicos DiY, debido a que muchas versiones de este programa tienen una licencia Freeware y gran cantidad de bibliotecas de componentes alrededor de la red.¹³

¹³ Eagle – www.cadsoftusa

El programa consta de tres módulos, un diagramador, un editor de esquemas y un autorouter que están integrados por lo no hay necesidad de convertir los netlist entre esquemas y diseños. Es una potente aplicación con la que diseñar circuitos impresos y realizar esquemas electrónicos.

Gracias a este editor es posible diseñar esquemas y placas de circuito impreso con autorouter, es decir con la función que automatiza el dibujo de pistas en la placa de circuitos impresos y todo esto en un entorno ergonómico.

3.2.1 Entorno del programa

En la figura 49 se muestra una captura del entorno de diseño de circuitos, mostrando también la inclusión de librerías.

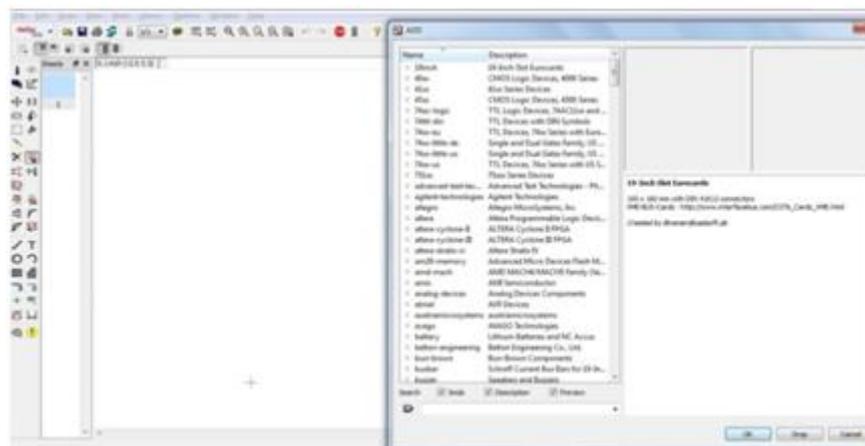


Figura 49: Captura del Entorno de diseño de circuitos

Para el diseño de los circuitos se han tenido que incluir varias librerías, ya que en la versión de evaluación no se encontraban ciertos componentes. Las librerías incluidas se encuentran en el contenido del CD.

La figura 50 muestra en entorno para el diseño del PCB:

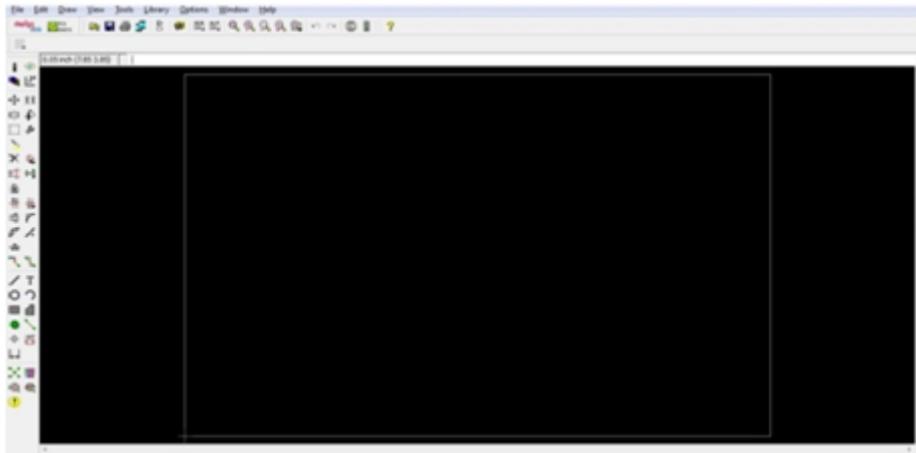


Figura 50: Captura del Entorno de diseño del PCB

3.3 Microsoft Visio 2013

Microsoft Visio Professional 2013 facilita crear y compartir diagramas profesionales y versátiles que simplifican información compleja. Incluye toda la funcionalidad de Visio Standard 2013 así como formas, plantillas y estilos actualizados, soporte mejorado para colaboración en equipo incluyendo la capacidad de que varias personas trabajen en un mismo diagrama al mismo tiempo y la capacidad de enlazar diagramas con datos. Visio Professional 2013 también agrega galerías de símbolos adicionales para diagramas empresariales y de ingeniería, diagramas de proceso (incluyendo Business Process Model and Notation [BPMN] 2.0), mapas y planos, diagramas de red, diagramas de software y bases de datos.¹⁴

3.3.1 Entorno del programa

La figura 51 muestra una captura del entorno de trabajo de Microsoft Visio 2013.

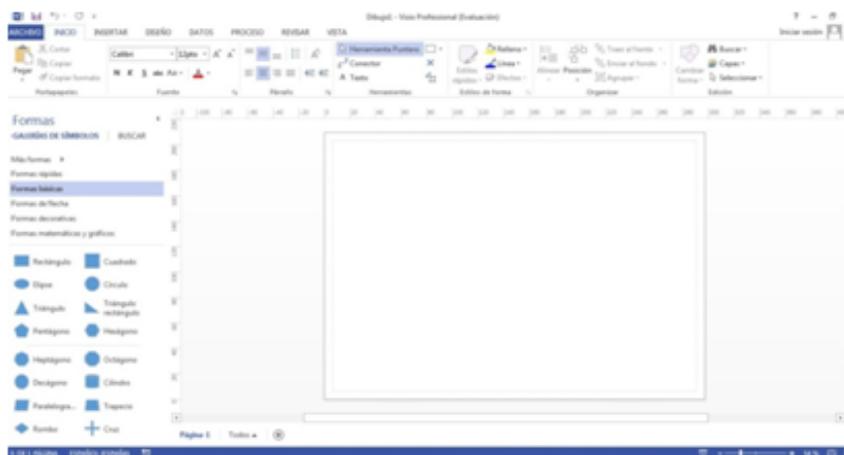


Figura 51: Captura del entorno de Microsoft Visio 2013

¹⁴ Microsoft Visio 2013 - <http://office.microsoft.com/es-es/visio/>

3.3.2 Características

- Agilizar el trabajo en equipo y reducir el riesgo de errores al permitir que dos o más personas trabajen en el mismo diagrama en un solo archivo al mismo tiempo.
- Enlace con datos a partir de varias fuentes populares de datos estructurados, entre las que se incluyen Microsoft Excel, SQL Server, SQL Azure y listas de SharePoint y Servicios de conectividad empresarial.
- Obtener indicadores visuales de qué formas están modificando otras personas y sincronizar fácilmente los diagramas al guardarlos.
- Revelar patrones y significado en tus datos con datos gráficos, como iconos, símbolos, colores y gráficos de barras.
- Compartir y hacer comentarios sobre los diagramas (tanto estáticos como de datos vinculados) a través de un navegador web.

4. DISEÑO DEL HARDWARE

4.1 Introducción

Para realizar el diseño final del Control Manual primero se ha diseñado y construido un prototipo que servirá como banco de pruebas y diseño funcional visible antes de realizar el diseño final del Control Manual.

4.2 Diseño del prototipo

Para la realización del prototipo se ha utilizado el software “Eagle”, que se ha explicado en el apartado 3.2. Este prototipo se consta de: shield, botonera del panel de mando, botonera de límites y stop externo, LCD y encoder.

En la figura 52 se observa el resultado final del prototipo que se compone del prototipo aquí descrito, junto a la parte que simula el CNC compuesto por 3 motores (Ejes X, Y, Z) y spindle, montado en una caja para facilitar su transporte y uso.



Figura 52: Prototipo

4.2.1 Introducción

Partiendo de los esquemas obtenidos de la tarjeta controladora HY-TB4DV-M se ha diseñado un circuito de control para gobernarla.

Con los medios disponibles que son un encoder, una pantalla LCD y una placa de Arduino Mega se ha decidido que la manera más práctica de aprovechar el material era fabricar una shield que irá montada sobre la placa de Arduino Mega a la cual se conectarán el encoder, el panel de mando y la pantalla LCD como elementos externos mediante conectores.

4.2.2 Realización del esquema de la shield

El esquema del circuito diseñado se encuentra en el apartado 7 (Planos), cuenta con un circuito de control y un circuito para el contraste de la LCD.

4.2.2.1 Circuito de control

El circuito de control se compone de dos transceptores SN74LC245 que serán los encargados de mandar las señales del panel de mando a la tarjeta controladora o de incomunicar el prototipo con la tarjeta controladora si por ejemplo se produce un Stop de emergencia. A cada salida de estos transceptores se conectará una resistencia de 150Ω como medida de protección ante un posible cortocircuito que podría producirse en el caso de estar controlando la tarjeta mediante el PC y de forma manual al mismo tiempo.

4.2.2.2 Circuito del contraste

Este circuito tiene como finalidad ajustar el contraste de la pantalla LCD que se regula con voltaje negativo de 0v a -5V. Se basa en un circuito denominado circuito de bomba de carga simple, compuesto por dos diodos 1N4148 y dos condensadores electrolíticos, que acondiciona la tensión proporcionada por una salida del Arduino mediante la función `tone()`.

La frecuencia de la señal puede estar comprendida desde aproximadamente 1kHz a 50kHz o superior (en este prototipo se usa una frecuencia de 2kHz). Si la señal es superior a 5kHz los diodos 1N4148 deben ser sustituidos por diodos Schottky como el 1N5817 y los condensadores también deben ser actualizados por unos con baja ESR (resistencia equivalente).

4.2.3 Realización del PCB de la shield

A partir del esquema realizado se obtendrá el PCB, para ello se colocaran los componentes adecuadamente de manera que resulte más sencillo hacer el rutado manual. Se usarán pistas con un grosor de 24 mil (milésimas de pulgada) y un clearance (distancia entre pistas) de 40 mil. Estas medidas son las óptimas para el uso de la fresa de 0.8mm que se usará en la práctica.

Para los pads y las vías se utilizará un diámetro de 8 mil.

El diseño PCB que se obtiene se muestra en el apartado 7 (Planos).

La placa tiene unas dimensiones de 3625 x 2230 mil.

En la esquina superior izquierda se encuentra el circuito encargado del contraste de la pantalla LCD. Las resistencias y los circuitos integrados pertenecen al circuito de control.

4.2.4 Realización de las botoneras

El esquema del circuito diseñado se encuentra en el apartado 7 (Planos). En él se encuentran el circuito del panel de mando formado por diez pulsadores y el circuito de los límites y stop que simularán las señales propias del CNC.

4.2.5 Lista de componentes

En la siguiente lista se indican todos los componentes necesarios para la realización física del prototipo:

- **Resistencias**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
12	Ud.	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12	150Ω 1/4w 5%

Tabla 8: Resistencias

- **Resistencias variables**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	POT	1kΩ

Tabla 9: Resistencias variables

- **Condensadores electrolíticos**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	C1	47μF 16v
1	Ud.	C2	22μF 16v

Tabla 10: Condensadores electrolíticos

- **Diodos**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
2	Ud.	D1, D2	1N4148

Tabla 11: Diodos

- **Circuitos Integrados**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
2	Ud.	IC1, IC2	74LS245

Tabla 12: Circuitos Integrados

- **Pulsadores**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
14	Ud.	X_BUTTON, Y_BUTTON, Z_BUTTON, C_BUTTON, STOP_BUTTON, HOME_BUTTON, PCMAN_BUTTON, SPINDLE_BUTTON, RATE_BUTTON, CLS_BUTTON, X_LIMIT_BUTTON, Y_LIMIT_BUTTON, Z_LIMIT_BUTTON, STOP_IN_BUTTON	DIP P4 6*6*5mm 500mA 12Vdc

Tabla 13: Pulsadores

- **Conectores**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	DIGITAL	PINHD 2X16
1	Ud.	DB15	PINHD 2X9
2	Ud.	HANDY_1	PINHD 1X11
2	Ud.	HANDY_2	PINHD 1X10
2	Ud.	PWM1, GND	PINHD 1X1
1	Ud.	PWM2	PINHD 1X5
2	Ud.	COM, POWER	PINHD 1X2
1	Ud.	KEYPAD_1	PINHD 2x14
1	Ud.	KEYPAD_2	PINHD 1x5

Tabla 14: Conectores

- **Otros**

Cantidad	Unidad	Componente	Valor
1	Ud.	PLACA ARDUINO MEGA	ARDUINO MEGA 2560 rev3
1	Ud.	ENCODER	HEDS - 5700
1	Ud.	LCD	PC 2004-A
6	Mts.	Cable	Unifilar 1mm
1	Ud.	Placa fotosensible de fibra de vidrio	3625x2230 mil
2	Ud.	Strip Board	5*7cm

Tabla 15: Otros

4.3 Diseño del Control Manual

Para la realización del Control Manual se ha utilizado el software “Eagle”, que se ha explicado en el apartado 3.2.

4.3.1 Introducción

Será el diseño final del proyecto aquí descrito. Ha sido diseñado después de haber probado el prototipo y comprobado que es totalmente funcional y viable para su fabricación. Este diseño cuenta con el circuito de control y el de contraste descritos en el prototipo así como el panel de mando y el microcontrolador ATmega integrado en el mismo circuito. Se conectará externamente la pantalla LCD así como el encoder.

4.3.2 Realización del esquema del Control Manual

El esquema del circuito diseñado se encuentra en el apartado 7 (Planos). Se han realizado algunos cambios con respecto al prototipo con el fin de mejorar algún aspecto:

- La entrada de la señal de Stop ahora es una entrada con interrupción.
- Pulsador PcMan eliminado, el diseño final no contará con esta funcionalidad.
- Se han reemplazado los conectores del circuito de control y de los límites tipo pin por un conector DB25 macho para el circuito de control y un conector macho de tres pines para los límites y stop.

4.3.3 Realización del PCB del Control Manual

A partir del esquema realizado se obtendrá el PCB, para ello se colocarán los componentes adecuadamente de manera que resulte más sencillo hacer el rutado manual. Se usarán pistas con un grosor de 10 mil y un clearance (distancia entre pistas) de 8 mil.

Para los pads y las vías se utilizará un diámetro de 6 mil.

El diseño PCB que se obtiene se muestra en el apartado 7 (Planos) y tiene unas dimensiones de 2350 x 4300 mil.

4.3.4 Lista de componentes

En la siguiente lista se indican los componentes para la realización del Control Manual:

- **Resistencias**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
12	Ud.	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11,R12	150Ω
1	Ud.	R13	10Ω
1	Ud.	R14	27Ω
1	Ud.	R15	1MΩ
1	Ud.	R16	10KΩ

Tabla 16: Resistencias

- **Resistencias variables**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	POT	1kΩ

Tabla 17: Resistencias variables

- **Condensadores electrolíticos**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	C1	47μF 16v
1	Ud.	C2	22μF 16v
4	Ud.	C3, C4, C5, C6	100nF
1	Ud.	C7	22pF

Tabla 18: Condensadores electrolíticos

- **Diodos**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
2	Ud.	D1, D2	1N4148

Tabla 19: Diodos

- **Circuitos Integrados**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	IC1	ATMEGA 2560-16AU
2	Ud.	IC2, IC3	74LS245DW

Tabla 20: Circuitos Integrados

- **Microcontroladores**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	ATMEGA2560-16AU	ATMEGA2560-16AU

Tabla 21: Microcontroladores

- **Osciladores**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	Q1	CSTCR6M00G53Z

Tabla 22: Osciladores

- **Pulsadores**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
10	Ud.	X_BUTTON, Y_BUTTON, Z_BUTTON, C_BUTTON, STOP_BUTTON, HOME_BUTTON, SPINDLE_BUTTON, RATE_BUTTON, CLS_BUTTON, RESET_BUTTON	TACTILE SWITCH SMD

Tabla 23: Pulsadores

- **Conectores**

Cantidad	Unidad	Referencia en el circuito	Valor
1	Ud.	LCD	PINHD 1X16
1	Ud.	DB15	M15D
1	Ud.	ENCODER	PINHD 1X05
1	Ud.	LIMIT	PINHD 1X03
1	Ud.	ICSP	PINHD 2X03
1	Ud.	LIMIT	L03P

Tabla 24: Conectores

- **Otros**

Cantidad	Unidad	Componente	Valor
1	Ud.	ENCODER	HEDS - 5700
1	Ud.	LCD	PC 2004-A

Tabla 25: Otros

4.4 Métodos de construcción de placas de circuito impreso.

En la fabricación de nuestro prototipo se ha utilizado el método de fresado y taladrado con una máquina de control numérico "Bungard CCD". Para el diseño de las botoneras se utilizarán placas agujereadas (strip boards).

Esta placa del prototipo también se podría haber fabricado por el método de insolación, donde se necesitaría una insoladora y los ácidos para poder revelar la placa.

4.4.1 Método de insolación

Para construir una placa de circuito impreso es necesario una insoladora y una placa de circuito impreso de cara positiva o negativa. Para obtenerlo se tiene que hacer el diseño PCB del circuito que se quiera realizar. Una vez obtenido el fotolito, se debe colocar perfectamente alineado por la cara fotosensible. Existen placas e insoladoras de una o de dos caras, según conveniencia. El tiempo de la placa dentro de la insoladora varía entre 4 o 5 minutos.

En este tiempo los espacios que estén expuestos directamente a la luz ultravioleta serán eliminados y sólo quedarán las pistas que tiene nuestro circuito.

Una vez que la placa haya sido insolada se introduce en una cubeta de plástico para su posterior revelado. La placa permanecerá unos minutos para que el revelador haga su propósito. Una vez terminado este proceso se lavará con abundante agua para retirar la resina sobrante.

Posteriormente se atacará la placa con ácido. El atacador está formado por agua, agua oxigenada y ácido clorhídrico. Se tendrá en cuenta el tiempo en que la placa esté siendo atacada por el ácido, ya que si no eliminará todo el cobre de la misma.

Después la placa se lavará con abundante agua y posteriormente con alcohol. Una vez hecho esto estará lista nuestra placa de circuito impreso.

4.4.2 Método de fresado y taladrado

Con este método se utilizará la máquina de control numérico “Bungard CCD” que se muestra en la siguiente figura:

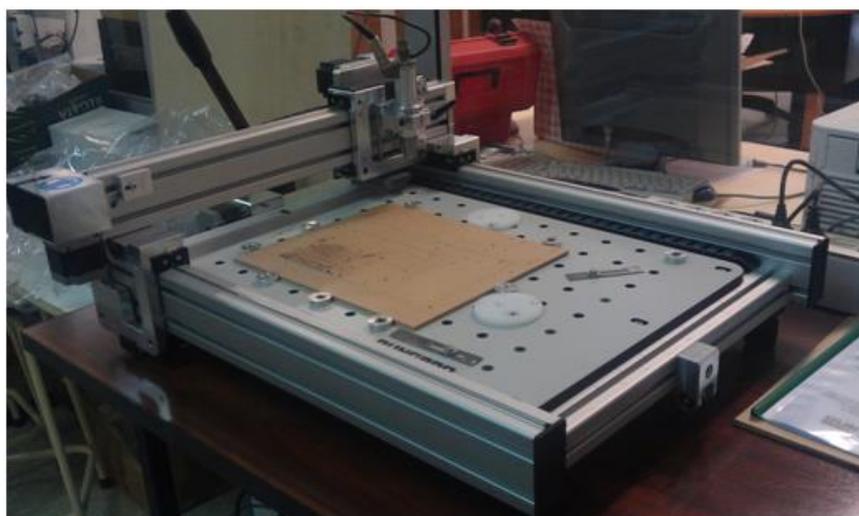


Figura 53: Máquina de Control Numérico Bungard CCD

Para realizar la placa PCB con este método se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Clearance (distancia entre pistas) mínimo de 13 milésimas de pulgada (mil).
- Pistas con un grosor mínimo de 14mil.

Para realizar el fresado y taladrado se necesitan los archivos con extensión .gpi, que serán generados con la herramienta “Cam Processor” del programa “Eagle”.

4.4.2.1 Cam Processor

Primero se ha de elegir el dispositivo de salida, en nuestro caso es “GERBER_RS274X”. Una vez elegido el dispositivo se añadirán las distintas capas, que se utilizan para crear la placa PCB con la máquina Bungard CCD.

Se generarán cinco archivos que serán los que componen la placa. Estos están incluidos en el contenido del CD y son los siguientes:

- **DIMENSION:** Archivo que delimita las dimensiones de la placa PCB.
- **TALADROS:** Archivo donde se encuentran las coordenadas de los taladros y vías.
- **TOP:** Archivo que contiene las pistas de la cara superior del PCB.
- **BOTTON:** Archivo que contiene las pistas de la cara inferior del PCB.
- **SERIGRAFIA:** Archivo donde se encuentra la localización de los componentes.

En la figura 54 se muestra una captura de la aplicación Cam Processor donde se pueden observar estas capas:

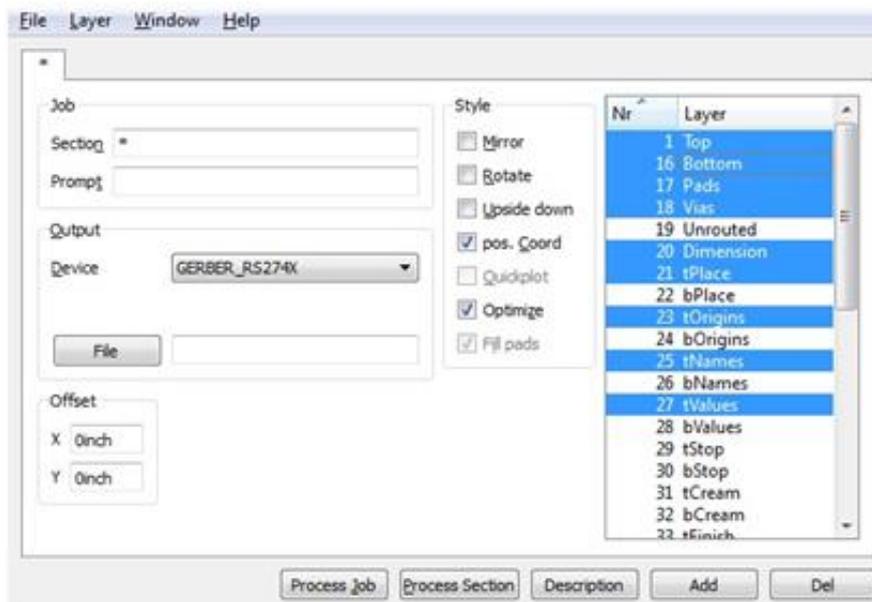


Figura 54: Captura del programa CAM Processor

En la figura 55 y en la figura 56 se muestran unas capturas del programa Router Pro donde se observa cómo se crea el archivo de taladros y el de las pistas del prototipo de la placa PCB.

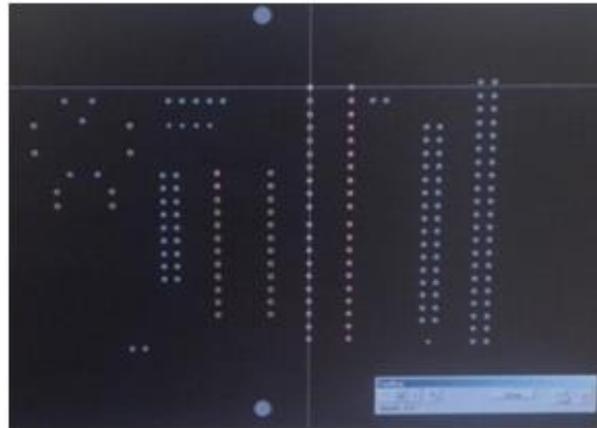


Figura 55: Captura del programa RouterPro haciendo taladros

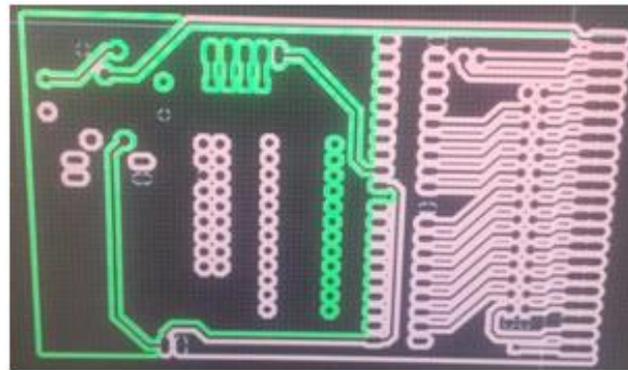


Figura 56: Captura del programa RouterPro haciendo el fresado de las pistas

La siguiente figura muestra la máquina Bungard CCD en pleno proceso de fabricación.

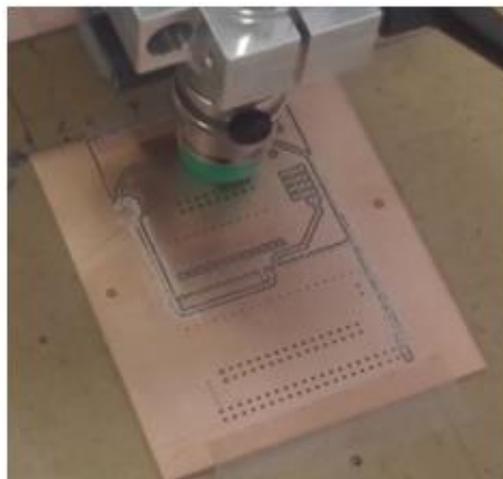


Figura 57: Máquina Bungard CCD en proceso de fabricación

5. DISEÑO DEL SOFTWARE

5.1 Introducción

Para realizar el diseño de los diagramas se ha utilizado el software “Visio”, que se ha explicado en el apartado 3.3.

5.2 Diagramas de flujo

A continuación se muestran los diagramas de flujo de las diferentes funciones del programa, se han clasificado en diferentes tipos según sean funciones necesarias, principales, secundarias así como interrupciones.

Las funciones necesarias son las funciones `setup()` y `loop()`, ambas son imprescindibles para que el programa trabaje.

Las funciones principales serán aquellas funciones que se encuentren dentro de la función `loop()` y se corresponden con acciones de los pulsadores del Control Manual.

Las funciones secundarias serán las encargadas de complementar a las funciones principales modulando así el programa.

Las interrupciones serán funciones especiales que se atenderán inmediatamente por el procesador y se encargarán de realizar tareas específicas que requieran una mayor atención.

5.2.1 Funciones necesarias

- **Función setup().**

Entradas: --.

Salidas: --.

Descripción: La función setup() se establece cuando se inicia un programa (sketch). Se emplea para iniciar variables, establecer el estado de los pines, inicializar librerías, etc. Esta función se ejecutará una única vez después de que se conecte la placa Arduino a la fuente de alimentación, o cuando se pulse el botón de reinicio de la placa.

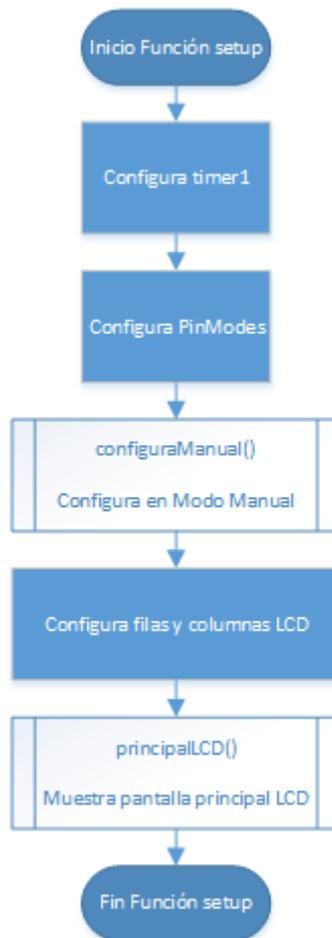


Diagrama 1: Función setup()

- **Función loop().**

Entradas: manual, motorOcupado.

Salidas: --.

Descripción: Después de crear la función setup(), la cual inicializa y prepara los valores iniciales, la función loop() hace justamente lo que su nombre sugiere, por lo tanto se ejecuta consecutivamente, permitiéndole al programa variar y responder.

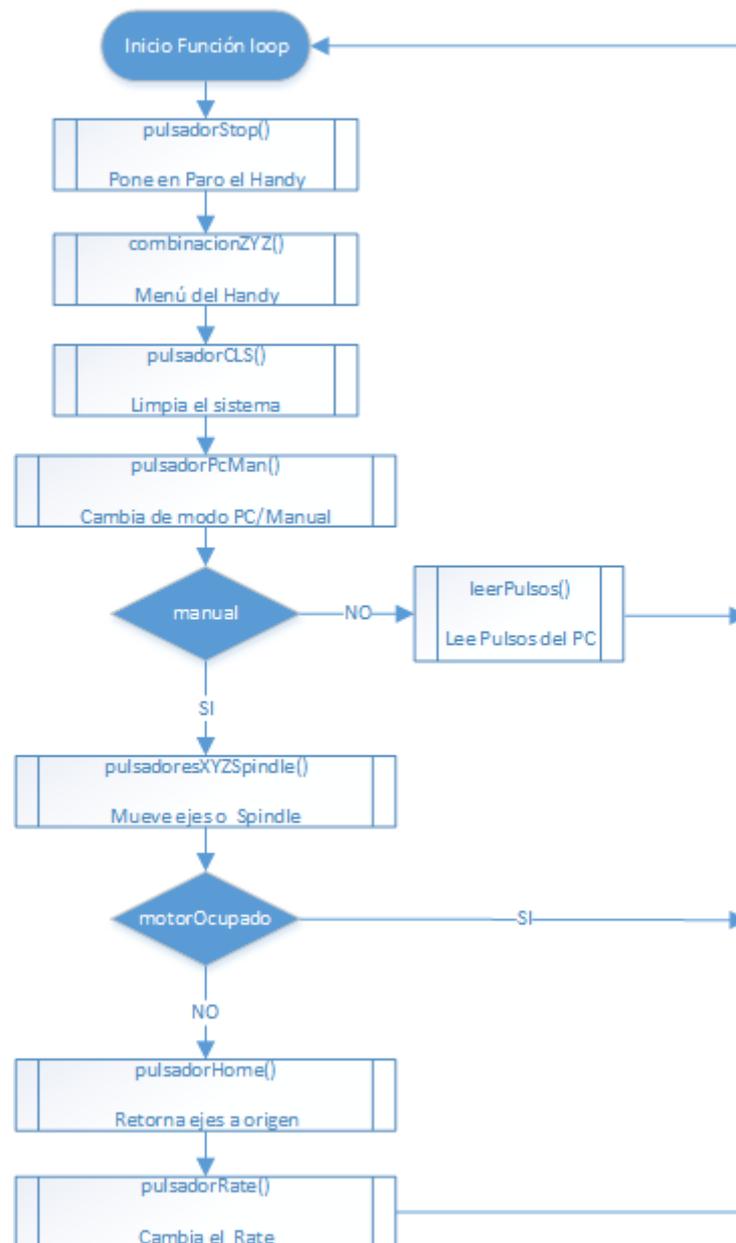


Diagrama 2: Función loop()

5.2.2 Funciones principales

- **Función combinacionXYZ().**

Entradas: mModes, x_button, y_button, z_button, c_button, cls_button y pman_button.

Salidas: mModes, imprime en LCD.

Descripción: La función combinacionXYZ() muestra el menú de selección de los mModes (MicroStep Modes) en pantalla si la combinación de pulsadores X, Y, Z es presionada durante al menos tres segundos.

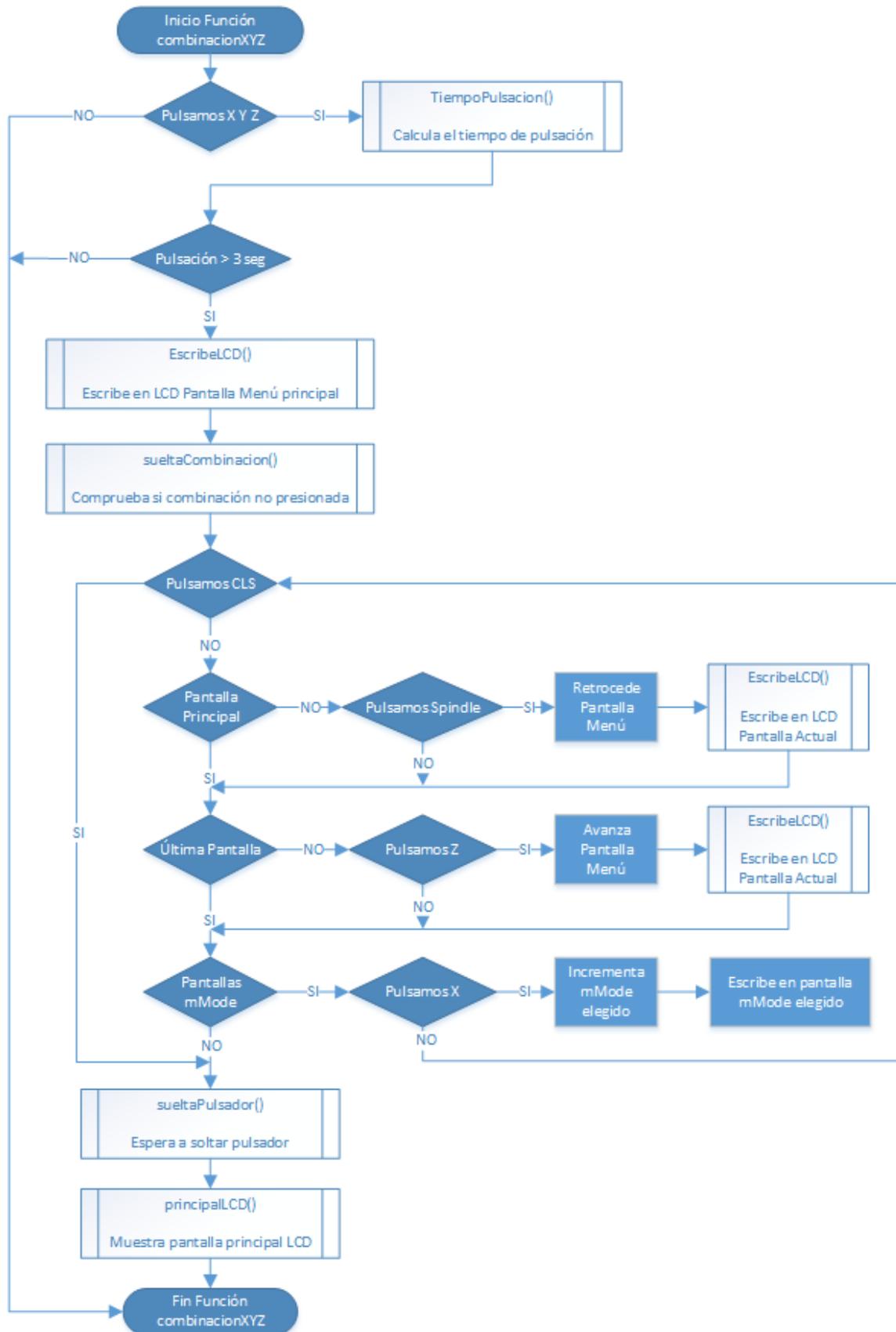


Diagrama 3: Función combinacionXYZ()

- **Función pulsadorCls().**

Entradas: cls_button, tiempoPrevio, tiempoTranscurrido.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función pulsadorCls() es la encargada de limpiar la pantalla y de inicializar las variables del sistema llamando a la función secundaria reset() si el pulsador CLS es presionado durante al menos un segundo y acto seguido se pulsan tres veces CLS en los próximos cinco segundos.

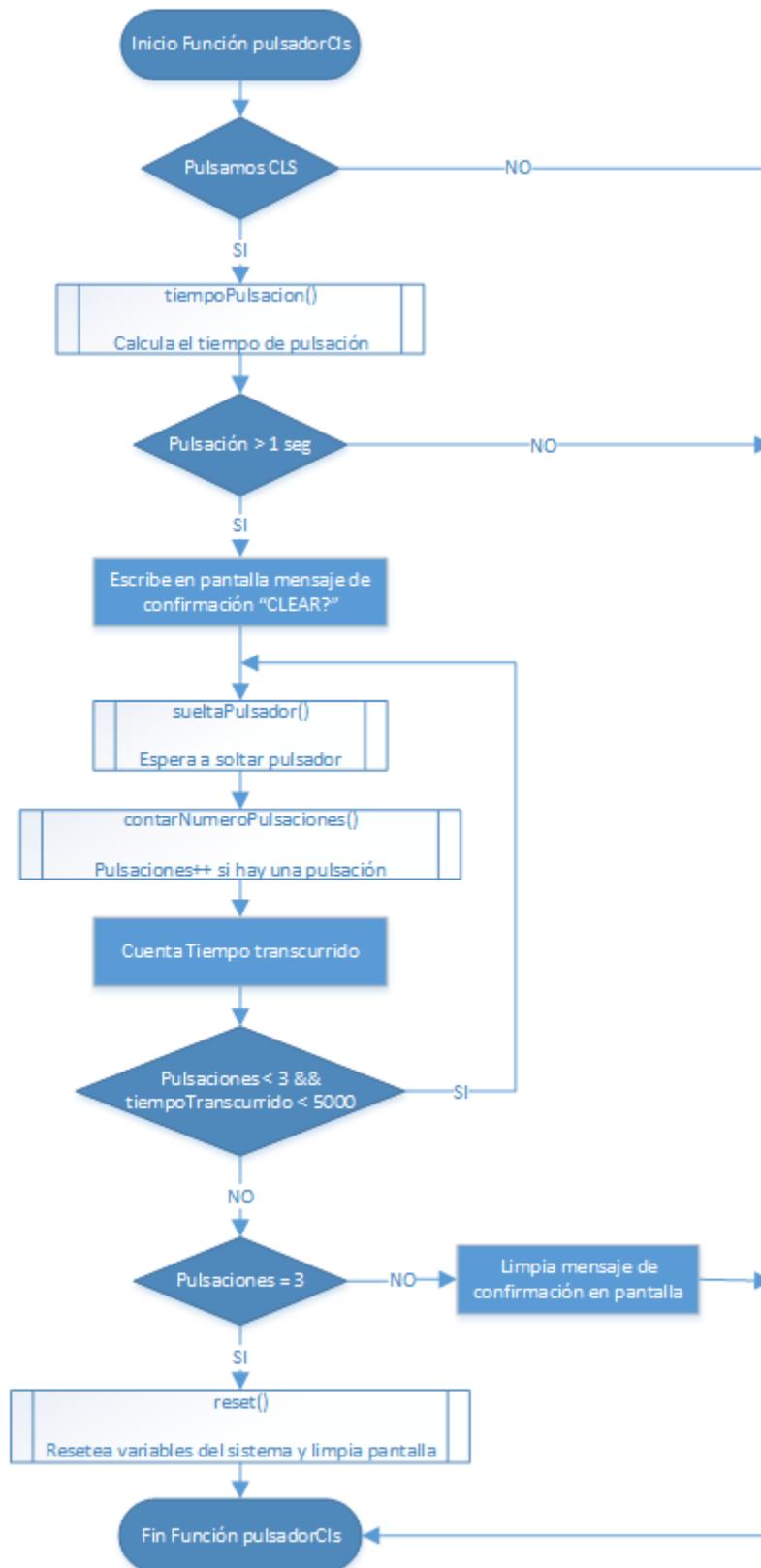


Diagrama 4: Función pulsadorCls()

- **Función pulsadoresXYZCSPINDLE().**

Entradas: mModes, motorOcupado, spindleOn, x_button, y_button, z_button, c_button, spindle_button.

Salidas: motorOcupado, Imprime en LCD.

Descripción: La función pulsadoresXYZCSPINDLE() se encarga de seleccionar los datos del eje correspondiente al pulsador X, Y, Z o C mediante la función secundaria seleccionarDatosEje() y mandar pulsos al motor con la función secundaria mandarPulsos(), así como de activar el motor spindle con el pulsador SPINDLE.

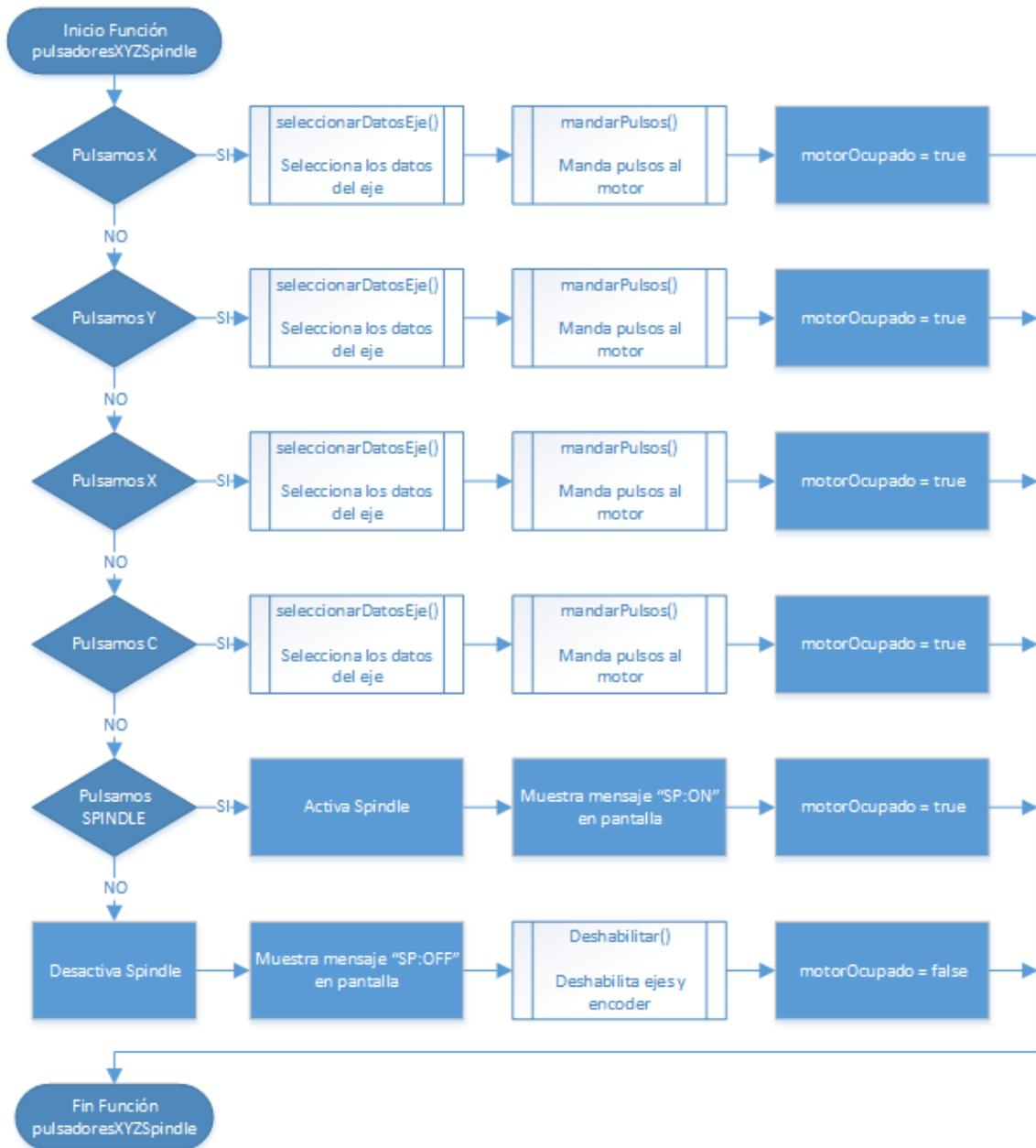


Diagrama 5: Función pulsadoresXYZSPINDLE()

- **Función pulsadorHome().**

Entradas: home_button, contador, tiempoPrevio, tiempoTranscurrido.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función pulsadorHome() es la encargada de retornar los ejes del CNC llamando a la función secundaria seleccionaEjesOrigen() si el pulsador HOME es presionado durante al menos un segundo y acto seguido se realizan tres pulsaciones sobre el pulsador HOME en los próximos cinco segundos.

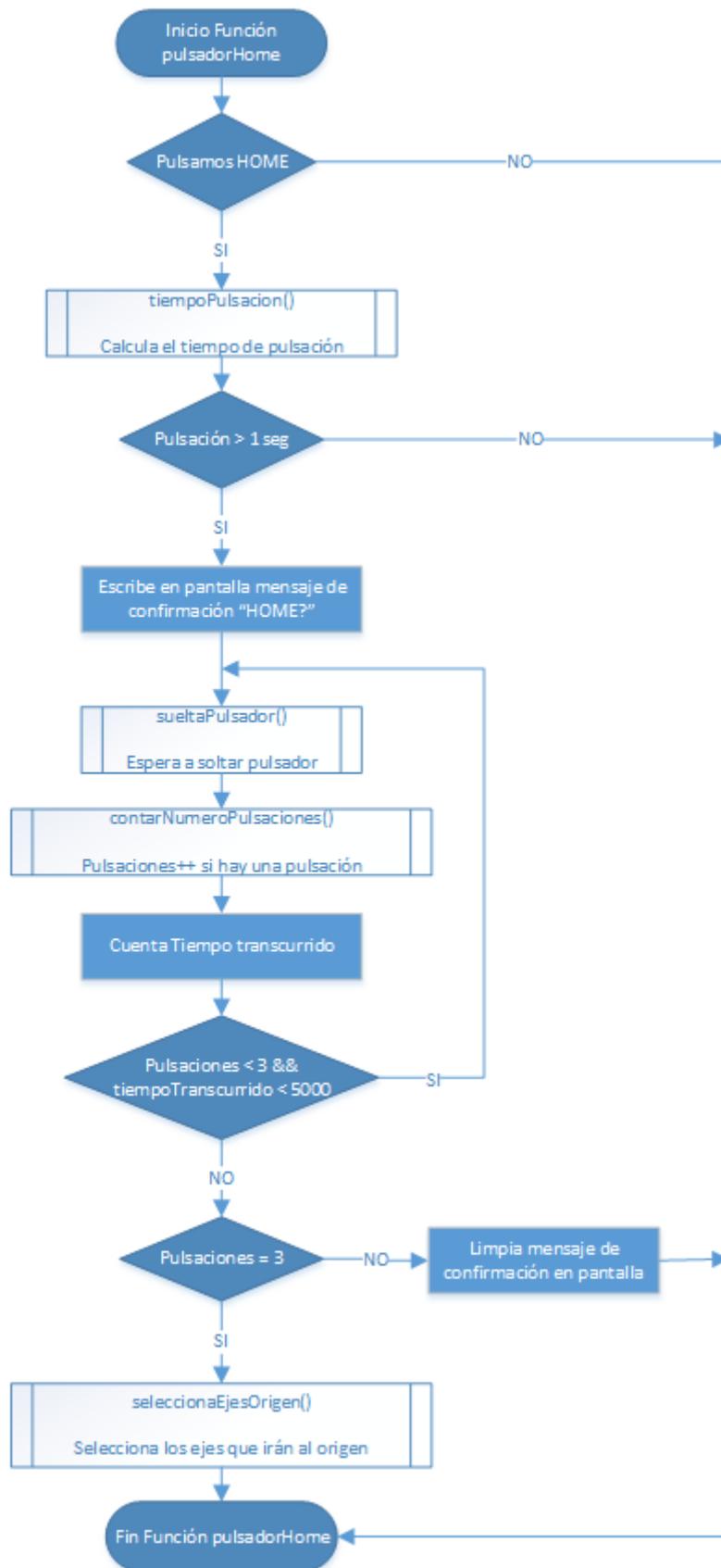


Diagrama 6: Función pulsadorHome()

- **Función pulsadorPcMan().** (No implementada)

Entradas: pman_button, manual.

Salidas: manual.

Descripción: La función pulsadorPcMan() se encarga de alternar el modo PC y el modo manual del Control Manual cuando se presiona el pulsador PcMan llamando a las funciones configuraPC() y configuraManual() respectivamente, no implementada en el proyecto actual.

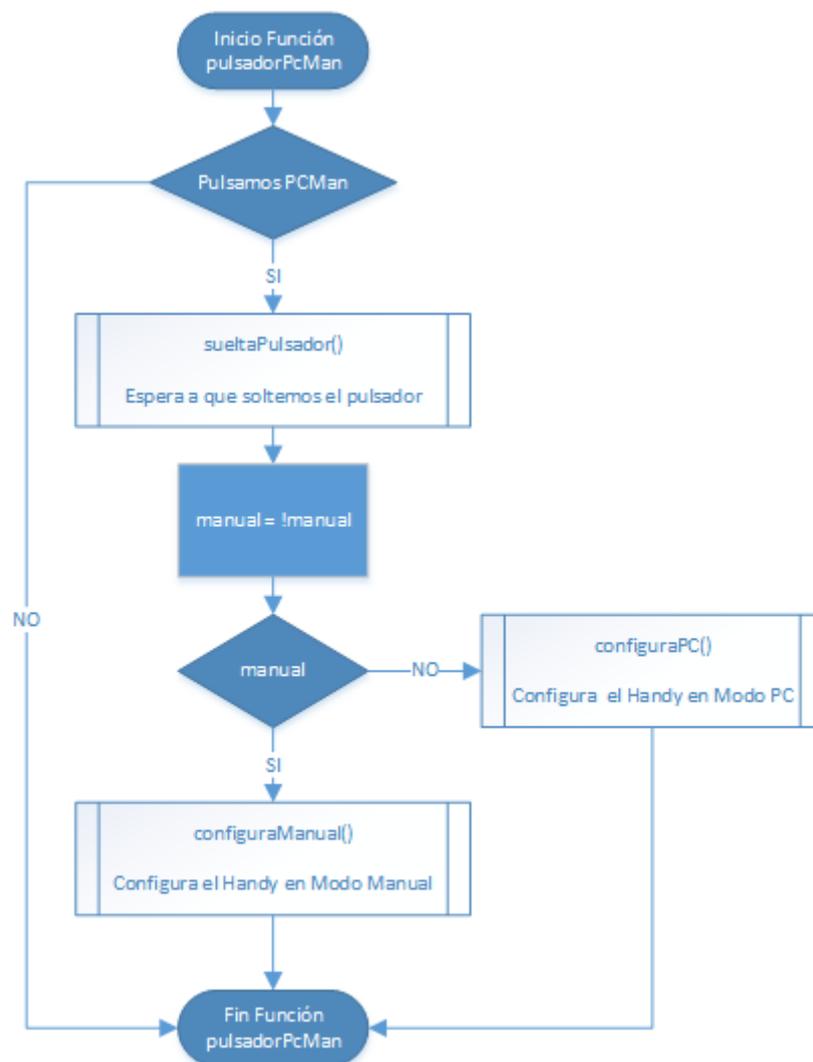


Diagrama 7: Función pulsadorPcMan()

- **Función pulsadorRate().**

Entradas: rate_button, rate.

Salidas: rate, Imprime en LCD.

Descripción: La función pulsadorRate() se encarga de cambiar el valor del rate cada vez que se presiona el pulsador RATE, los valores disponibles del multiplicador serán x1, x2, x5, x10 siendo x1 el multiplicador por defecto.

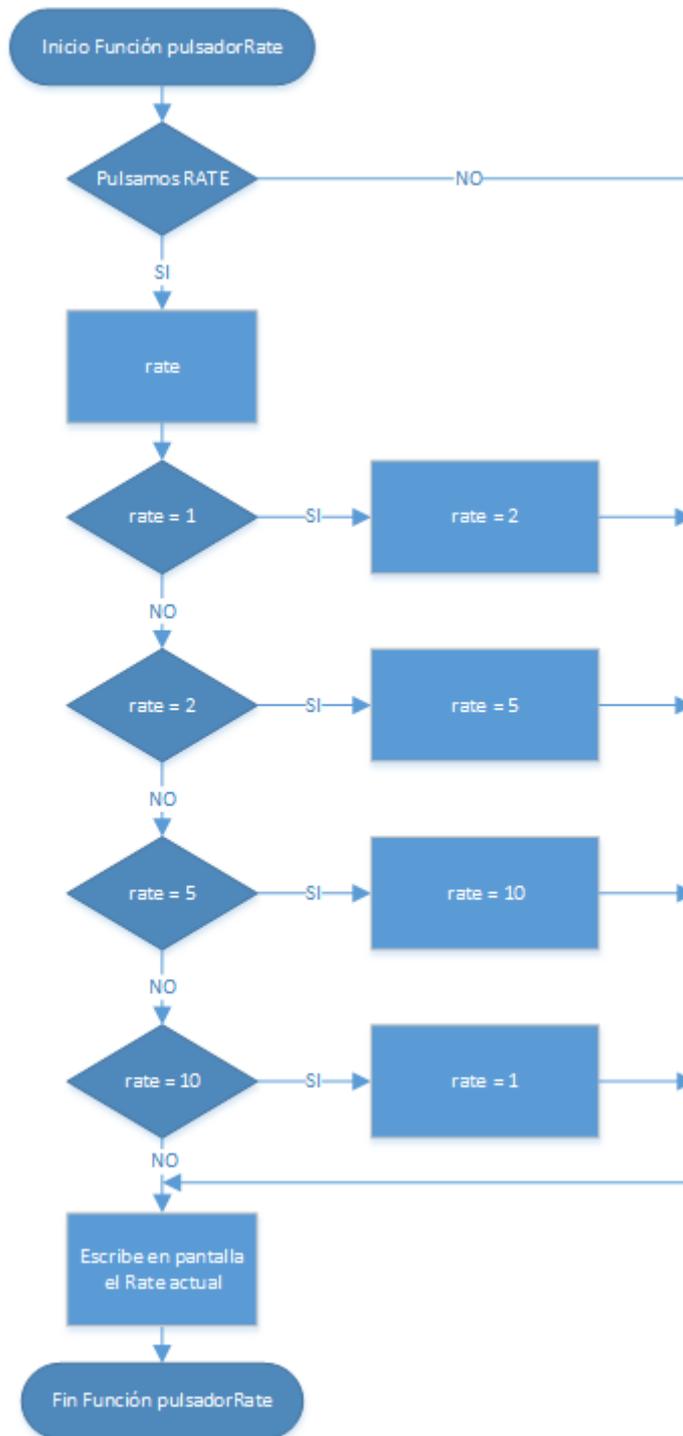


Diagrama 8: Función pulsadorRate()

- **Función pulsadorStop().**

Entradas: stop_button, cls_button, rate_button, Stop_in.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: la función pulsadorStop() se encarga de deshabilitar el Control Manual cuando se presiona el pulsador STOP, se necesitará presionar y soltar los pulsadores CLS, RATE y STOP para rearmar el Control Manual.

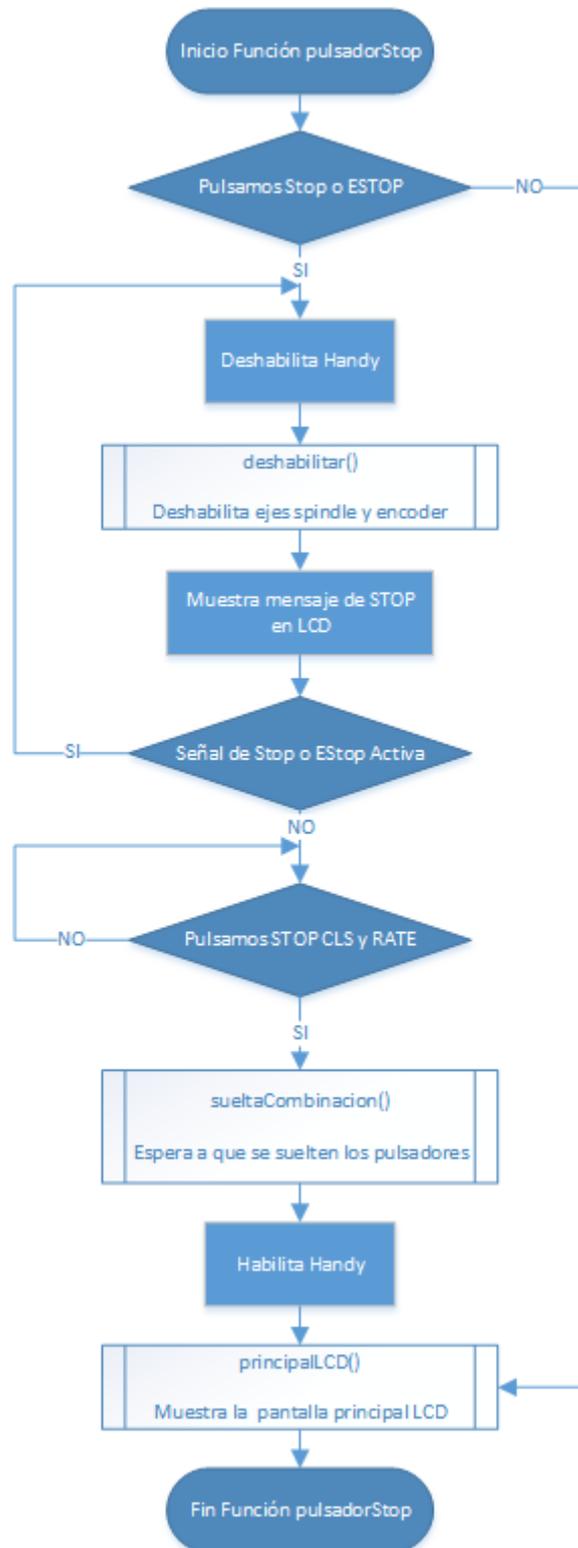


Diagrama 9: Función pulsadorStop()

5.2.3 Funciones secundarias

- **Función configuraManual().**

Entradas: --.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función configuraManual() configura el Control Manual en modo manual y configura los pines como salidas hacia el CNC, es usada en el setup() y en la función principal pulsadorPcMan().



Diagrama 10: Función configuraManual()

▪ **Función ConfiguraPC().**

Entradas: --.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función configuraPC() configura el Control Manual en modo PC y configura los pines como entradas desde el CNC es usada en la función principal pulsadorPcMan().

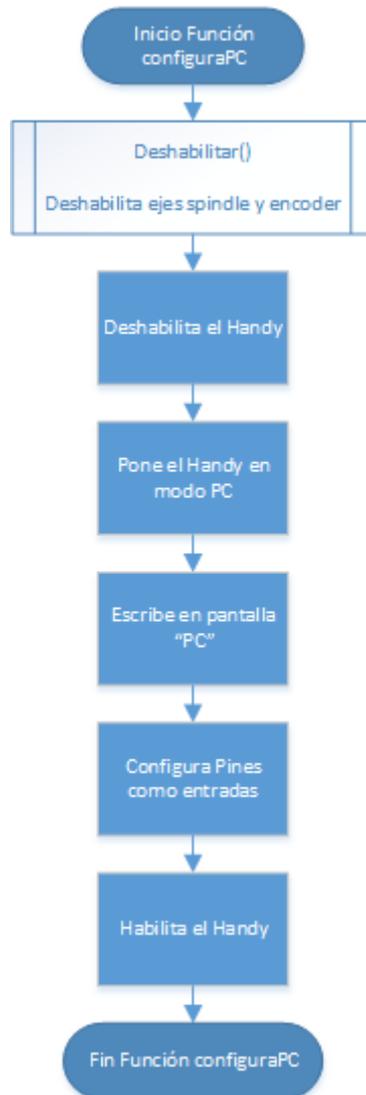


Diagrama 11: Función configuraPC()

▪ **Función contarNumeroPulsaciones().**

Entradas: numeroPulsaciones, pulsador.

Salidas: numeroPulsaciones.

Descripción: La función contarNumeroPulsaciones() es la encargada de contar el número de veces que se presiona un determinado pulsador, es usada en las funciones principales pulsadorHome() y pulsadorCls().

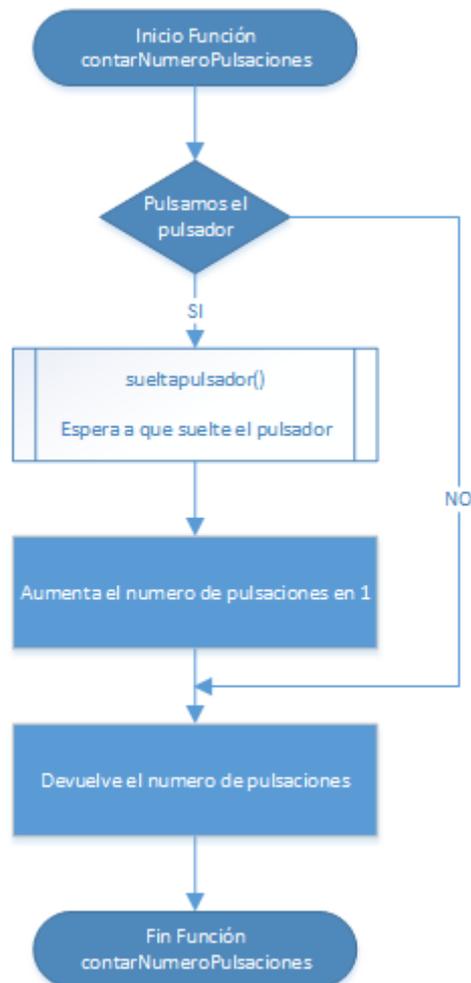


Diagrama 12: Función contarNumeroPulsaciones()

- **Función deshabilitar().**

Entradas: --.

Salidas: motorOcupado, spindleOn, posicionEncoder.

Descripción: La función deshabilitar() se encarga de deshabilitar ejes, spindle y encoder, es usada en las funciones principales pulsadoresXYZSpindle(), configuraPC() y pulsadorStop().

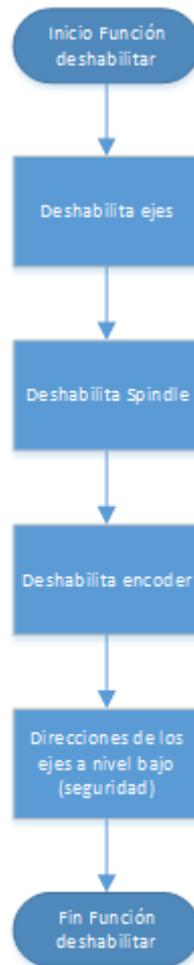


Diagrama 13: Función deshabilitar()

▪ **Función posicionEje().**

Entradas: numeroEje, mModes, contador.

Salidas: posicion.

Descripción: La función posicionEje() calcula la posición del eje en base a los pulsos que ha recibido el motor. Es usada en las funciones principalLCD() e ISR().

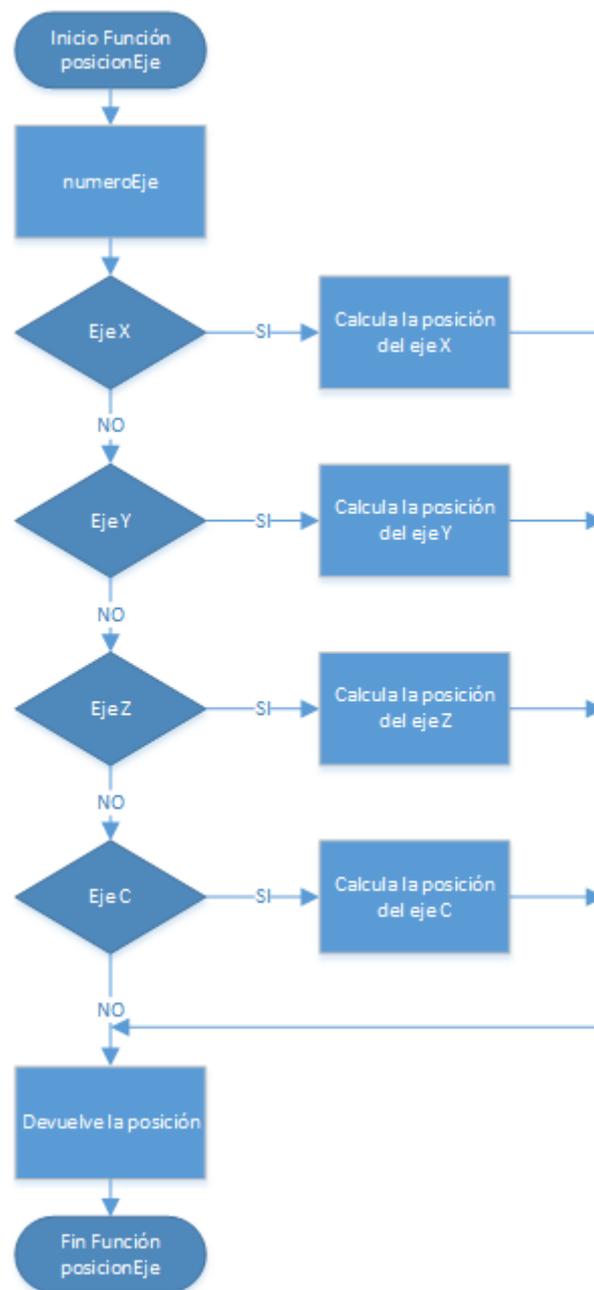


Diagrama 14: Función posicionEje()

- **Función escribeLCD().**

Entradas: codigo, mModes.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función escribeLCD() escribe en la pantalla LCD el mensaje del menú del Control Manual correspondiente al código recibido de la función principal combinacionXYZ().

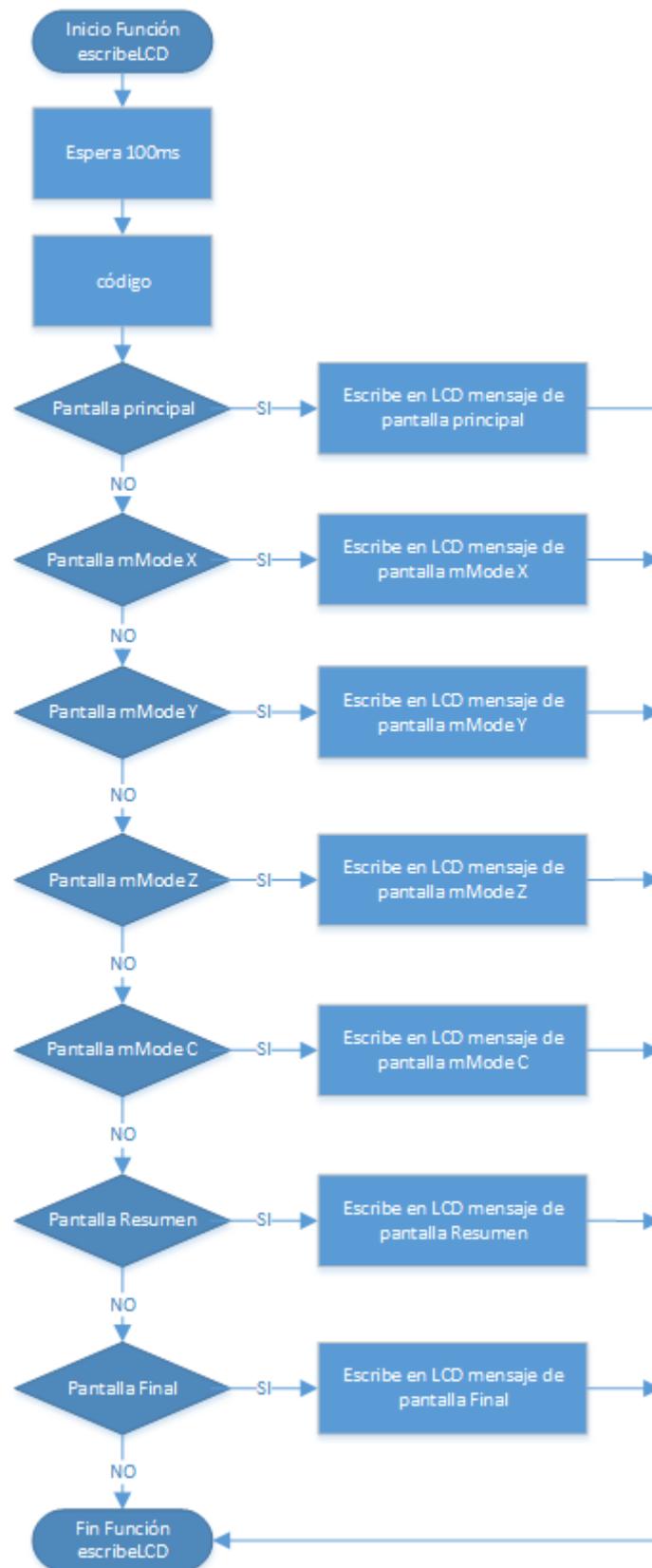


Diagrama 15: Función escribeLCD()

▪ **Función principalLCD().**

Entradas: rate.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función principalLCD() limpia la pantalla LCD y muestra las etiquetas generales donde se imprimirán los valores correspondientes a posición, rate, velocidad etc. Es usada en las funciones principales combinacionXYZ(), pulsadorStop() y en las funciones reset() y setup().

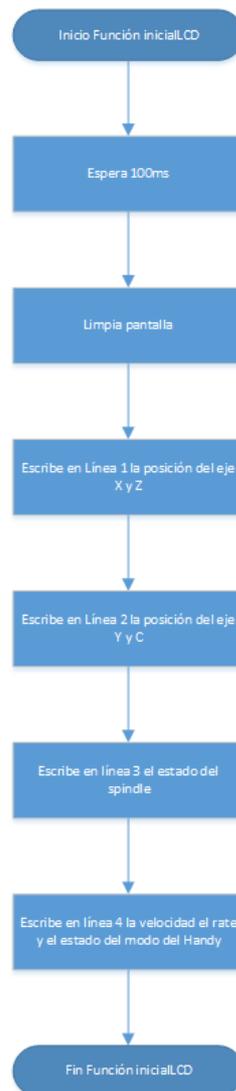


Diagrama 16: Función principalLCD()

▪ **Función mandarPulso().**

Entradas: mMode, contador, datosEje, posicionEncoder.

Salidas: contador.

Descripción: La función mandarPulso() se encarga de enviar pulsos al motor con un ancho de pulso calculado previamente por la función calculaTiempoPulso() es usada en la función principal pulsadoresXYZSpindle().

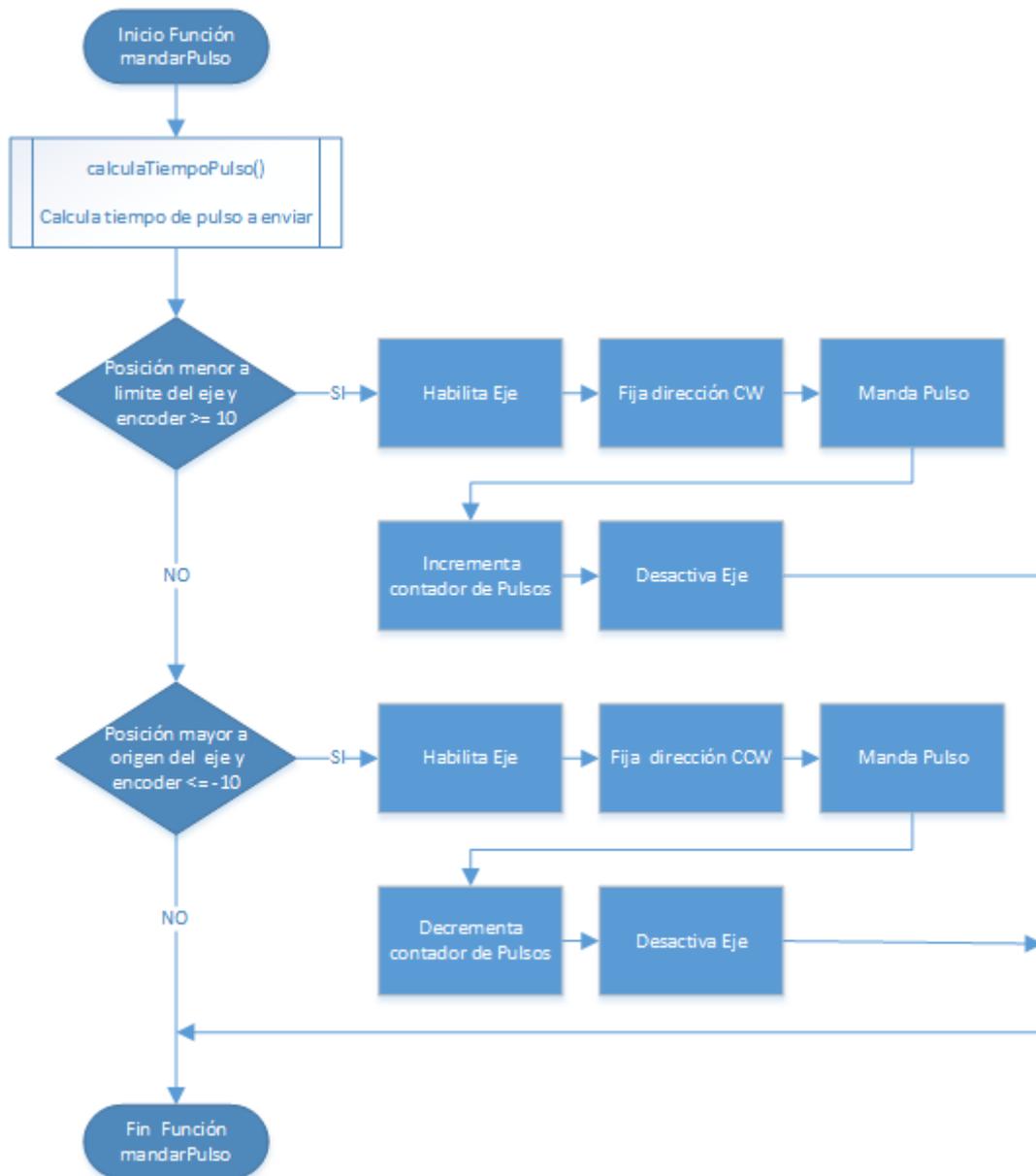


Diagrama 17: Función mandarPulso()

- **Función reset().**

Entradas: --.

Salidas: rate, contador, posicionEncoder.

Descripción: La función reset() es llamada por la función principal pulsadorCls(), esta función inicia las variables del sistema e inicia la pantalla llamando a principalLCD().

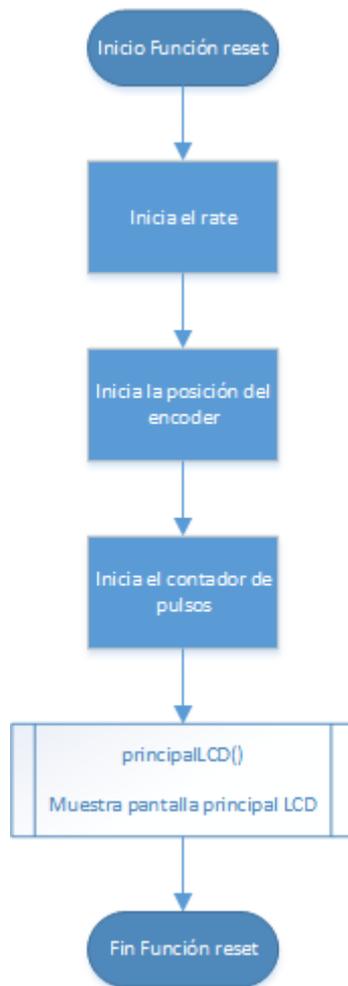


Diagrama 18: Función reset()

▪ **Función seleccionaEjesOrigen().**

Entradas: contador.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función seleccionaEjesOrigen() se encarga de seleccionar los ejes que han de retornar a origen, selecciona los datos del eje mediante seleccionaDatosEje() y retorna el eje seleccionado mediante retornarEje(), es usada en la función principal pulsadorHome().

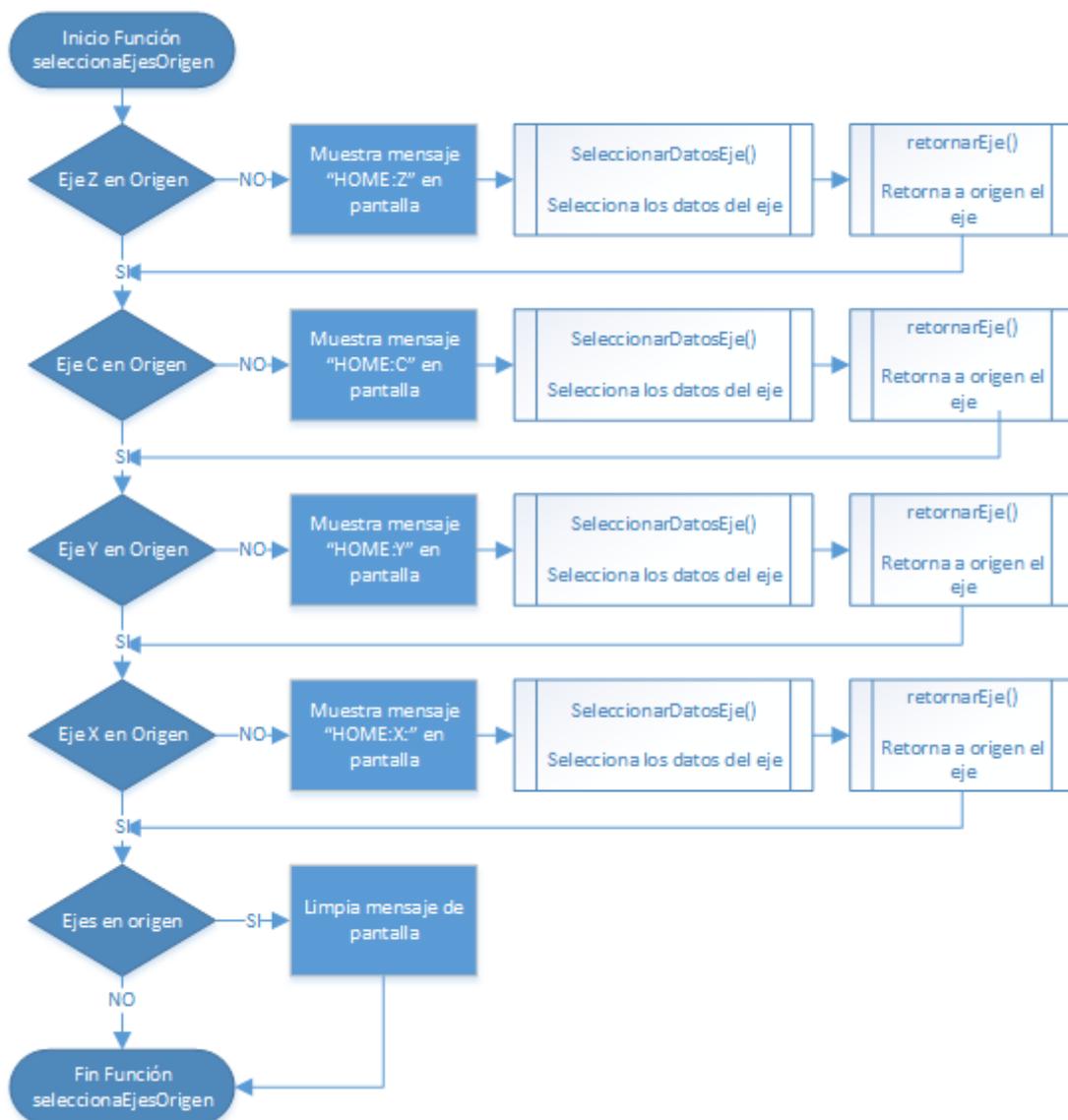


Diagrama 19: Función seleccionaEjesOrigen()

- **Función retornarEje().**

Entradas: numeroEje, contador, datosEje.

Salidas: contador.

Descripción: La función retornarEje() es la encargada de retornar el eje elegido previamente por la función seleccionaEjesOrigen().

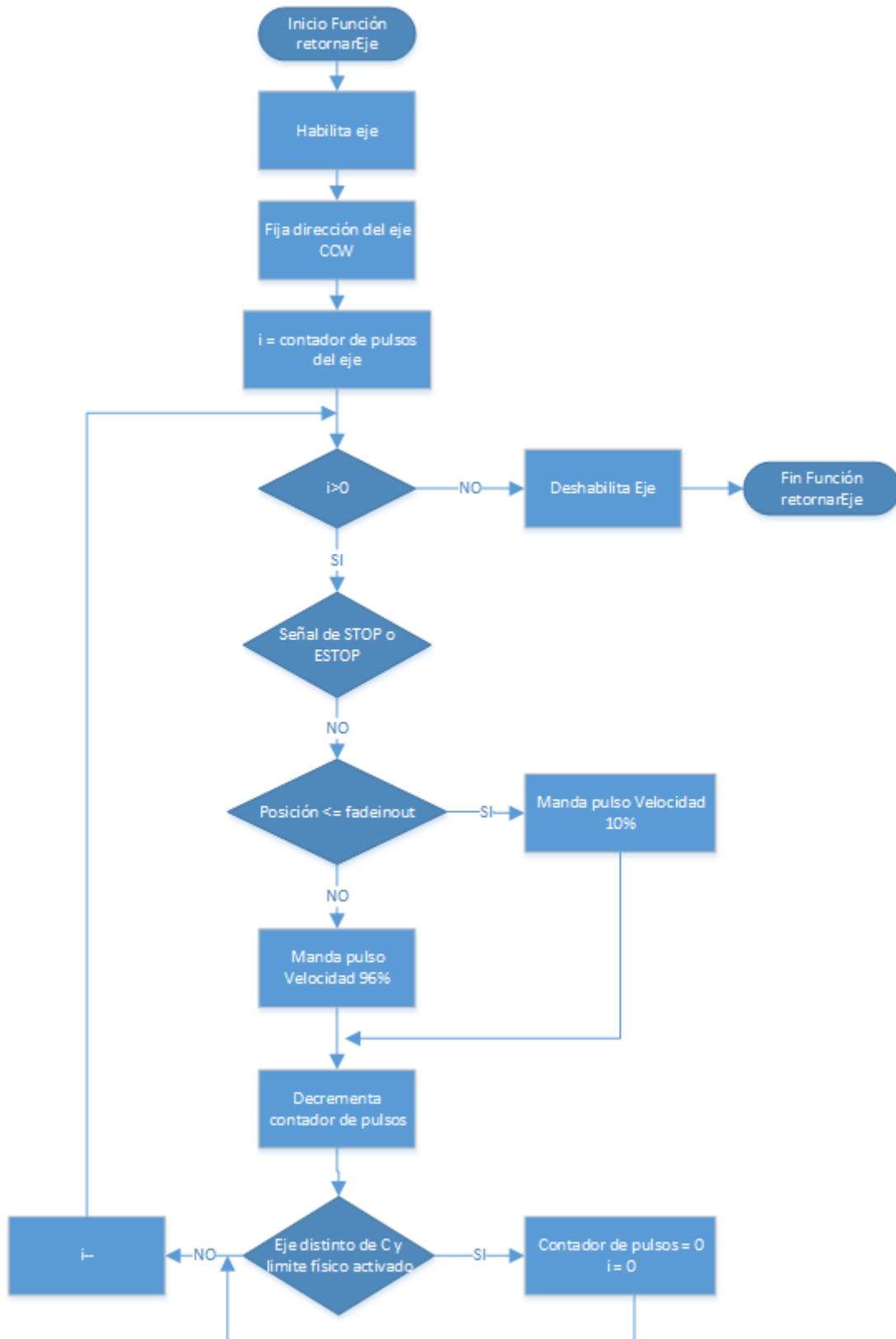


Diagrama 20: Función retornarEje()

▪ **Función seleccionarDatosEje().**

Entradas: numeroEje.

Salidas: datosEje.

Descripción: La función seleccionarDatosEje() es la encargada de asignar los datos del eje (eje, enable, dir, step, limiteSoft, limiteHard) elegido previamente por la función seleccionaEjesOrigen() o pulsadoresXYZSpindle().

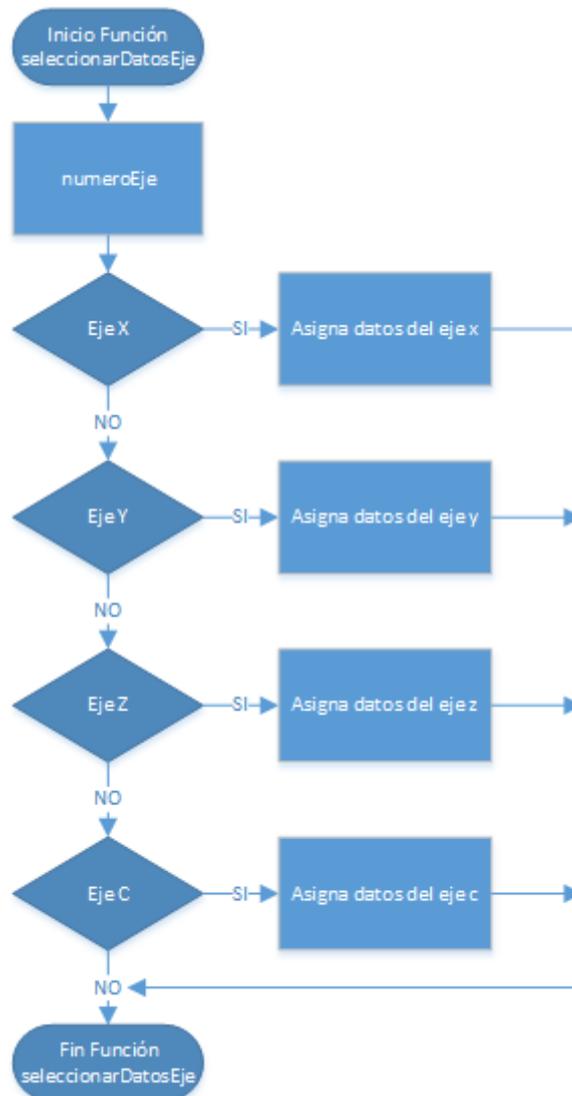


Diagrama 21: Función seleccionarDatosEje()

▪ **Función sueltaCombinacion().**

Entradas: pulsador1, pulsador2, pulsador3.

Salidas: --.

Descripción: La función sueltaCombinacion() espera a que los pulsadores que han sido presionados dejen de estarlo, es usada por pulsadorStop() y combinacionXYZ().

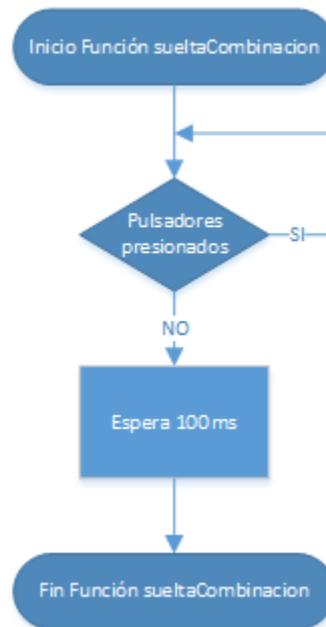


Diagrama 22: Función sueltaCombinacion()

▪ **Función sueltaPulsador().**

Entradas: pulsador.

Salidas: --.

Descripción: La función sueltaPulsador() espera a que el pulsador que ha sido presionado deje de estarlo, es usada por combinacionXYZ(), pulsadorCls(), pulsadorHome(), pulsadorPcMan() y contarNumeroPulsaciones().

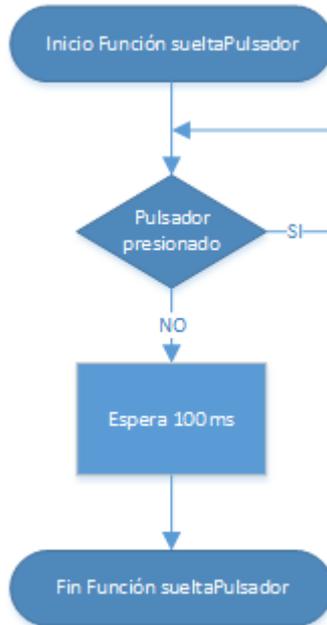


Diagrama 23: Función sueltaPulsador()

▪ **Función tiempoPulsacion().**

Entradas: tiempoDeseado, pulsador, tiempoPrevio.

Salidas: pulsacionValida.

Descripción: La función tiempoPulsacion() calcula el tiempo que mantenemos presionado un pulsador y devuelve si la pulsación es una pulsación válida o no, es usada por las funciones principales pulsadorCls() y pulsadorHome().

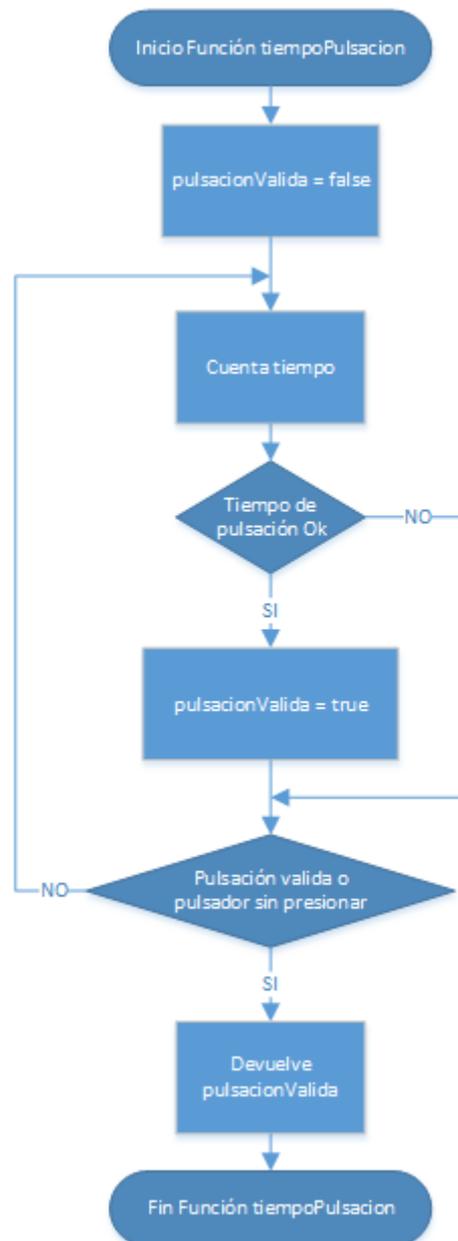


Diagrama 24: Función tiempoPulsacion()

▪ **Función tiempoPulsacionTriple().**

Entradas: tiempoDeseado, pulsador1, pulsador2, pulsador3.

Salidas: pulsacionValida.

Descripción: La función tiempoPulsacionTriple() calcula el tiempo que se tienen presionados tres pulsadores y devuelve si la pulsación es una pulsación válida o no. Es usada por la función principal combinacionXYZ().

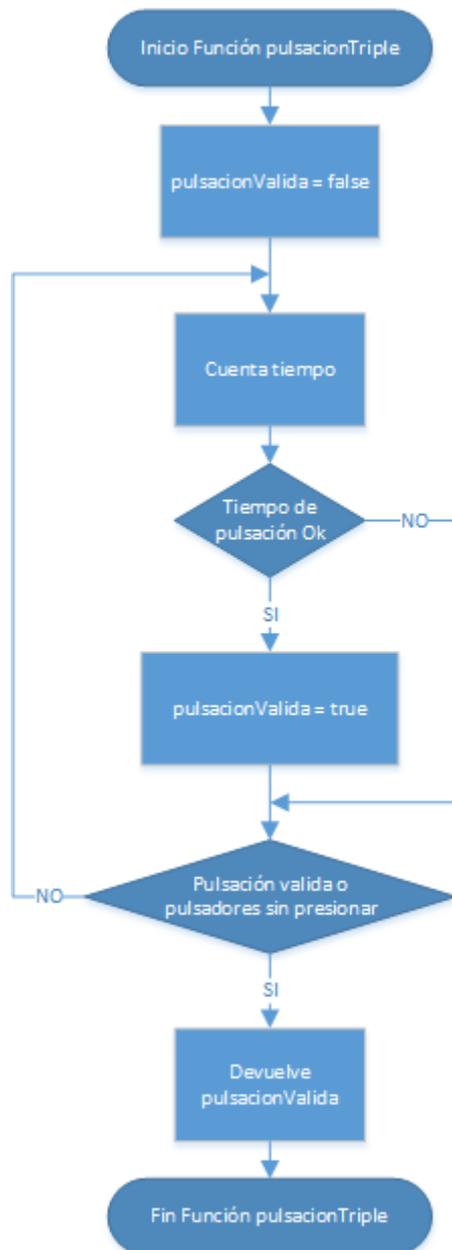


Diagrama 25: Función tiempoPulsacionTriple()

▪ **Función velocidadEjes().**

Entradas: tiempoPulso, mModes, contador, datosEje, posicionEncoder.

Salidas: velocidad, posicionEncoder.

Descripción: La función velocidadEjes() calcula la velocidad de giro de los motores en base al tiempo de pulso obtenido por la función calculaTiempoPulso(). Es usada por las funciones principalLCD() e ISR().

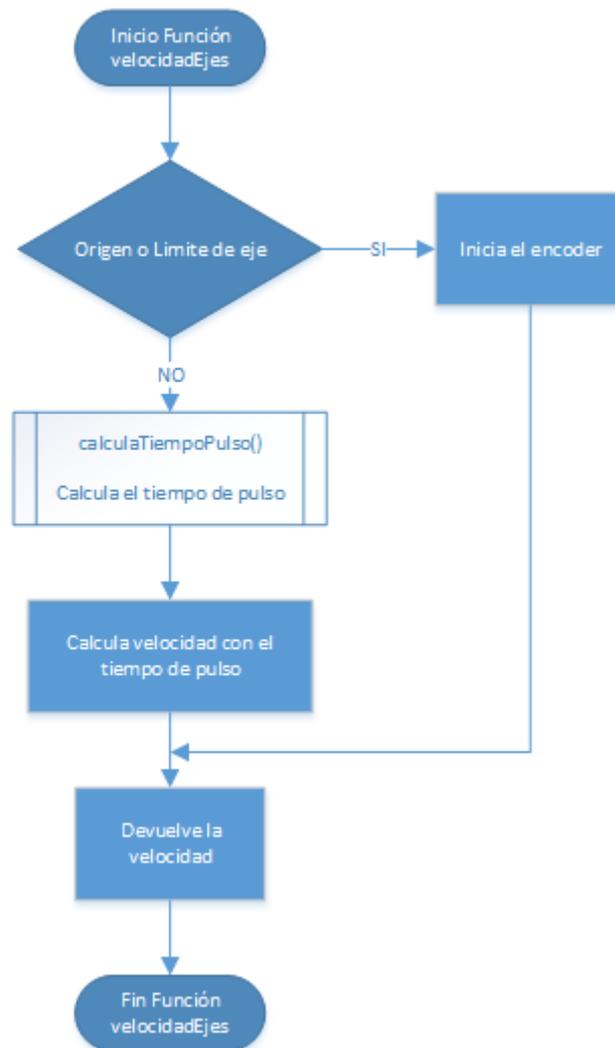


Diagrama 26: Función velocidadEjes()

▪ **Función calculaTiempoPulso().**

Entradas: rate, mModes, datosEje, posicionEncoder.

Salidas: tiempoPulso.

Descripción: La función calculaTiempoPulso() obtiene el tiempo de pulso en base a la posición del encoder para las funciones velocidadEjes() y mandarPulsos().

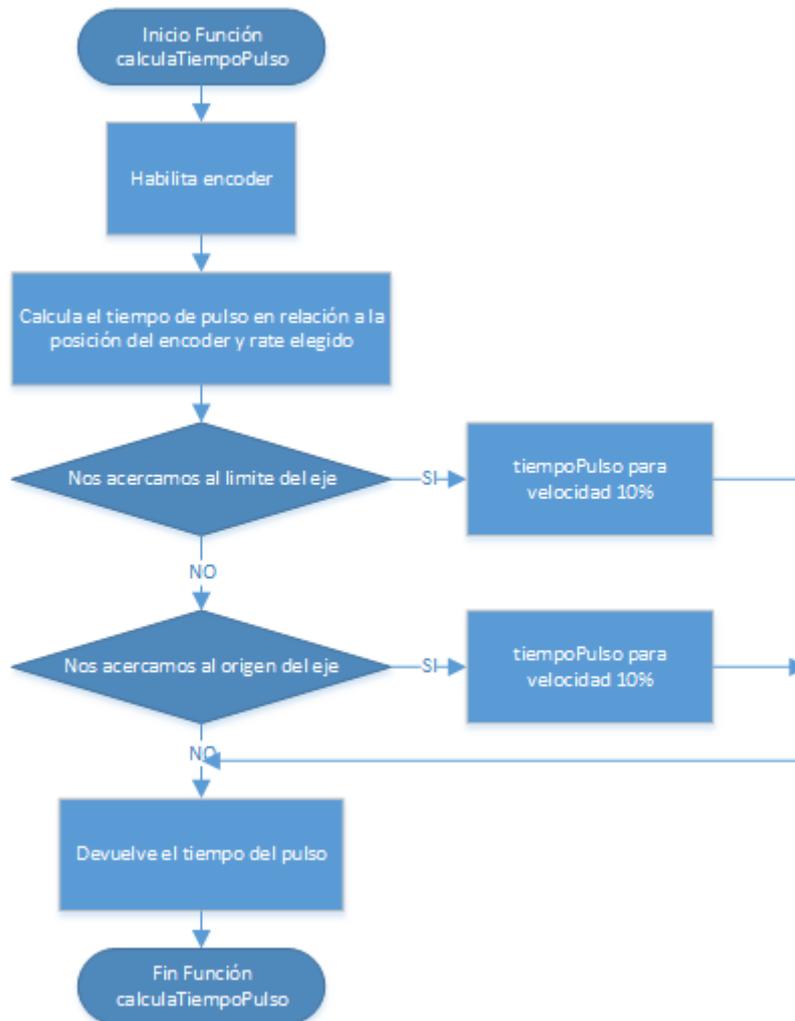


Diagrama 27: Función calculaTiempoPulso()

5.2.4 Interrupciones

- **Función encoderPinA().**

Entradas: posicionEncoder, rate.

Salidas: posicionEncoder.

Descripción: La función encoderPinA() atiende al canal A del encoder se encarga en combinación con la función encoderPinB() de incrementar o decrementar la posición del encoder.

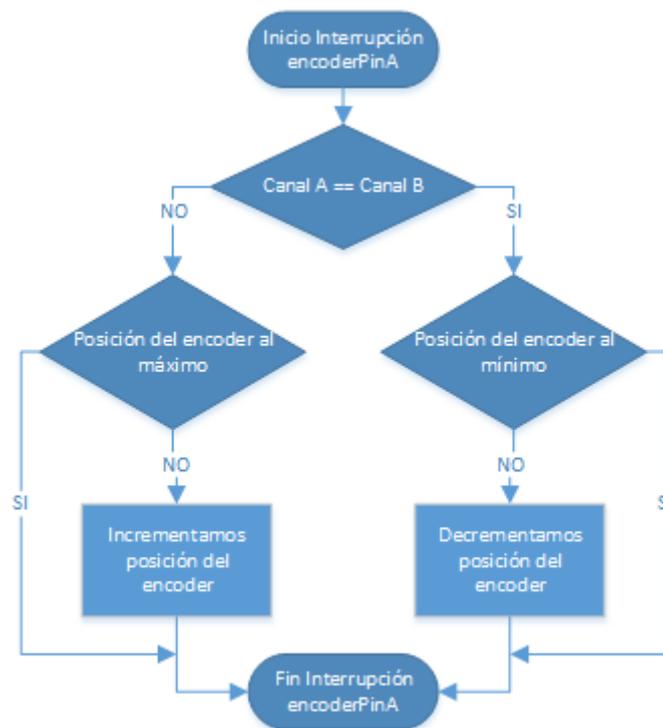


Diagrama 28: Función encoderPinA()

▪ **Función encoderPinB().**

Entradas: posicionEncoder, rate.

Salidas: posicionEncoder.

Descripción: La función encoderPinB() atiende al canal A del encoder se encarga en combinación con la función encoderPinA() de incrementar o decrementar la posición del encoder.

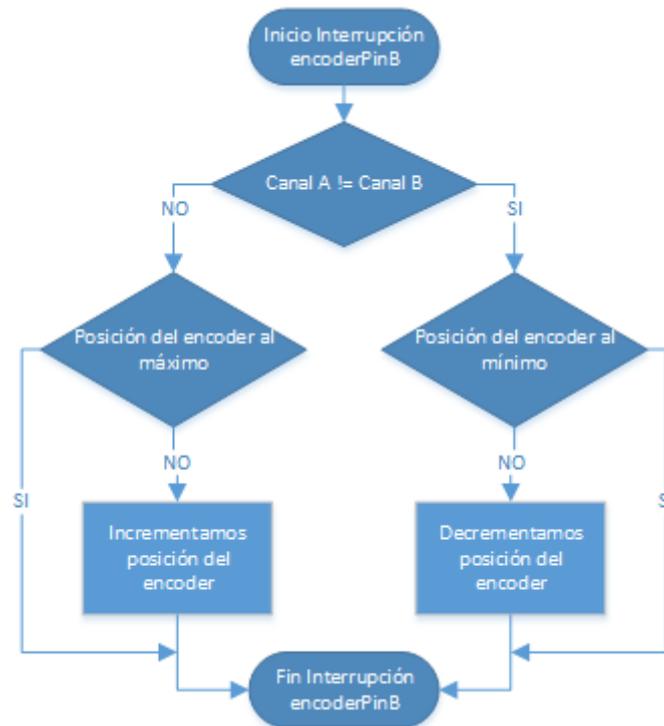


Diagrama 29: Función encoderPinB()

▪ **Función ISR().**

Entradas: TIMER1_COMPA_vect.

Salidas: Imprime en LCD.

Descripción: La función ISR() (Rutina de Servicio de Interrupciones) es una función que nos permite hacer interrupciones internas, en este proyecto está configurada para que actualice el LCD cada 100ms mostrando los valores de la posición de los ejes así como la velocidad.

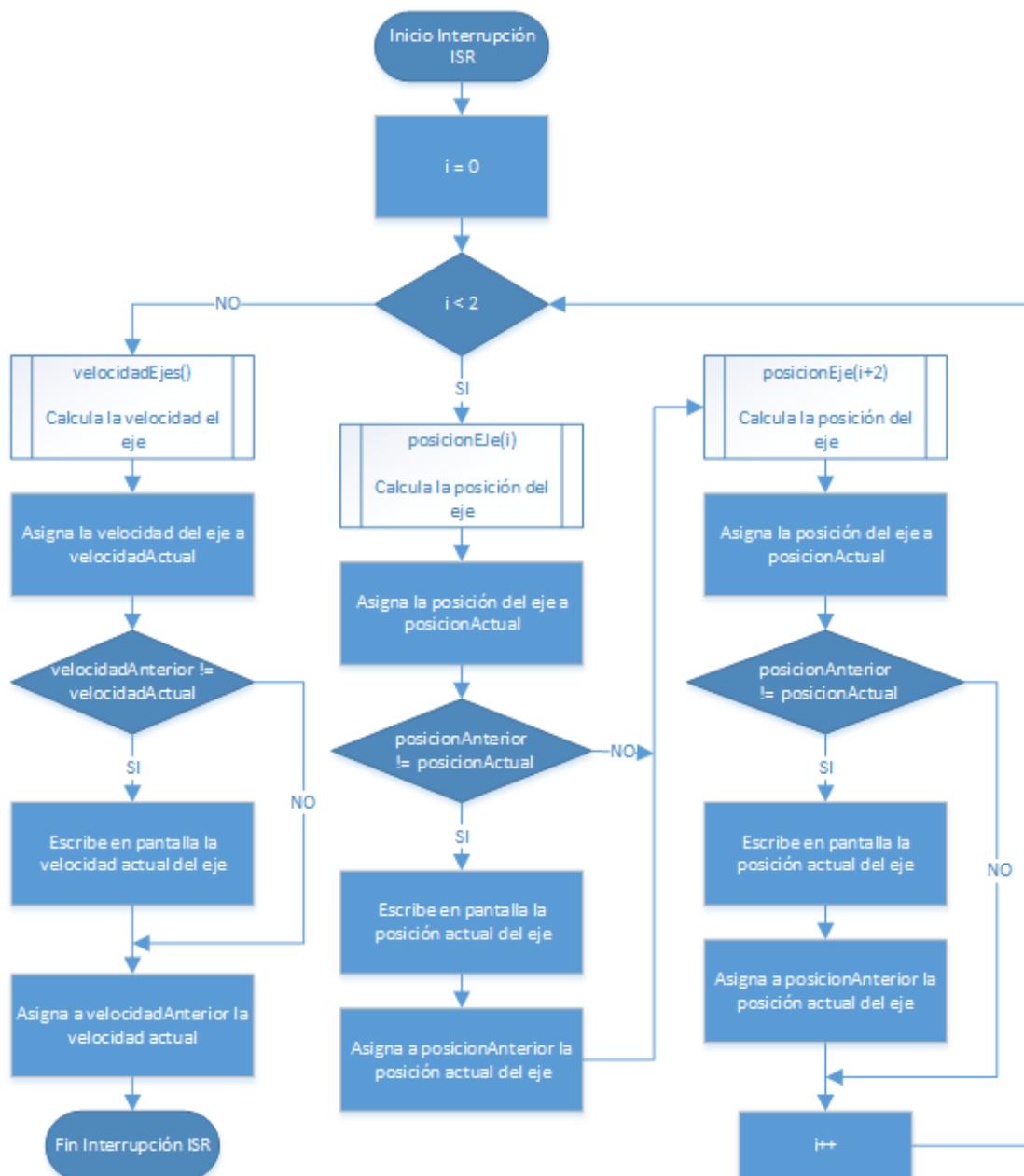


Diagrama 30: Función ISR()

6. CÁLCULOS

6.1 Transmisión de los ejes

1. Piñón motor 16 dientes paso 2,03mm (0.08").
2. Corona 80 dientes paso 2.03mm (0.08").
3. Correa síncrona BANDO 100 MXL (100 dientes x paso 0.08" = 8").
4. Piñón arrastrado 10 dientes paso 5.08 (0.2").
5. Motor 1.8° (200 pasos por vuelta).

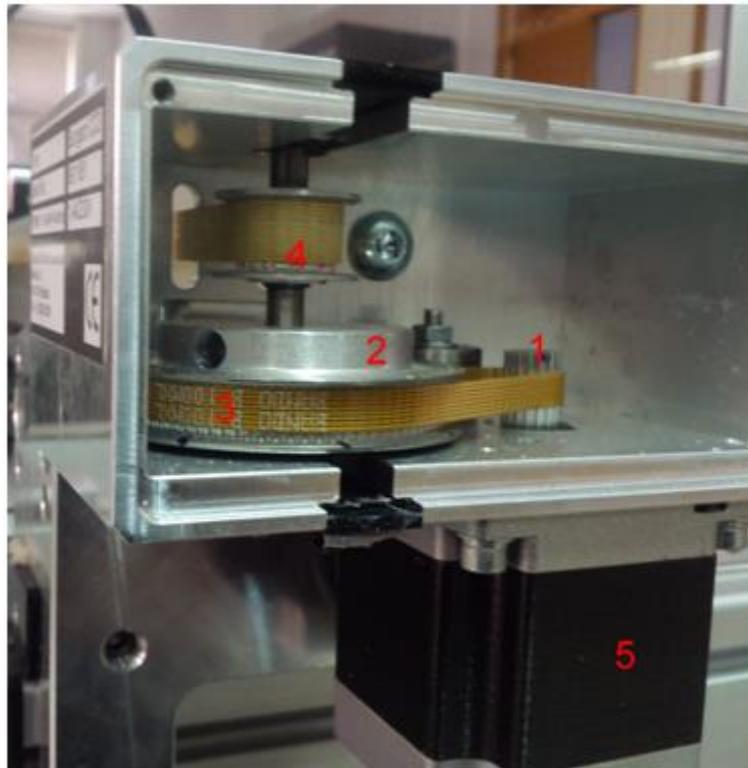


Figura 58: Transmisión de los ejes

La relación de transmisión será $80/16 = 5$ entre (1) y (4), luego 5 vueltas del motor será una vuelta del piñón arrastrado (5,08mm), por lo tanto un diente del piñón arrastrado se corresponderá con media vuelta de motor, es decir $180^\circ \rightarrow 100$ pasos, luego 1 paso de motor equivale a $5.08/100 = 0.0508$ mm, dato que asignamos como constante en nuestro programa para su posterior uso en el cálculo de la posición del eje.

```
#define xy_desp 0.0508 // 1 paso de motor con H_Mode 1 = 0,0508mm de desplazamiento  
#define z desp 0.0508 // 1 paso de motor con H_Mode 1 = 0,0508mm de desplazamiento
```

Figura 59: Constantes de desplazamiento de los ejes

6.2 Fórmulas

Para el diseño del software se han diseñado fórmulas específicas para el cálculo de la posición del eje, la velocidad de los motores y el tiempo del pulso.

6.2.1 Posición del eje

La posición del eje viene determinada por el desplazamiento por paso así como por el modo del microstep seleccionado.

```
float posicionEje(byte numeroEje){
    float posicion = 0 ;
    switch(numeroEje){
        case x_eje:
            posicion = contador[x_eje]*(xy_desp/mModes[x_eje]);
            break;
        case y_eje:
            posicion = contador[y_eje]*(xy_desp/mModes[y_eje]);
            break;
        case z_eje:
            posicion = contador[z_eje]*(z_desp/mModes[z_eje]);
            break;
        case c_eje:
            posicion = contador[c_eje]*(c_desp/mModes[c_eje]);
            break;
    }
    return posicion;
}
```

Figura 60: Cálculo de la posición del eje

6.2.2 Tiempo de pulso

El tiempo de pulso se calcula en base a la posición del encoder y el rate elegido, este tiempo será el que determine el ancho del pulso que se envía a los motores.

```
// Asignamos el valor del encoder actual (0 a 10010) a tiempoPulso
tiempoPulso = posicionEncoder;
// Comprobamos que el valor es positivo
if(tiempoPulso <= -1)
    tiempoPulso *= -1;
// Calculamos el tiempo del pulso a mayor pos encoder menor tiempo
tiempoPulso = tiempoMaximoPulso - tiempoPulso*rate;
```

Figura 61: Cálculo del tiempo de pulso

6.2.3 Velocidad

La velocidad viene expresada en tanto por ciento, de manera que la posición máxima del encoder hará que se envíe el pulso de menor duración lo que se corresponderá al 100% de velocidad. Se calcula pues en base el tiempo de pulso como se ha explicado.

```
// Velocidad = 100% - (tiempo del pulso actual - tiempo pulso minimo / 100%)
tiempoPulso = calculaTiempoPulso();
velocidad = 100-((tiempoPulso-tiempoMinimoPulso)/100);
```

Figura 62: Cálculo de la velocidad

6.3 Tiempo de refresco de LCD (interrupción interna)

Para que el tiempo de refresco de la pantalla sea el deseado se deberá configurar una interrupción interna, para ello se usarán los timers del ATmega.

¿Qué es un timer?

A grandes rasgos, es un contador interno que puede funcionar a la frecuencia que marca un reloj. Este reloj puede ser interno o externo

¿Cómo funciona?

Funciona mediante un aumento del “counter register”, según como se configure, su contaje será a una frecuencia mayor o menor y una vez finalice el contaje (desbordamiento) para el que se haya configurado, activará el bit flag (bandera) el cual indicará que el timer ha acabado de contar y empezará de nuevo.

Debido a que el timer depende de una fuente reloj, tal y como se ha comentado al principio, la unidad más pequeña medible en el ATmega 2560 (dispone de un cristal de cuarzo de 16Mhz), será el periodo:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{16MHz} = 62.5ns$$

Tipos de Timers

El chip AVR ATmega 2560 dispone de 6 timers:

- **Timer 0:** Temporizador de 8 bits (registrará como máximo 256 valores). Es usado en las funciones `delay()` y `millis()`, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de programar si se va a usar.
- **Timer 1:** Temporizador de 16 bits (registrará como máximo 1024 valores). Es usado en la librería `servo`, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de programar si se va a usar.
- **Timer 2:** Temporizador de 8 bits. Es muy similar al Timer 0 y es usado por la función `tono()`.
- **Timer 3, 4 y 5:** Los tres son de 16 bits y funcionan de manera muy similar al Timer 1.

Configurar y ejecutar el Timer.

Para poder usar los timers, se deben modificar sus registros. En este proyecto se va a usar el Timer 1 ya que no se usa la librería `servo` y es de 16 bits (con 8 bits se dispone de un máximo de 16.32ms con un preescaler de 1024) por lo que habrá que centrarse en los registros `TCCR1A`, `TCCR1B` y `TIMSK` (`TCCR` – Timer Counter Control Register, `TIMSK` – Timer/Counter Interrupt Mask Register).¹⁵

El temporizador realizará su contaje en:

$$2^{16-1} = 65535 \rightarrow 65535 * 62.5ns = 0.0041s \cong 4.1ms$$

En este proyecto se ha configurado para que la pantalla refresque cada 100ms por lo que se debe hacer uso del preescaler y del CTC para ajustarlo al tiempo deseado.

Cada uno de los timers tiene un predivisor (prescaler) que genera el temporizador dividiendo el reloj del sistema por un factor como 1, 8, 64, 256 o 1024. Como se ha indicado anteriormente el ATmega 2560 tiene un reloj de sistema de 16MHz y la frecuencia del temporizador será el reloj de sistema dividido por el factor del predivisor.

$$T = \frac{1}{f / \text{preescaler}} = \frac{1}{16MHz / 64} = 4\mu s$$

$$2^{16-1} = 65535 \rightarrow 65535 * 4\mu s = 262.14ms$$

¹⁵ Timers de Arduino - <http://tallerarduino.com>

Con el uso del preescaler en 64 se provoca que el timer realice un conteo cada $4\mu s$ y al ser de 16 bits que finalice su ciclo cada 262.14ms por lo que se debe finalizar el ciclo 162.14ms antes para conseguir que acabe de contar a los 100ms, para ello hay que usar el CTC.

El CTC (Clear Timer Compare Match) sirve para que el timer se reinicie cuando se produce una coincidencia en la comparación con el valor del registro OCR1A. El valor que se debe poner para que se reinicie cada 100ms será el siguiente:

$$valor_{CTC} = \frac{TiempoDeseado}{ResolucionTimer} - 1 \rightarrow CTC = \frac{100ms}{4\mu s} = 24999$$

15.11.5 **OCR1AH and OCR1AL – Output Compare Register 1 A**

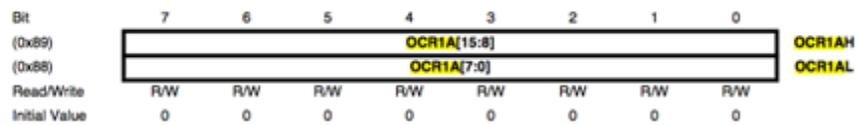


Figura 63: Registro OCR1A

Una vez se ha calculado el valor del CTC se procederá a configurar los registros:

El registro TCCR1B será el encargado de activar el modo comparación activando el bit WGM12, para indicar el preescaler este mismo registro dispone de los bits CS10 y CS11.

15.11.1 **TCCR1A – Timer/Counter1 Control Register A**

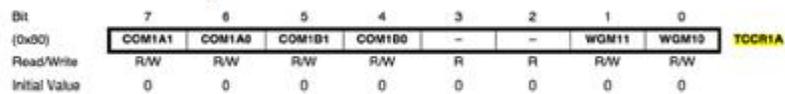


Table 15-4. Waveform Generation Mode Bit Description⁽¹⁾

Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR1x at	TOV1 Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP

Figura 64: Registro TCCR1A

15.11.2 **TCCR1B** – Timer/Counter1 Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x81)	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 15-5. Clock Select Bit Description

CS12	CS11	CS10	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	clk _{ICU} /1 (No prescaling)
0	1	0	clk _{ICU} /8 (From prescaler)
0	1	1	clk _{ICU} /64 (From prescaler)
1	0	0	clk _{ICU} /256 (From prescaler)
1	0	1	clk _{ICU} /1024 (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T1 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T1 pin. Clock on rising edge.

Figura 65: Registro TCCR1B

El registro TIMSK1 dispone del bit OCR1A el cual habrá que habilitar para que se active la comparación.

15.11.8 **TIMSK1** – Timer/Counter1 Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x8F)	–	–	ICIE1	–	–	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	TIMSK1
Read/Write	R	R	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 66: Registro TIMSK1

• **Bit 1 – OCIE1A: Timer/Counter1, Output Compare A Match Interrupt Enable**

When this bit is written to one, and the I-flag in the Status Register is set (interrupts globally enabled), the Timer/Counter1 Output Compare A Match interrupt is enabled. The corresponding Interrupt Vector (see “Interrupts” on page 57) is executed when the OCF1A Flag, located in TIFR1, is set.

Figura 67: Bit OCIE1A

Aplicando lo visto anteriormente la programación de este proyecto tiene las siguientes instrucciones para realizar la configuración:

```
cli(); //Deshabilitamos interrupciones globales
TCCR1A = 0; // Vaciamos registro
TCCR1B = 0; // Vaciamos registro
OCR1A = 24999; // Valor para que el timer cuente cada 100ms
TCCR1B |= (1 << WGM12); // Activamos modo comparacion
TCCR1B |= (1 << CS10) | (1 << CS11); // Prescaler f/64
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); // Activamos comparacion
sei(); // Habilitamos interrupciones globales
```

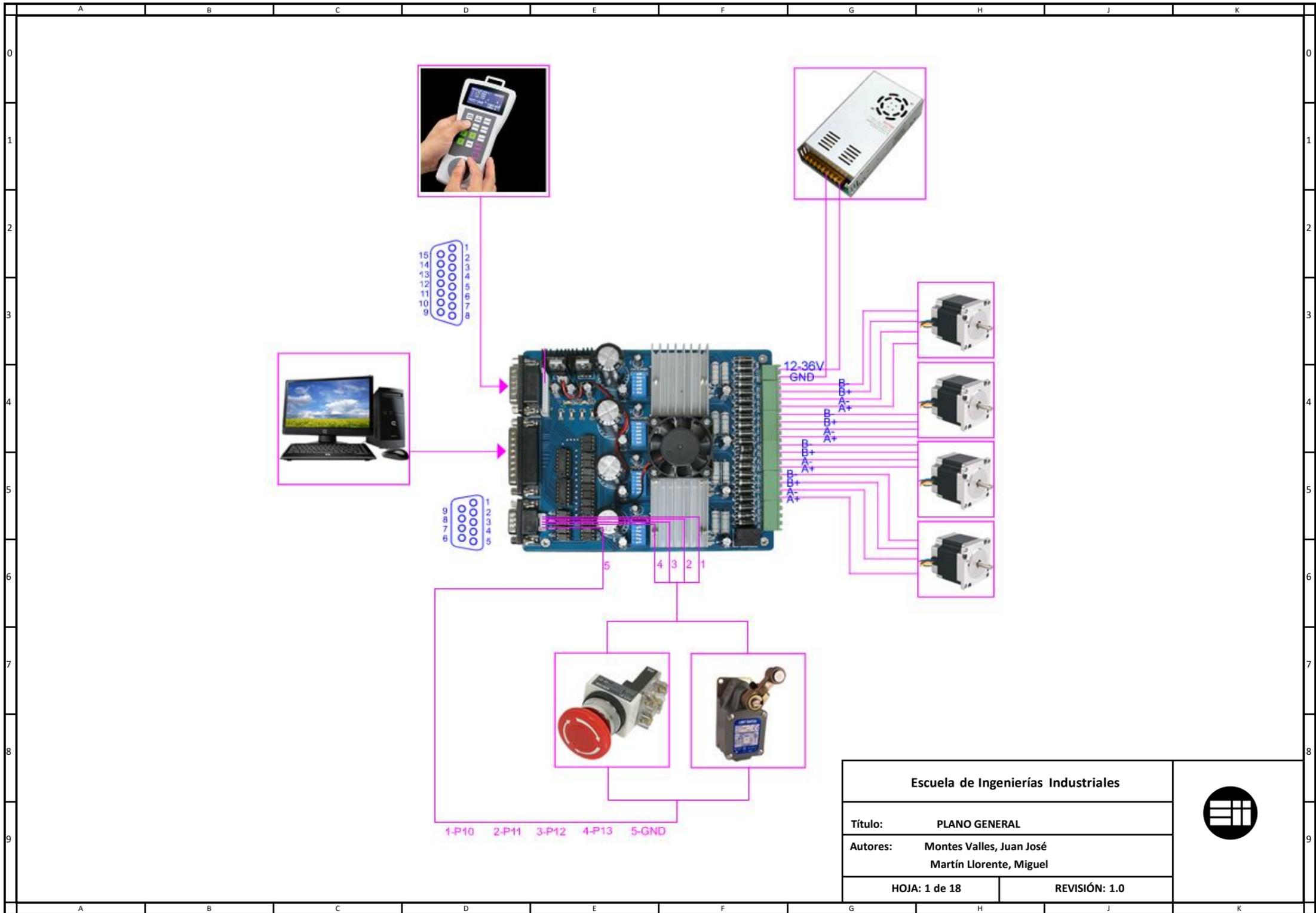
Figura 68: Captura de la configuración del timer

Esta configuración provoca que el temporizador active el flag TIMER1_COMPA_vect cada 100ms el cual hará que se ejecute la rutina ISR(TIMER1_COMPA_vect) (Interrupt Service Routine), en la que se pondrán los datos más críticos que han de ser mostrados en pantalla como lo son el desplazamiento o la velocidad.

7. PLANOS

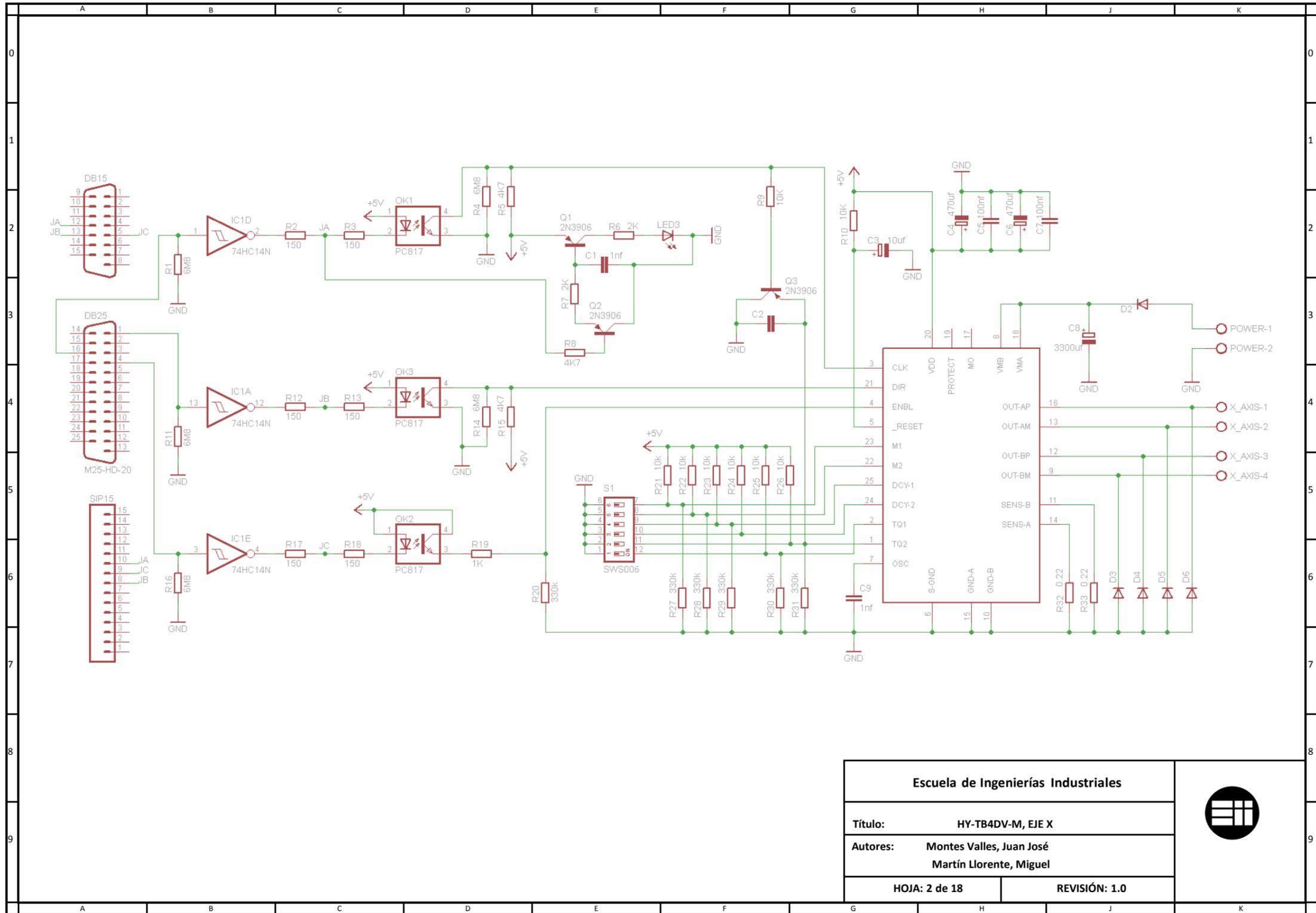
7.1 Índice de planos

7.1.1 Plano General	109
7.1.2 HY-TB4DV-M Eje X	110
7.1.3 HY-TB4DV-M Eje Y	111
7.1.4 HY-TB4DV-M Eje Z	112
7.1.5 HY-TB4DV-M Eje C	113
7.1.6 HY-TB4DV-M Fuente de Alimentación	114
7.1.7 HY-TB4DV-M Spindle	115
7.1.8 HY-TB4DV-M 4-Input	116
7.1.9 HY-TB4DV-M Puertos	117
7.1.10 Esquema Prototipo	118
7.1.11 Esquema Prototipo, Botoneras	119
7.1.12 PCB Prototipo	120
7.1.13 Esquema Control Manual	121
7.1.14 PCB Control Manual.....	122
7.1.15 PCB Control Manual, Capa Superior	123
7.1.16 PCB Control Manual, Capa Inferior.....	124
7.1.17 PCB Control Manual, Capa de Taladros y Vías	125
7.1.18 PCB Control Manual, Capa de Serigrafía	126



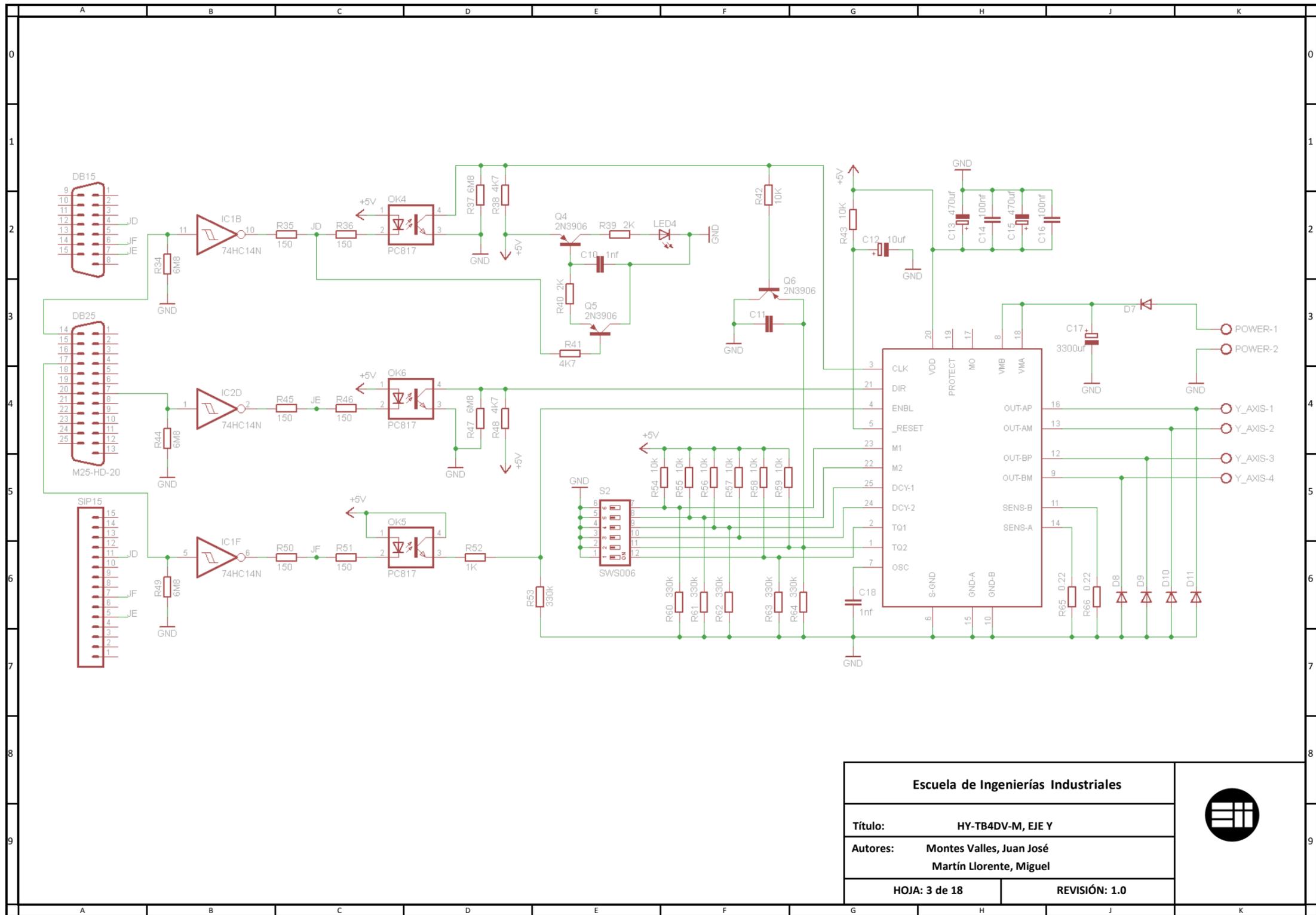
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	PLANO GENERAL
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 1 de 18	REVISIÓN: 1.0





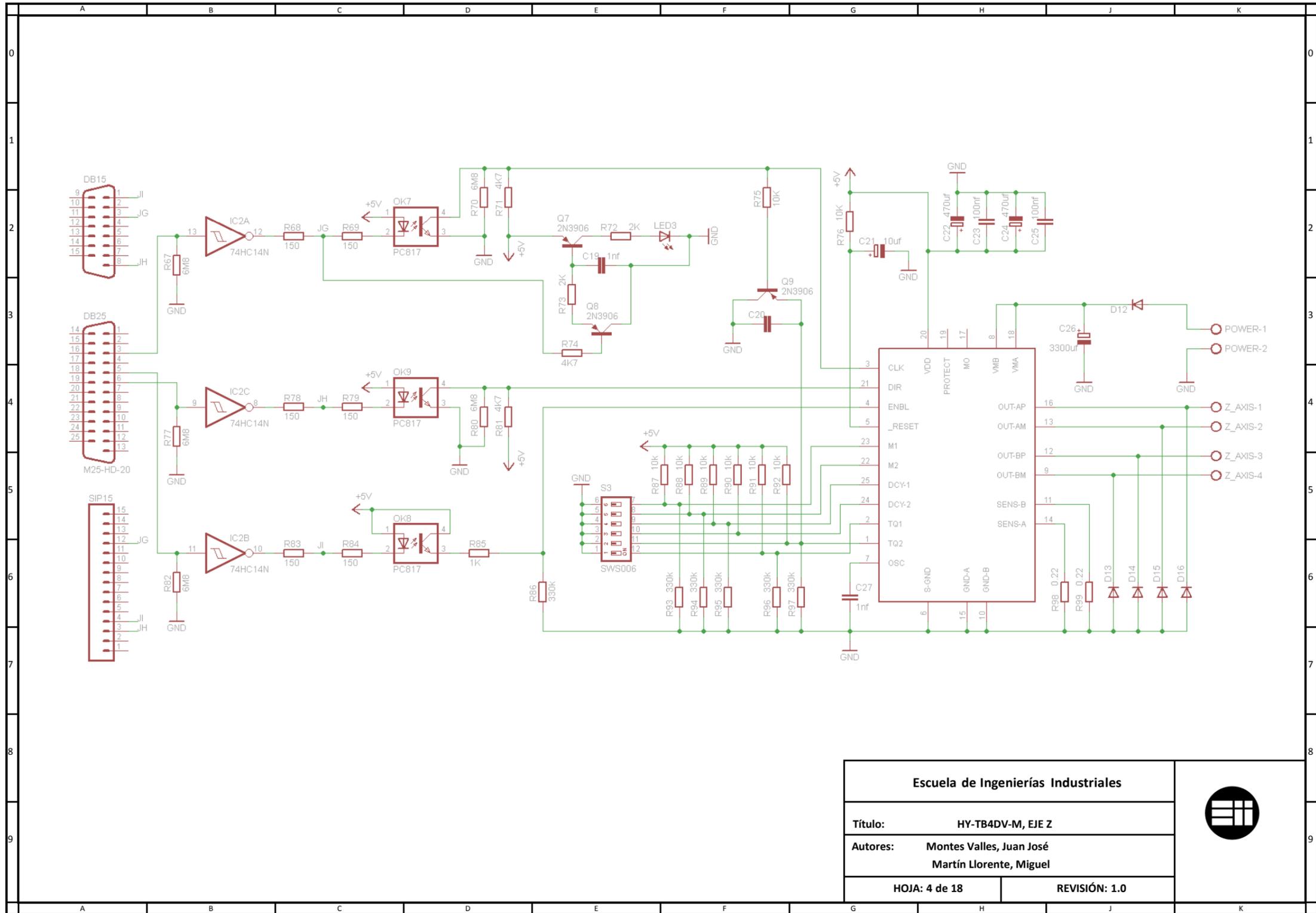
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: HY-TB4DV-M, EJE X	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Llorente, Miguel	
HOJA: 2 de 18	REVISIÓN: 1.0





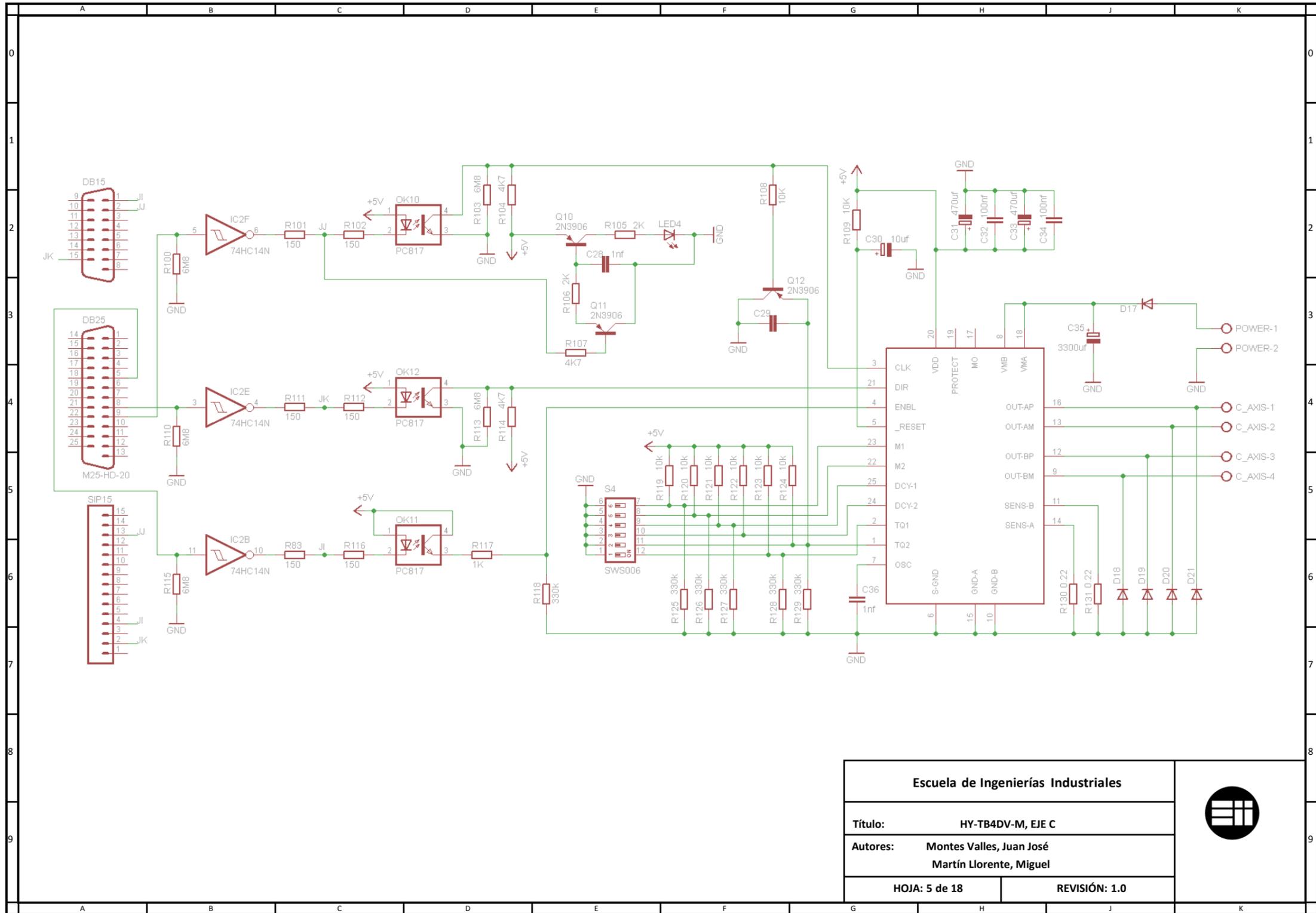
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	HY-TB4DV-M, EJE Y
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 3 de 18	REVISIÓN: 1.0





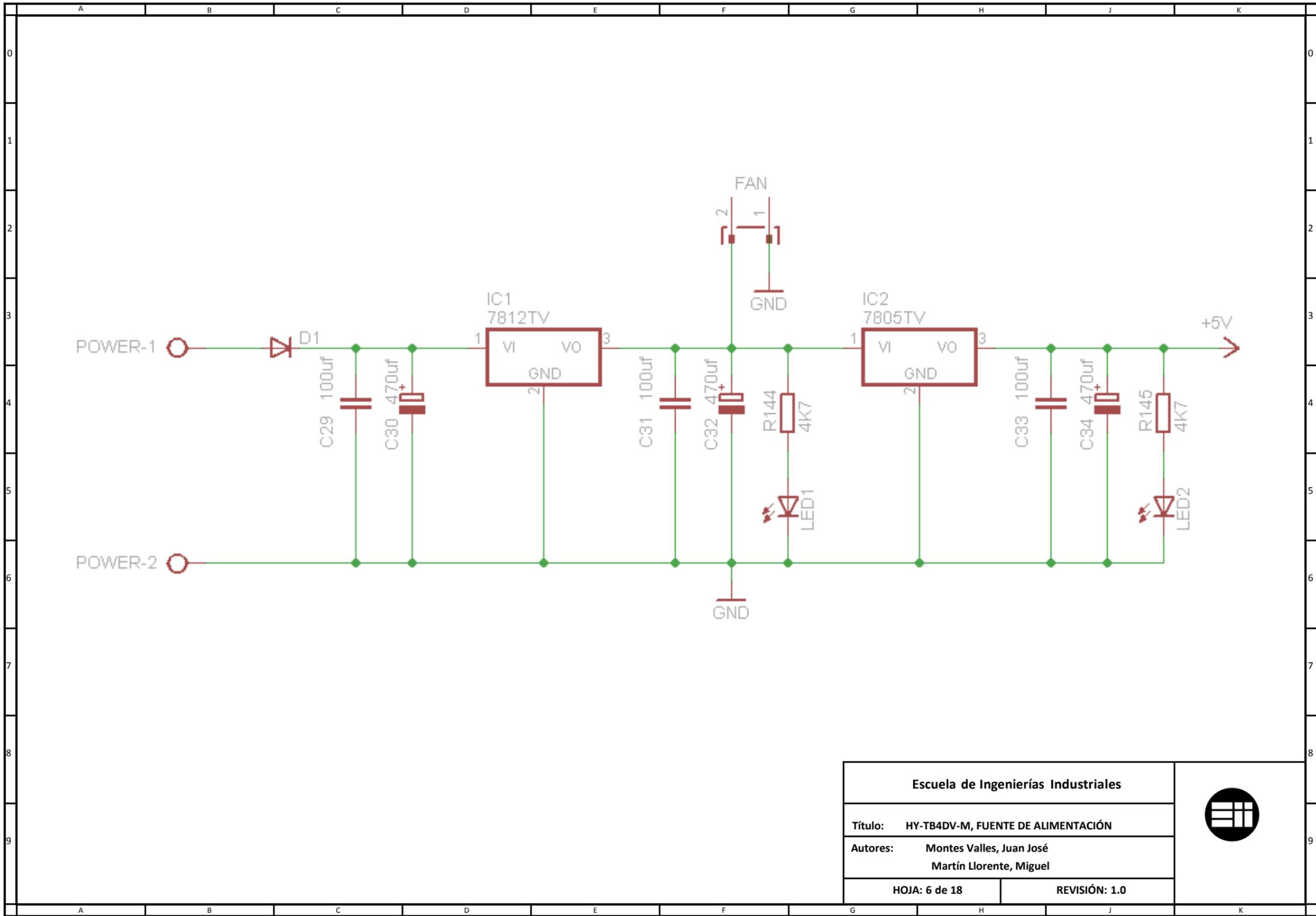
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: HY-TB4DV-M, EJE Z	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel	
HOJA: 4 de 18	REVISIÓN: 1.0





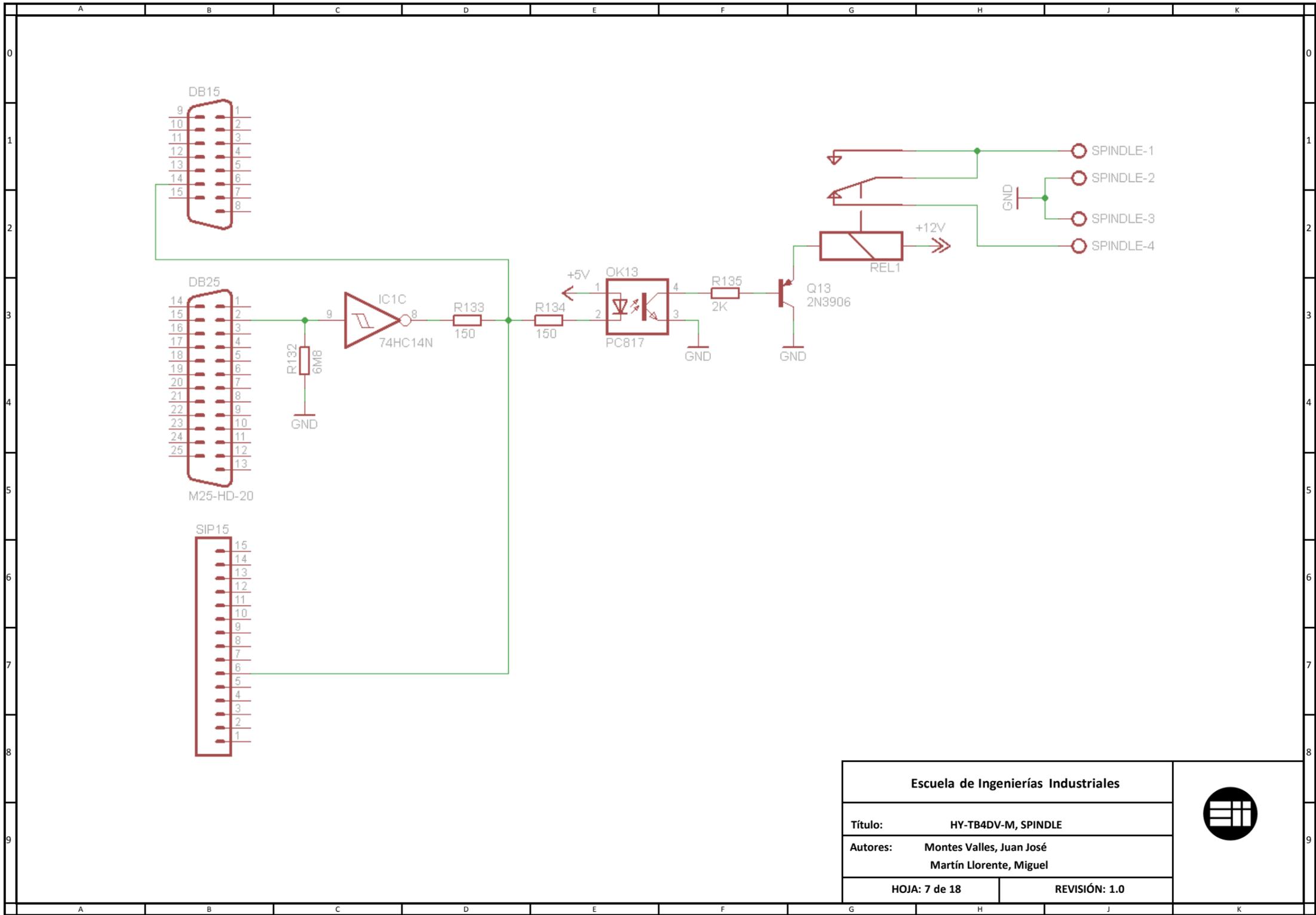
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	HY-TB4DV-M, EJE C
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 5 de 18	REVISIÓN: 1.0





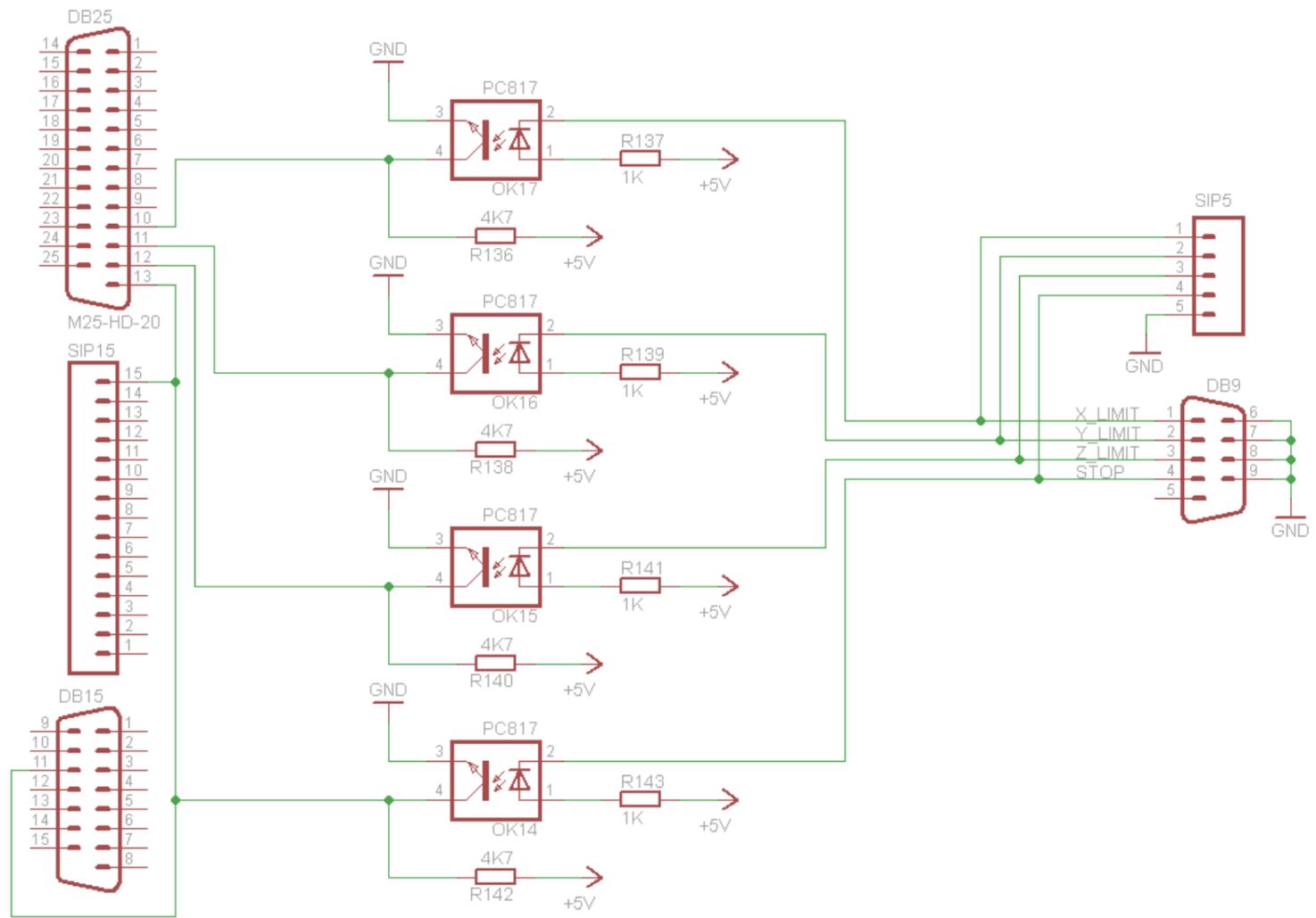
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: HY-TB4DV-M, FUENTE DE ALIMENTACIÓN	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel	
HOJA: 6 de 18	REVISIÓN: 1.0





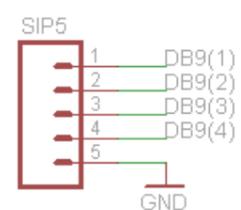
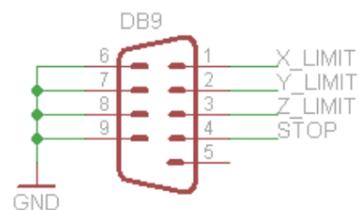
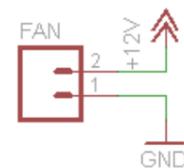
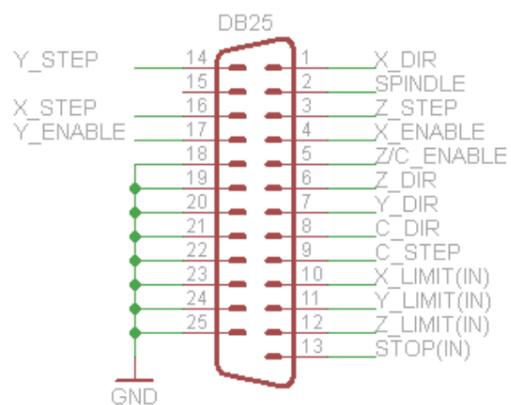
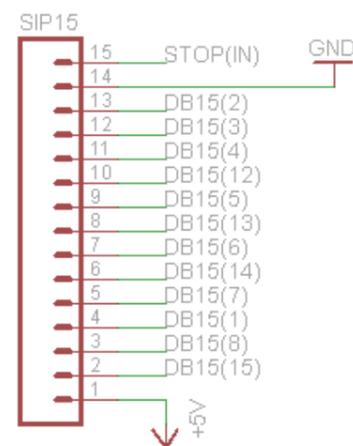
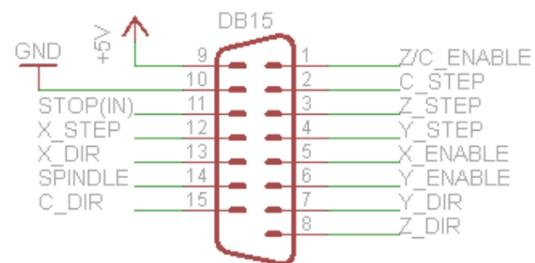
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	HY-TB4DV-M, SPINDLE
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 7 de 18	REVISIÓN: 1.0





Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	HY-TB4DV-M, 4-INPUT
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 8 de 18	REVISIÓN: 1.0





- VDD — POWER-1
- GND — POWER-2
- XA+ — MOTOR_X-1
- XA- — MOTOR_X-2
- XB+ — MOTOR_X-3
- XB- — MOTOR_X-4
- YA+ — MOTOR_Y-1
- YA- — MOTOR_Y-2
- YB+ — MOTOR_Y-3
- YB- — MOTOR_Y-4
- ZA+ — MOTOR_Z-1
- ZA- — MOTOR_Z-2
- ZB+ — MOTOR_Z-3
- ZB- — MOTOR_Z-4
- CA+ — MOTOR_C-1
- CA- — MOTOR_C-2
- CB+ — MOTOR_C-3
- CB- — MOTOR_C-4
- MOUT+ — SPINDLE-1
- GND — SPINDLE-2
- GND — SPINDLE-3
- MIN- — SPINDLE-4

Escuela de Ingenierías Industriales

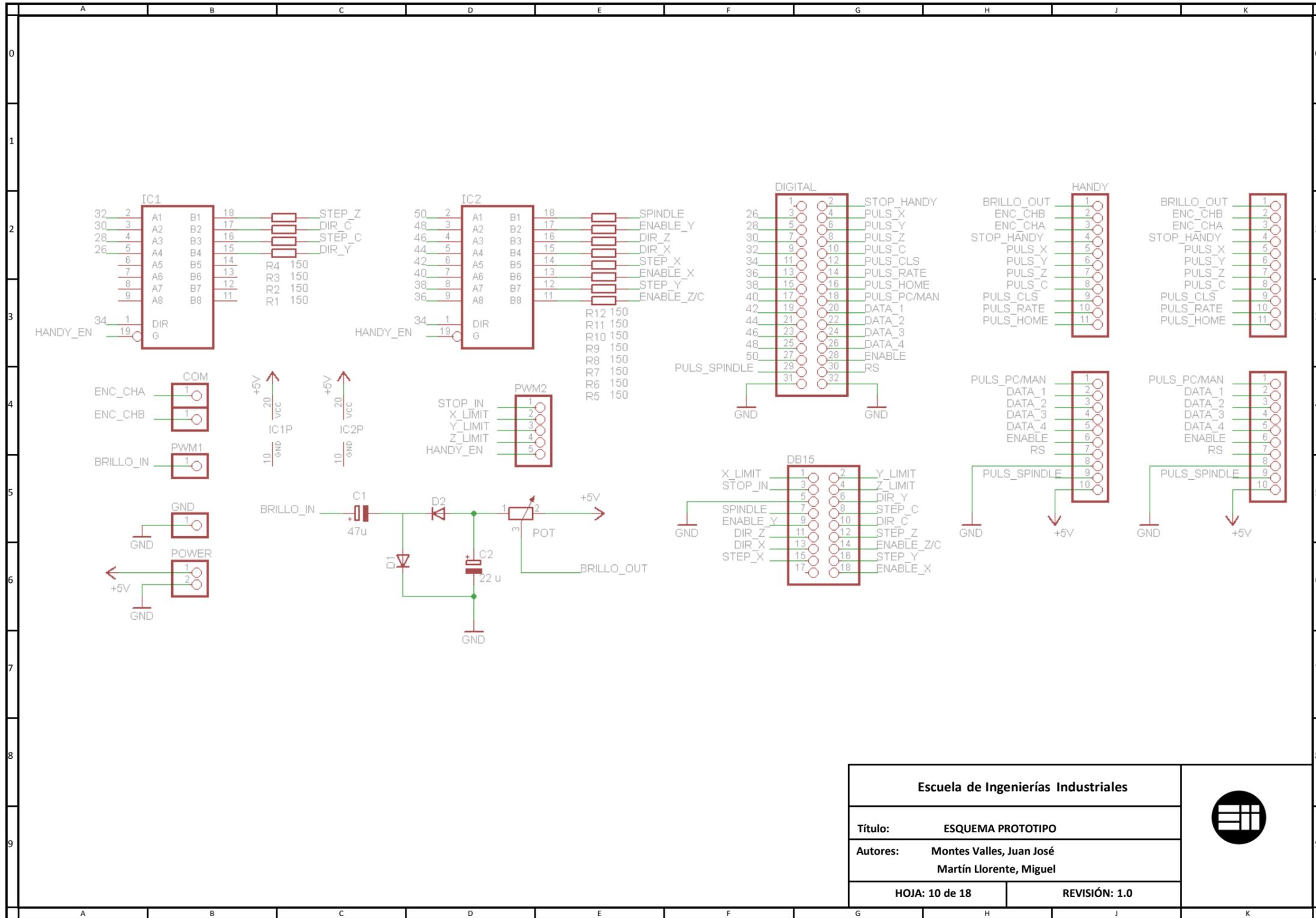
Título: HY-TB4DV-M, PUERTOS

Autores: Montes Valles, Juan José
Martín Lorente, Miguel

HOJA: 9 de 18

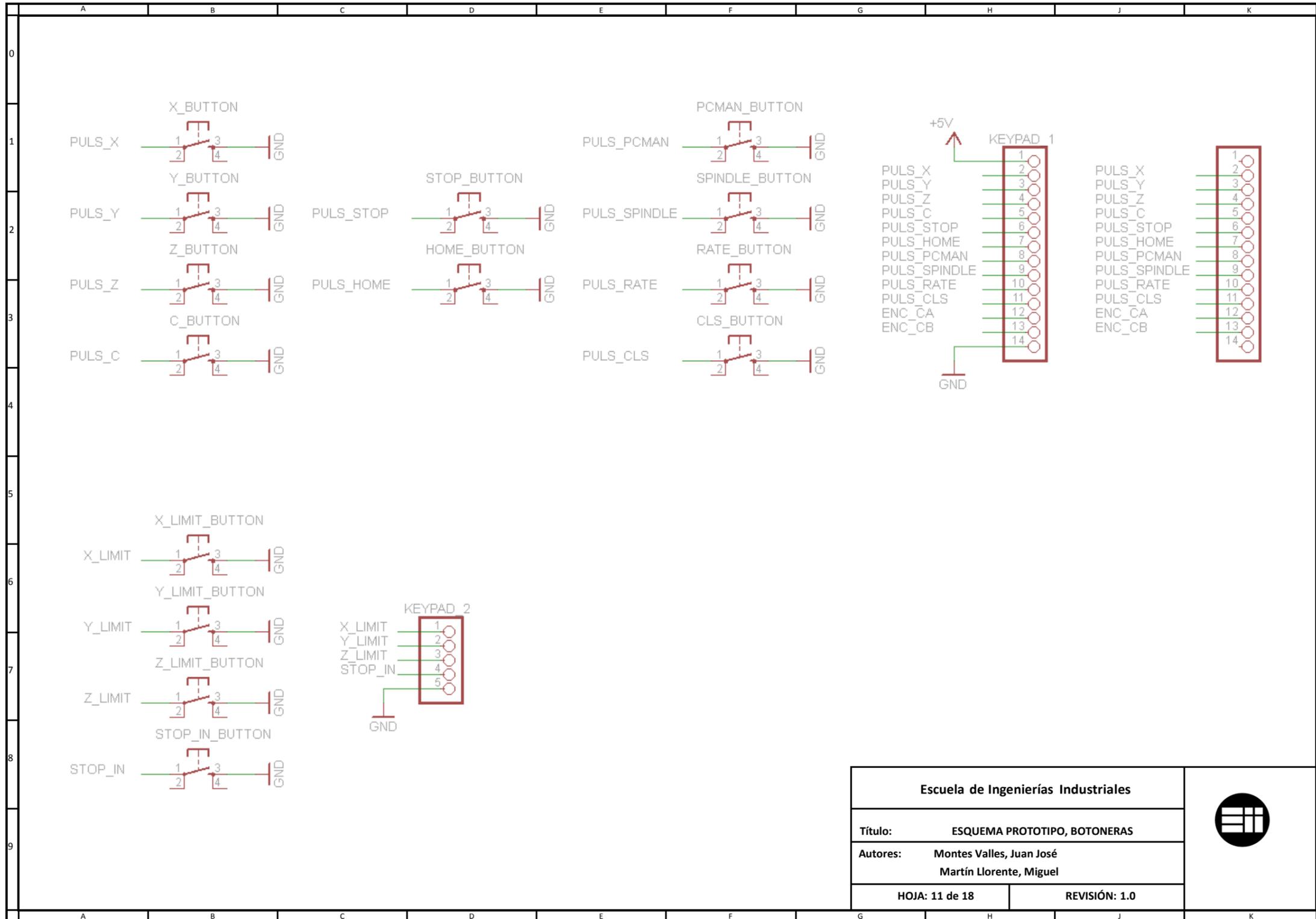
REVISIÓN: 1.0





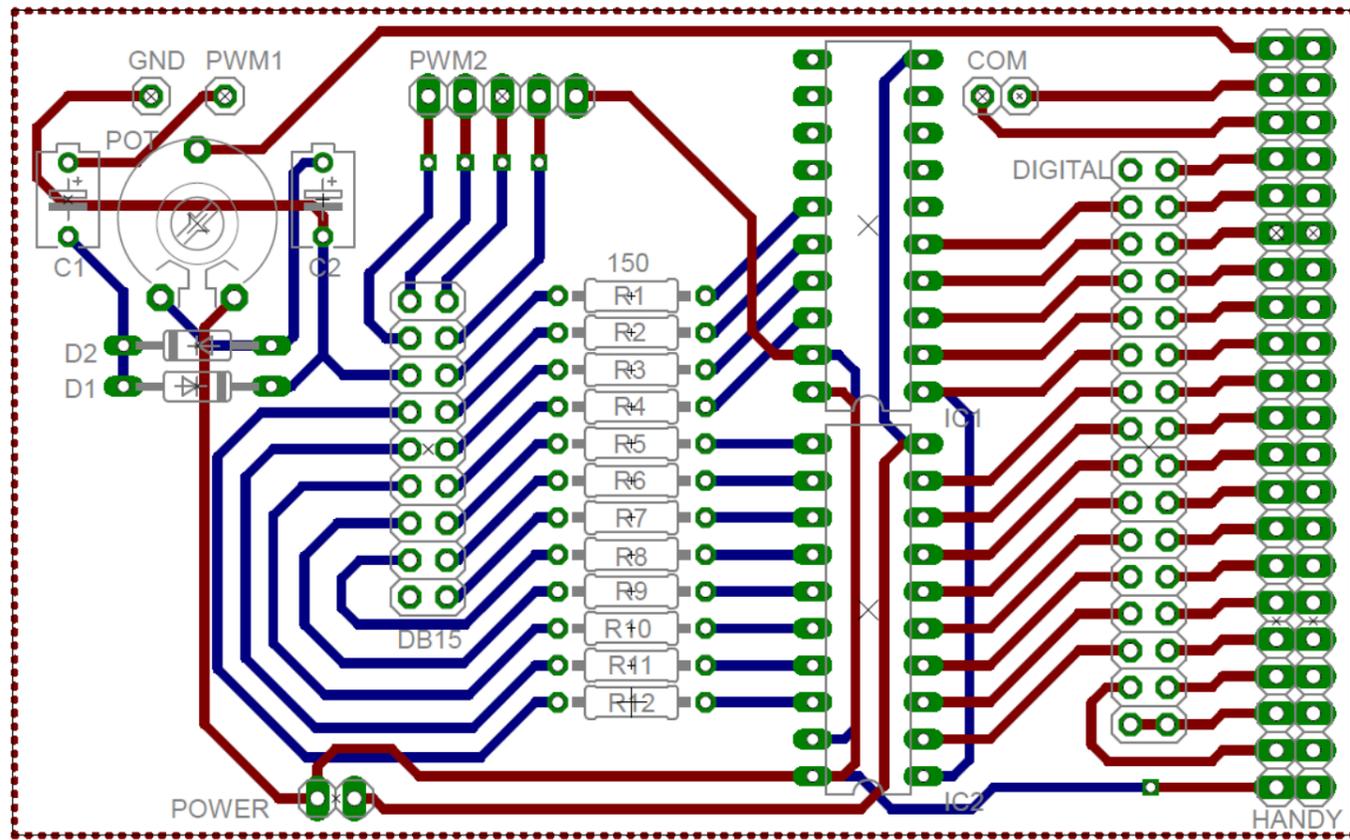
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	ESQUEMA PROTOTIPO
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 10 de 18	REVISIÓN: 1.0





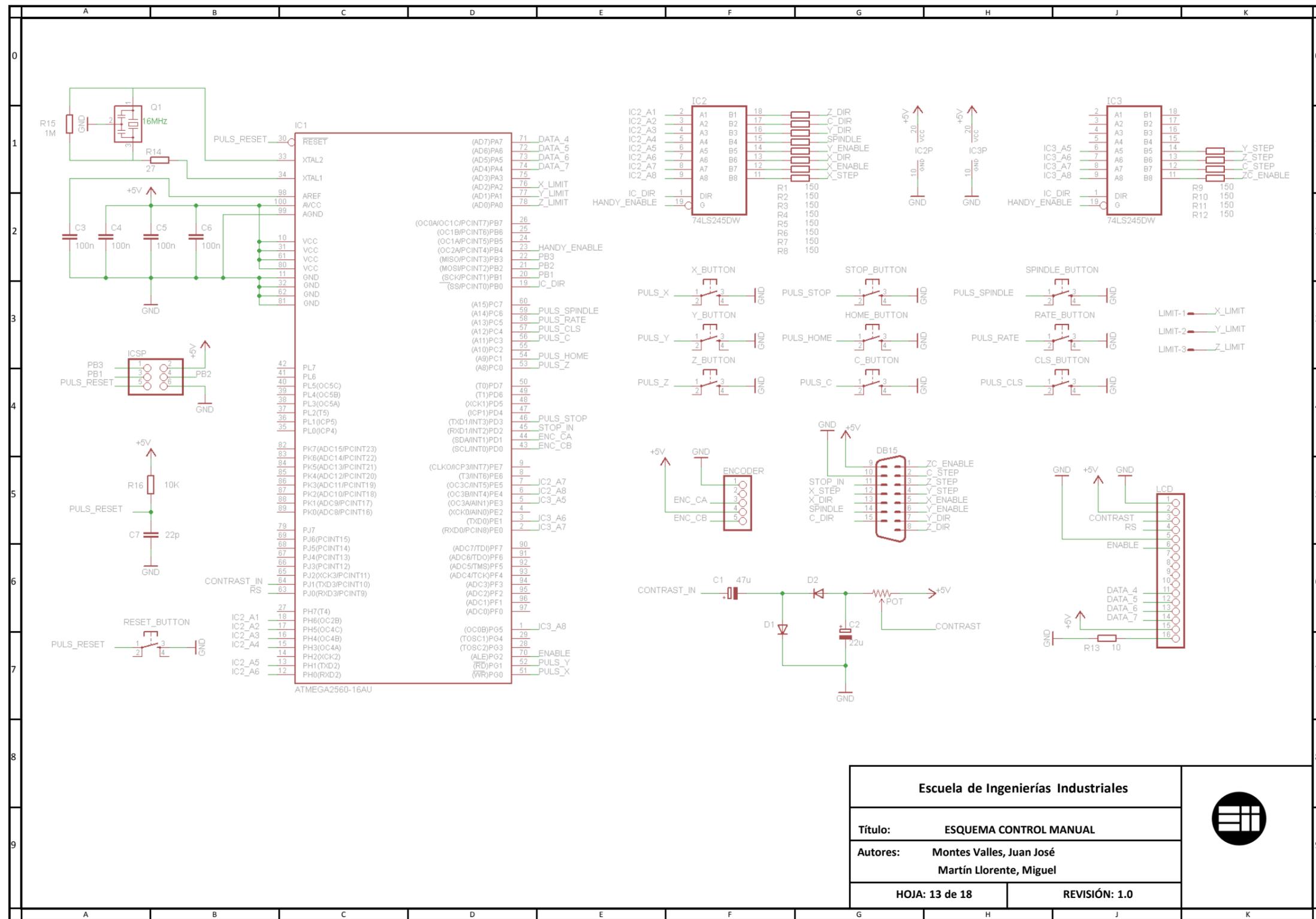
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: ESQUEMA PROTOTIPO, BOTONERAS	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Llorente, Miguel	
HOJA: 11 de 18	REVISIÓN: 1.0





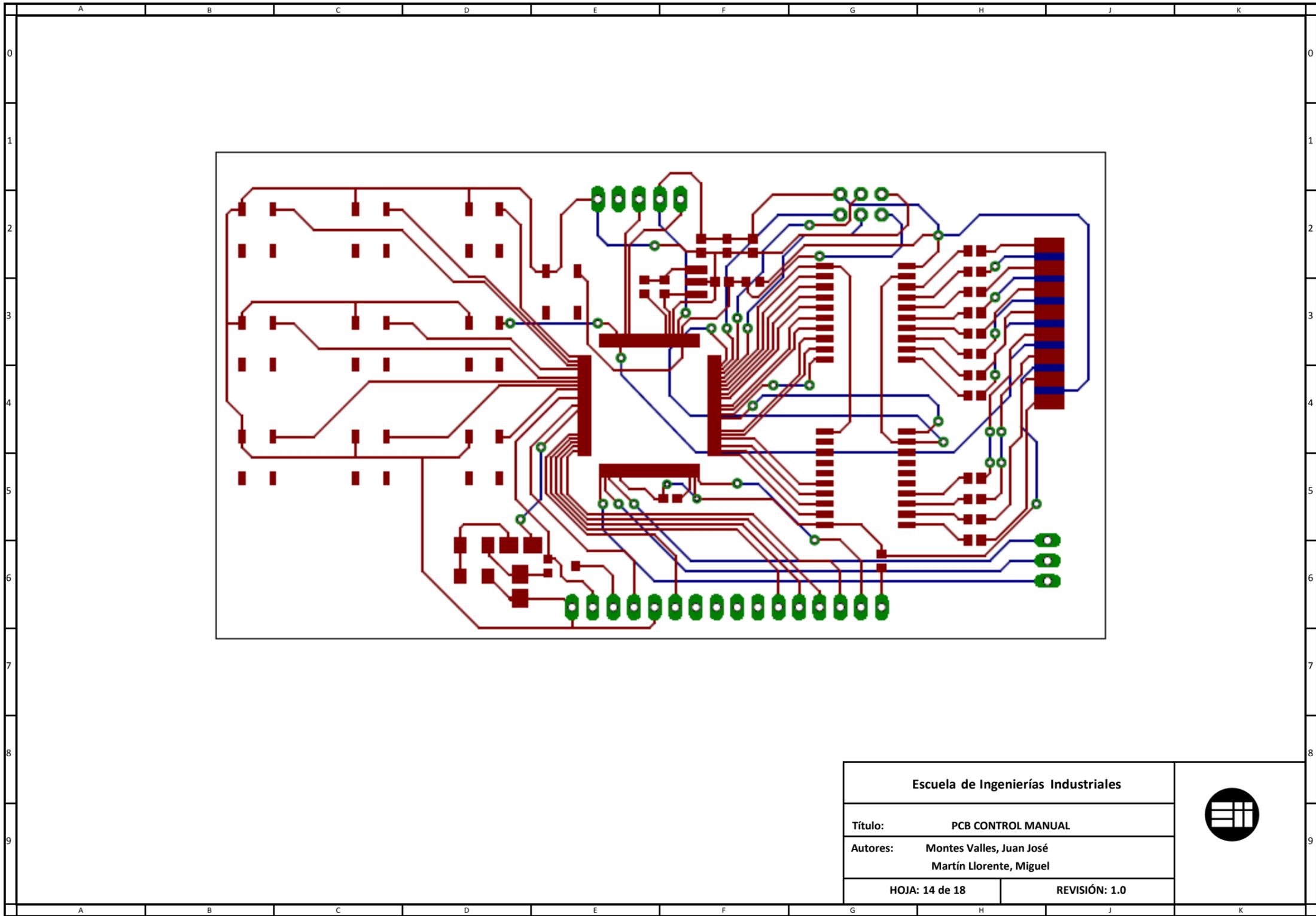
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	PCB PROTOTIPO
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 12 de 18	REVISIÓN: 1.0





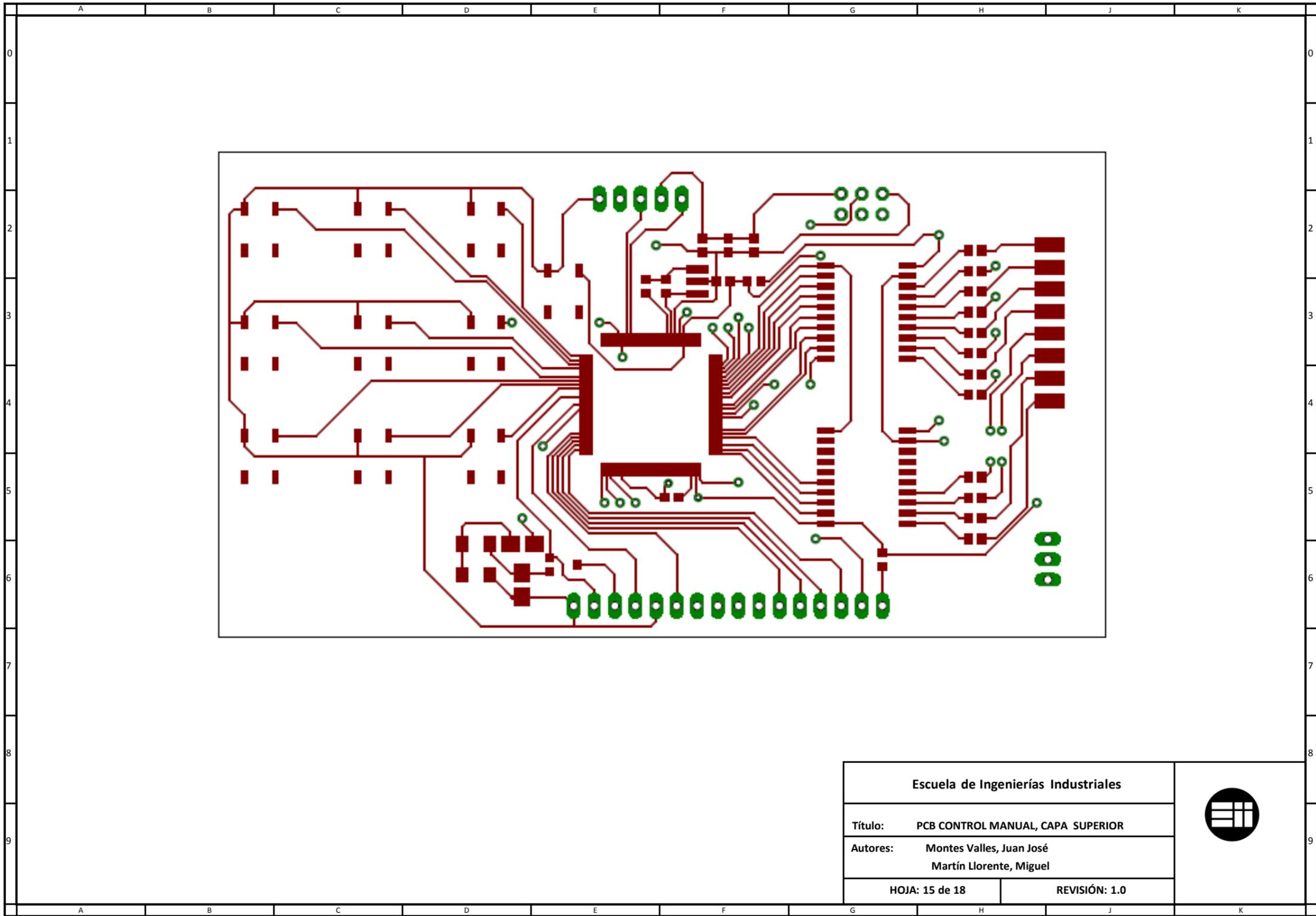
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: ESQUEMA CONTROL MANUAL	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Llorente, Miguel	
HOJA: 13 de 18	REVISIÓN: 1.0





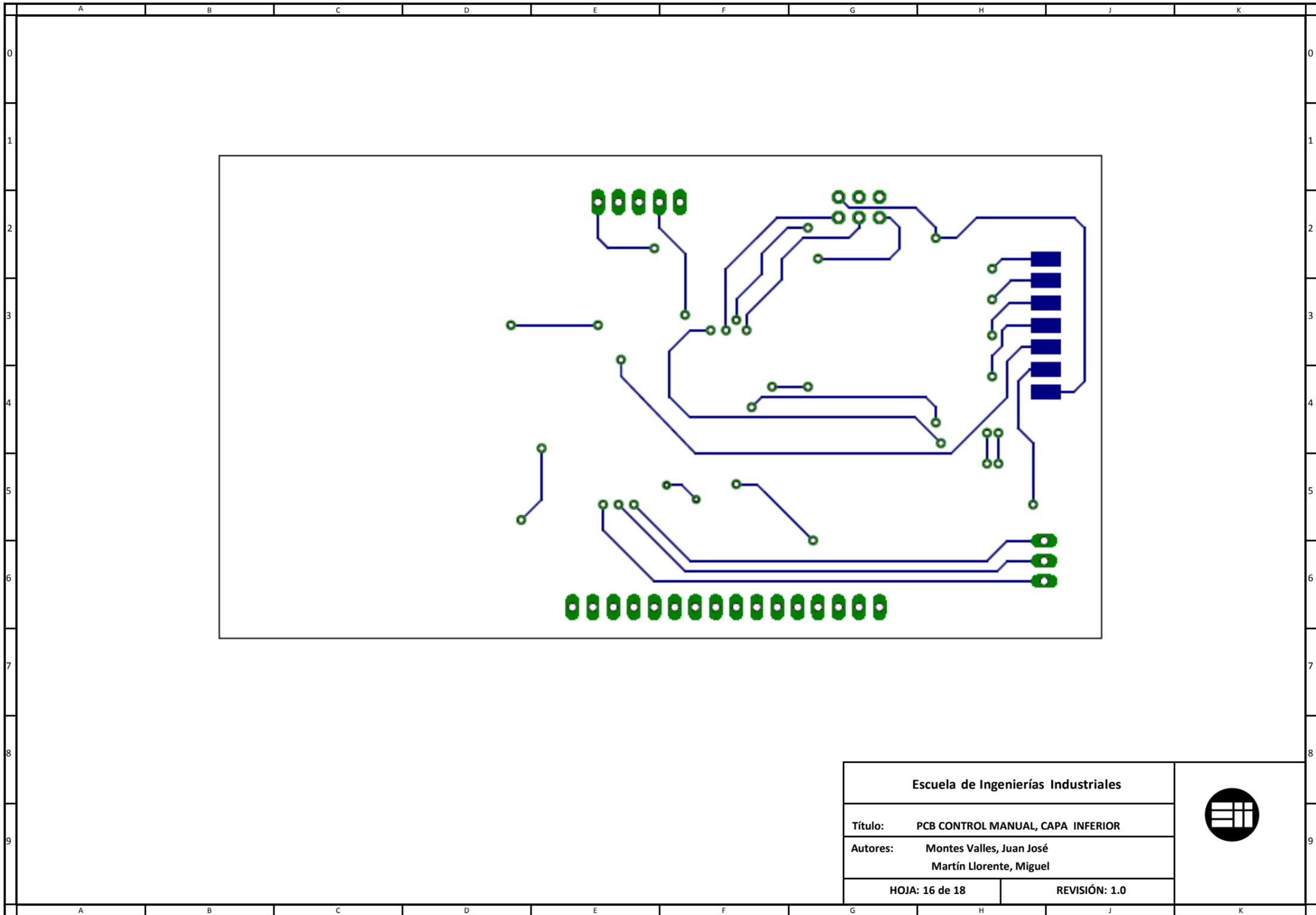
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	PCB CONTROL MANUAL
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 14 de 18	REVISIÓN: 1.0





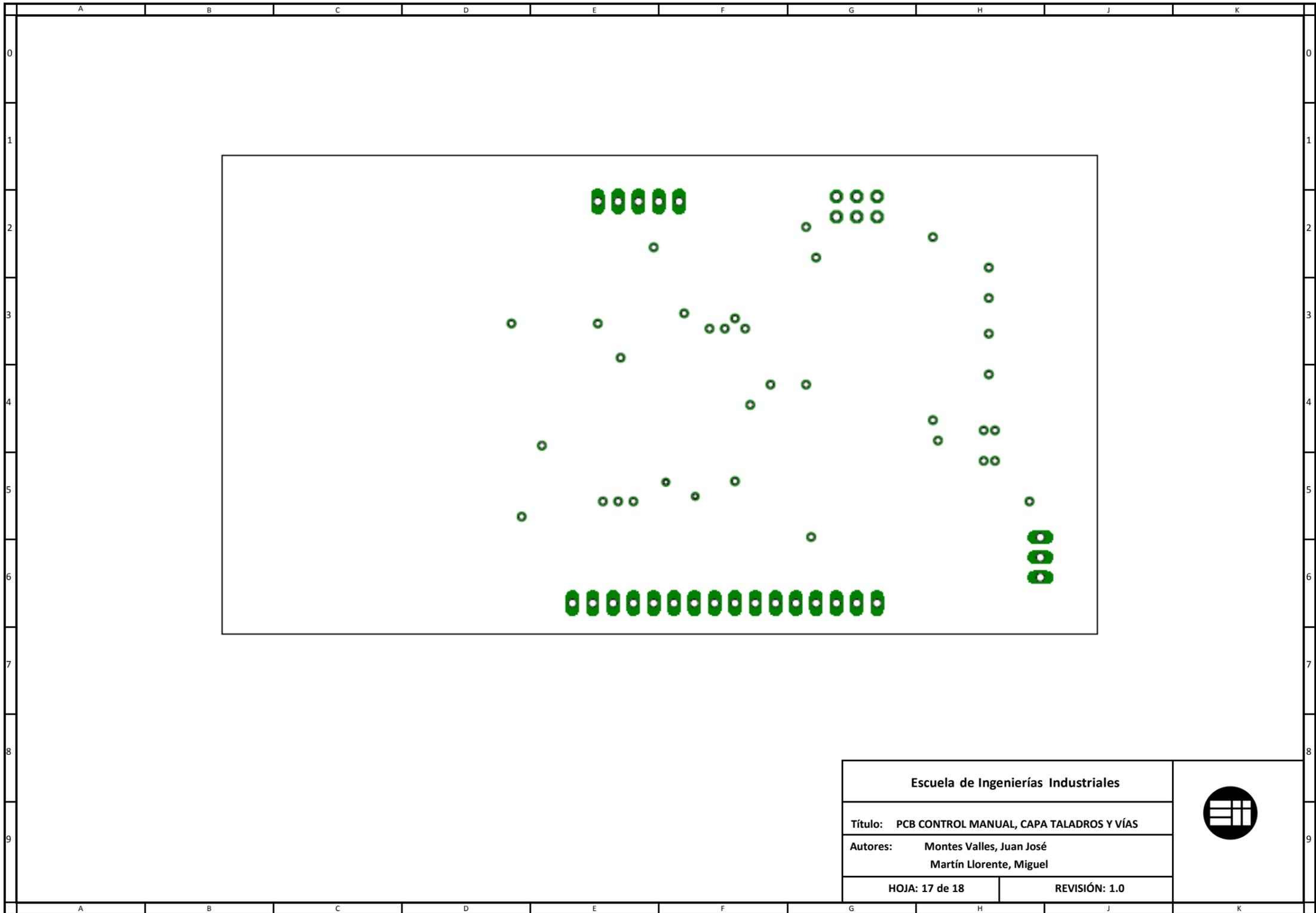
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: PCB CONTROL MANUAL, CAPA SUPERIOR	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel	
HOJA: 15 de 18	REVISIÓN: 1.0





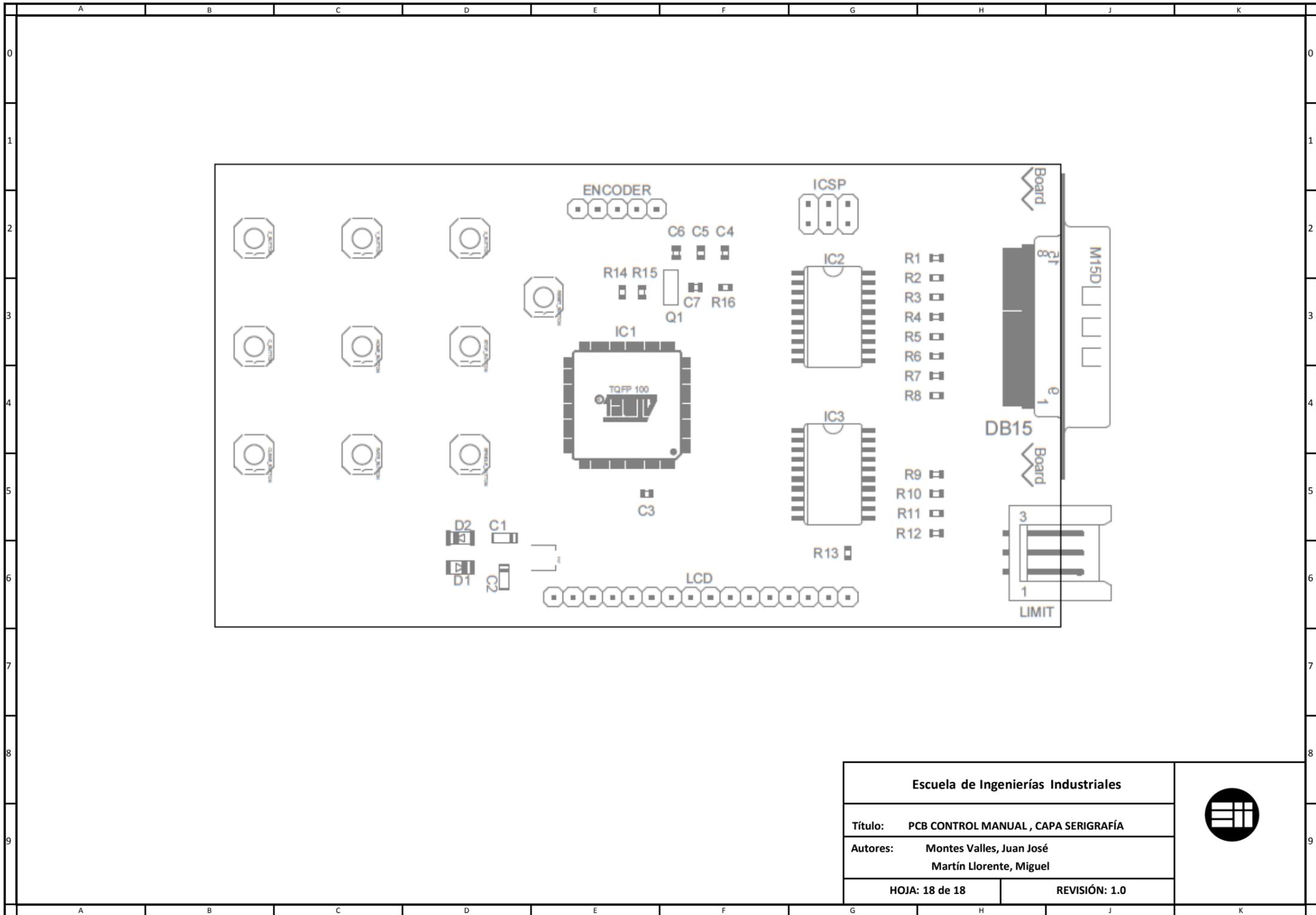
Escuela de Ingenierías Industriales	
Título:	PCB CONTROL MANUAL, CAPA INFERIOR
Autores:	Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel
HOJA: 16 de 18	REVISIÓN: 1.0





Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: PCB CONTROL MANUAL, CAPA TALADROS Y VÍAS	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel	
HOJA: 17 de 18	REVISIÓN: 1.0





Escuela de Ingenierías Industriales	
Título: PCB CONTROL MANUAL , CAPA SERIGRAFÍA	
Autores: Montes Valles, Juan José Martín Lorente, Miguel	
HOJA: 18 de 18	REVISIÓN: 1.0



8. PLIEGO DE CONDICIONES

8.1 Objetivo del pliego

El objetivo de este proyecto es el diseño de un control manual para CNC. Este proyecto está orientado a la posible industrialización del Control Manual fabricado. Esto implica que el diseño haya tenido en cuenta la accesibilidad y la fiabilidad sin omitir su desarrollo industrial. En caso de una futura aplicación industrial se debería tener presente el pliego de condiciones, que tiene como principal función regular las condiciones entre las partes contratantes considerando los aspectos técnicos, facultativos, económicos y legales.

- Obras que componen el proyecto.
- Características exigibles a los materiales y componentes.
- Detalles de la ejecución.
- Programa de obras.

Dado el gran número de detalles tratados si se presentan dudas a la hora de iniciar el proyecto lo más recomendable es ponerse en contacto con el proyectista.

8.1.1 Descripción general del montaje

Las diferentes partes que componen la obra a realizar por parte del instalador, poniendo especial énfasis en el orden establecido, no efectuando una actividad concreta sin haber realizado previamente la anterior:

- Encargo y compra de los componentes necesarios.
- Fabricación de la placa de circuito impreso.
- Montaje de los componentes en la placa.
- Conexión de la placa y los diferentes dispositivos.
- Montaje de la placa en la caja.
- Puesta en marcha del Control Manual.
- Controles de calidad y fiabilidad.
- Mantenimiento para el correcto funcionamiento del sistema.

Todas las partes que en conjunto forman la obra de este proyecto, tendrán que ser ejecutadas por montadores cualificados, sometiéndose a las normas de la Comunidad Europea, países o incluso comunidades internacionales que se tengan previstas para este tipo de montajes no haciéndose responsable el proyectista de los desperfectos ocasionados por su incumplimiento.

8.2 Normativa de obligado cumplimiento

En la lista que se verá a continuación se enumeran las normativas más relevantes que regulan el diseño, montaje y fabricación del Control Manual para CNC. No son las únicas y, en todo caso, siempre se seguirán las instrucciones expuestas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión de 2002:

- Directiva 1999/5/CE: Equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación.
- Directiva 2001/95/CE: Seguridad General de Productos.
- Directiva 2002/95/CE: Restricción de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2002/96/CE: Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2003/108/CE: Modifica la Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2004/108CE: Legislación común en los estados miembros sobre la compatibilidad electromagnética.
- Directiva 2006/95/CE: Material de Baja Tensión.
- R. D. 1580/2006, por el que se regula la compatibilidad electromagnética en aparatos eléctricos y electrónicos.

Respecto al desarrollo de productos electrónicos, se pueden encontrar en AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) las siguientes normativas:

- EN 61010.1:2001: Requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio. Parte 1: Requisitos generales.
- EN 61326-2-5:2013: Equipos eléctricos para medida, control y uso en laboratorio. Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM).
- UNE 20-050-74 (I). Código para las marcas de resistencias y condensadores. Valores y tolerancias.
- UNE 20-524-75 (I). Técnica circuitos impresos. Parámetros fundamentales. Sistemas de cuadrícula.

- UNE 20-524. Equipos electrónicos y sus componentes. Soldabilidad de circuitos impresos.
- UNE 20-524-77 (II). Técnica de circuitos impresos. Terminología
- UNE 20-531-73. Series de valores nominales para resistencias y condensadores.
- UNE 20-543-85 (I). Condensadores fijos en equipos electrónicos.
- UNE 20-545-89. Resistencias fijas para equipos electrónicos.
- UNE 20916: 1995: Estructuras mecánicas para equipos electrónicos. Terminología.
- UNE 21352: 1976: explicación de las cualidades y funcionamiento de equipos de media electrónicos.
- UNE-EN61000-4-3-1998: Compatibilidad electromagnética.
- EN61021-1: 1997: Núcleos de chapas laminadas para transformadores e inductancias destinadas a ser utilizadas en equipos electrónicos y de telecomunicaciones.
- EN123500: 1992: Especificación intermedia: placas de circuitos impresos flexibles con taladros para la inserción de componentes.

Normas DIN:

- DIN 40801. Parte 1. Circuitos impresos, fundamentos, retículos.
- DIN 40801. Parte 2. Circuitos impresos, fundamentos, orificios y espesores nominales.
- DIN 40803. Parte 1. Circuitos impresos, placas de circuito impreso, requisitos generales y comprobaciones, tablas de tolerancias.
- DIN 40803. Parte 2. Circuitos impresos, placas de circuito impreso, documentación.
- DIN 40804. Circuitos impresos, conceptos.
- DIN 41494. Formas de construcción para dispositivos electrónicos, placas de circuito impreso, medidas.

8.3 Condiciones generales de los materiales

Todos los componentes utilizados en actual proyecto cumplen las especificaciones técnicas que aparecen descritas tanto en la memoria, como en los planos, estando presente en estos últimos las particularidades técnicas referentes a valores, referencias y demás especificaciones relevantes utilizadas en resistencias, condensadores, circuitos integrados, etc.

8.3.1 Especificaciones eléctricas

8.3.1.1 Reglamento electrotécnico de baja tensión

Todos los aspectos técnicos de la instalación que, directa o indirectamente, estén incluidos en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, tendrán que cumplir lo que se disponga en las respectivas normas.

Las instrucciones más importantes relacionadas con la realización del proyecto son las siguientes:

- I.T.C.B.T.002: Normas de referencia en el RBT.
- I.T.C.B.T.019 a la B.T.024: Instalaciones interiores o receptoras.
- I.T.C.B.T.036: Instalaciones a muy baja tensiones.
- I.T.C.B.T.037: Instalaciones a tensiones especiales.
- I.T.C.B.T.043: Instalaciones de receptores. Prescripciones generales.
- I.T.C.B.T.048: Instalaciones de Receptores. Transformadores y autotransformadores. Reactancias y rectificadores. Condensadores.

8.3.1.2 Placas de circuito impreso

El circuito diseñado se realizará sobre placas de fibra de vidrio. Se utiliza una placa de doble cara para el Control Manual. El espesor mínimo para la placa será de 1,7mm.

8.3.1.3 Conductores eléctricos

Los conductores utilizados serán internos a excepción del cable que se conecta del Control Manual a la tarjeta controladora, que reunirá condiciones especiales requeridas para los conductores expuestos al exterior.

8.3.1.4 Componentes activos y pasivos

Los componentes activos y pasivos utilizados en el proyecto son los disponibles tecnológicamente en el momento de la realización del proyecto.

8.3.1.5 Resistencias

Existen resistencias con una gran precisión en el valor, lo que implica fijar tolerancias muy bajas, pero se tendrá en cuenta que su precio aumenta considerablemente y serán necesarias en aplicaciones muy específicas. Estando normalmente destinadas a usos generales las tolerancias estandarizadas de 5%, 10% y 20%.

8.3.1.6 Circuitos integrados y semiconductores

Para el Control Manual se utilizan como circuitos integrados el transceptor SN74LS245. Para controlar todas las órdenes se utiliza un microprocesador, que en este caso será un ATmega 2560 16AU. Todos ellos se tendrán que alimentar a una tensión adecuada, las características de tensión y corriente de entrada-salida, así como todas sus características se encuentran en las hojas del fabricante.

8.3.2 Especificaciones mecánicas

Todos los materiales escogidos son de una calidad que se adapta al objetivo del proyecto, no obstante si no se pudiera encontrar en el mercado algún producto por estar agotado, el instalador encargado del montaje tendrá que estar capacitado para su sustitución por otro similar o equivalente.

La placa de circuito impreso se realizará en fibra de vidrio. Se recomienda el uso de zócalos torneados, para la inserción de componentes de agujero pasante. De esta forma se reduce el tiempo de reparación y además se disminuye el calentamiento de los pines de los componentes electrónicos en el proceso de soldadura que podría producir su deterioro.

8.3.3 Componentes electrónicos

Todos los componentes electrónicos empleados en la elaboración del Control Manual para CNC deben atender a los requerimientos de potencia, tensión y corriente demandados por el sistema. Todos los elementos deben cumplir al menos con las especificaciones del sistema, incluso podrán mejorar si eso no afecta al aumento del coste final del proyecto.

Vendrá convenientemente especificado en la Lista de Materiales el valor de los componentes, así como su tipo de encapsulado utilizado para la placa de circuito impreso.

8.4 Condiciones del proceso de fabricación

8.4.1 Preparación de los componentes

La adquisición de los componentes para la fabricación del Control Manual debe realizarse teniendo en cuenta sus especificaciones técnicas, además de cumplir con las pautas exigidas que hemos visto anteriormente.

Todos los materiales y elementos necesarios para la fabricación del Control Manual deben estar comprados antes de iniciar el proceso de fabricación. Se debe tener todo preparado para poder comenzar sin problemas ni retrasos.

8.4.2 Material del circuito impreso

La placa elegida para la realización del Control Manual es una placa de fibra de vidrio de doble cara con un espesor mínimo de 1.7mm, siendo así más resistente a los cambios climáticos y mecánicos.

Los materiales y aparatos que se necesitan para la realización de la placa de circuito impreso son: máquina de control numérico "Bungard CCD" si se quiere hacer la placa a través del método de fresado y taladrado. También se puede hacer a través del método de insolación, para lo cual se necesitaría una insoladora (o una lámpara de luz actínica), revelador y un atacador rápido. Para este último proceso será necesario que la placa de circuito impreso sea de material fotosensible positivo de doble cara y fibra de vidrio.

8.4.3 Soldadura y montaje de los componentes

El montaje de todos los componentes eléctricos seguirán las pautas marcadas en el diseño del circuito del Control Manual.

Los circuitos integrados en este proyecto deben ser instalados en zócalos, para su instalación, también se debe prever el lugar y la indumentaria del personal de montaje, ya que estos pueden acumular cargas electrostáticas.

Se debe tener muy en cuenta la manipulación de los componentes, ya que este material es susceptible a la hora de su transporte e instalación en circuito impreso.

8.4.4 Condiciones del proceso de prueba

Una vez terminada la fase de montaje del dispositivo se pasará a realizar al 100% de los dispositivos un test del correcto funcionamiento del equipo según las especificaciones.

Se someterá al equipo a ensayos de compatibilidad electromagnética tanto radiados como inducidos para comprobar que el dispositivo es inmune a las radiaciones procedentes de elementos ajenos, comprobando que no se produce variación alguna con respecto a su modo de funcionamiento normal.

En todo caso se seguirá la normativa vigente sobre compatibilidad electromagnética (Directiva 2004/108/CE y su transposición R.D.1580/2006 por el que se regula la compatibilidad electromagnética en aparatos eléctricos y electrónicos).

Antes de la comercialización del producto, y por tanto del certificado CE, se deberá realizar un proceso de evaluación de conformidad con las distintas normativas que son de aplicación al regulador.

8.5 Condiciones facultativas

Los permisos de carácter obligatorio necesarios para realizar el proyecto o la utilización de la misma tendrán que obtenerse por parte de la empresa contratante, quedando la empresa contratista al margen de todas las consecuencias derivadas de la misma.

Cualquier retardo producido en el proceso de fabricación por causas debidamente justificadas, siendo estas alienas a la empresa contratista, será aceptada por el contratante, no teniendo este último derecho a reclamación por daños o perjuicios.

Cualquier demora no justificada supondrá el pago de una multa por valor del 6% del importe total de fabricación, para cada fracción del retardo temporal (acordado en el contrato).

La empresa contratista se compromete a proporcionar las mayores facilidades al contratista para que la obra se realice de una forma rápida y adecuada.

El aparato cumplirá los requisitos mínimos respecto al proyecto encargado, cualquier variación o mejora sustancial en el contenido del mismo tendrá que ser consultada con el técnico diseñador (proyectista).

Durante el tiempo que se haya estimado la instalación, el técnico proyectistas podrá anunciar la suspensión momentánea si así lo estimase oportuno.

Las características de los elementos y componentes serán los especificados en la memoria y el pliego de condiciones, teniendo en cuenta su perfecta colocación y posterior uso.

La contratación de este proyecto se considerará válida una vez que las dos partes implicadas, propiedad y contratista, se comprometan a concluir las cláusulas del contrato, por el cual tendrán que ser firmados los documentos adecuados en una reunión conjunta en haber llegado a un acuerdo.

Los servicios de la empresa contratista se consideran finalizados desde el mismo momento en que el aparato se ponga en funcionamiento, después de la previa comprobación de su correcto funcionamiento.

El presupuesto no incluye los gastos de tipo energético ocasionados por el proceso de instalación, ni las obras que fuesen necesarias, que irán a cargo de la empresa contratante.

El cumplimiento de las elementales comprobaciones por parte de la empresa instaladora, no será competencia del proyectista, el cual queda fuera de toda responsabilidad derivada del incorrecto funcionamiento del equipo como consecuencia de esta omisión.

8.6 Solicitud de homologación de tipo CE

El marcado CE indica que un producto es presuntamente conforme con todas las disposiciones de las directivas que son de aplicación al equipo en cuestión. Igualmente, garantiza que el fabricante ha tomado todas las medidas oportunas para garantizar el cumplimiento de las mismas en cada uno de los productos comercializados. Por lo tanto, tanto el fabricante como el producto cumplen con los requisitos esenciales de las directivas de aplicación.

Es totalmente indispensable que todo producto comercializado o puesto en servicio posea el correspondiente marcado CE. Esto no implica que todo producto deba llevar el marcado CE, ya que sólo es obligatorio que lo posean únicamente aquellos productos que estén regulados por directivas comunitarias de marcado CE.

El caso que nos ocupa se rige principalmente por la Directiva 2006/95/CE sobre material de baja tensión, la Directiva 2004/108/CE sobre la compatibilidad electromagnética y la Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, pero siempre en línea con todas las normativas que le son de aplicación.

No es aceptable la conformidad parcial, es decir, la conformidad con sólo algunas de las directivas aplicables. Cumpliendo los requisitos esenciales de estas normativas.

El fabricante es el responsable de los procedimientos de certificación y, en su caso, certificación de la conformidad de un producto. Básicamente tiene que:

- Garantizar el cumplimiento del producto con los requisitos esenciales de las Directivas de aplicación.
- Firmar la Declaración "CE" de conformidad.
- Elaborar la documentación o expediente técnico.
- Fijar el marcado "CE".

8.6.1 Expediente técnico de construcción

El mercado CE lo debe poner siempre el fabricante o su representante legal autorizado, ya que éste es principal responsable de la comercialización o puesta en servicio del producto y de la garantía de su seguridad. Para ello debe realizar un ETC (Expediente Técnico de Construcción) que contará con la siguiente relación:

- Descripción general del producto.
- Análisis de los requisitos esenciales de la/s directivas aplicables.
- Análisis de riesgos. Descripción de las soluciones adoptadas para prevenir los riesgos presentados por el producto.
- Lista de las normas aplicadas total o parcialmente, y la descripción de las soluciones adoptadas para cumplir los aspectos de seguridad de la Directiva en cuestión, en los casos en que no hayan sido aplicadas las normas.
- Informes técnicos con los resultados de los ensayos efectuados o certificados obtenidos de un organismo o laboratorio competente. Tales informes de ensayo serán necesarios si el fabricante declara conformidad con una norma armonizada y podrán ser efectuados por él mismo o bien por un organismo o laboratorio competente. Resultados de los cálculos efectuados en el diseño, de los controles realizados, etc.
- Planos de diseño y de fabricación, y esquemas de los componentes, subconjuntos, circuitos, etc. Explicaciones y descripciones necesarias para la comprensión de los mencionados planos y esquemas, y del funcionamiento del producto.
- Homogeneidad de la producción. Todas las medidas necesarias adoptadas por el fabricante para que el proceso de fabricación garantice la conformidad de los productos manufacturados.

8.6.2 Declaración de conformidad del producto

Para certificar la conformidad del producto, el fabricante o su representante establecido en la Comunidad, deberá elaborar una Declaración de Conformidad.

- Nombre y dirección del fabricante o de su representante establecido en la Comunidad. En caso de productos fabricados fuera de la Comunidad, se deberá indicar tanto el nombre del fabricante como el nombre del representante legal. Se debe hacer constar la dirección completa de la sede o de una de las fábricas o la de uno de los establecimientos del país destino.
- Descripción del producto.
- Todas las disposiciones pertinentes a las que se ajuste el producto.
- Referencia a las Directivas de aplicación. Aunque no es obligatorio, también se puede incluir las referencias a las transposiciones nacionales, es decir, referencia a los Reales Decretos que transponen las Directivas de aplicación.
- Referencia a las normas armonizadas. Aunque las normas armonizadas no son de obligatorio cumplimiento, al fabricante le interesa que se indiquen dichas normas, ya que dichas normas proporcionan al producto una presunción de conformidad con los requisitos esenciales de la Directiva. Se podrá hacer referencia a la norma europea o directamente a la norma nacional. Debido a que el estado normativo avanza continuamente, se debería indicar la edición y fecha de publicación de la norma en cuestión. Por otro lado, en caso de no utilizar dichas normas armonizadas, se deberá especificar el procedimiento alternativo empleado para satisfacer los requisitos esenciales.
- Identificación del signatario apoderado para vincular al fabricante o a su representante. Es necesario mencionar el nombre del signatario, ya que es una señal de autenticidad. Aunque no es obligatorio, también se suele incluir el lugar y fecha de la firma.
- Nombre y dirección del organismo notificado y número de certificación CE de tipo, si procede. Necesario para aquellas máquinas que hayan obtenido un examen CE de tipo de un organismo notificado.
- Nombre y dirección del organismo notificado al que se haya comunicado o que haya efectuado la comprobación del ETC, si procede.

8.6.3 Mercado CE sobre el producto

Una vez finalizado el proceso completo, el fabricante o representante legal puede proceder a poner el marcado CE sobre el producto. El marcado CE debe colocarse de modo visible, legible e indeleble sobre el equipo o su placa de características. En determinados casos, es aceptable que el marcado CE se ponga sobre el embalaje del producto.

Los diferentes elementos del marcado CE deberán tener una dimensión vertical apreciablemente igual, que no será inferior a 5mm. En caso de reducirse o aumentarse el tamaño del marcado CE, siempre deberán conservarse las proporciones del logotipo de la figura 69.

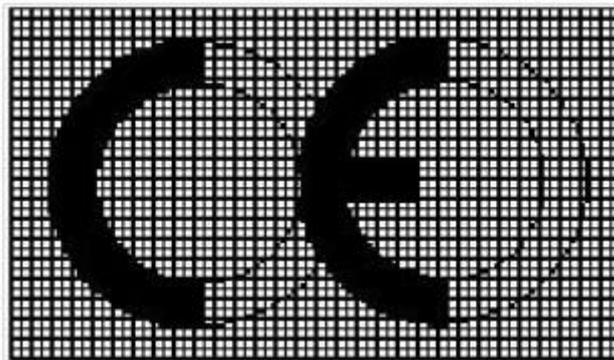


Figura 69: Logotipo de marcado CE

8.7 Marca de reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos

A partir de la Directiva 75/442 se regula a nivel europeo la recogida de residuos. Por lo que se refiere al proyecto que nos atañe, la regulación la marca la Directiva 2002/96 sobre reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos.

Este proyecto cumple la Directiva presente en lo que se refiere al diseño como se explica en el artículo 4 de la misma y se ha tenido en cuenta en la realización del diseño.

Por lo que se refiere al proceso de producción, se exige que los aparatos eléctricos y electrónicos se marquen con el símbolo específico.

También se estipula que sean los productores o distribuidores los encargados de la recuperación de estos aparatos para valorarlos. Este punto puede ser de interés a la hora de reducir gastos, ya que la obligatoriedad existe y se debería estudiar un posible beneficio.

A partir de este proyecto será el fabricante el encargado de seguir debidamente el cumplimiento de la normativa.

8.7.1 Marca de aparatos eléctricos y electrónicos

El símbolo indica la recogida selectiva de aparatos eléctricos y electrónicos es el contenedor de basura tachado, tal como aparece representado a en la figura 70, este símbolo se estampará de manera visible, legible e indeleble.



Figura 70: Logotipo de marcado de aparatos eléctricos y electrónicos

8.8 Cláusulas de índole legal

En estas cláusulas se delimitan las condiciones en las que ambas partes podrán rescindir el contrato de construcción del equipo electrónico objeto del proyecto.

8.8.1 Modificaciones de obra

El diseño del equipo electrónico podrá ser cambiado total o parcialmente por la empresa contratista, no obstante si la empresa proyectista se considera perjudicada en sus intereses, solicitará la indemnización a que se considere acreedora, y cuya estimación someterán las partes a la decisión de la comisión arbitral. En los casos de suspensión no correrá el plazo.

8.8.2 Derecho de rescisión

La empresa proyectista podrá rescindir el contrato en los siguientes casos:

- I. Cuando las variaciones introducidas en el equipo electrónico aumenten o disminuyan el importe total de ésta de un 20%.
- II. Cuando por razones ajenas a la empresa proyectista pase más de un año sin poder trabajar en el equipo electrónico.
- III. Cuando se retrase más de seis meses el pago de alguno de los pagos valorados estipulados.

8.8.3 Rescisión por incumplimiento del contrato

En el caso de retraso injustificado sobre los plazos fijados se impondrá a la empresa proyectista una multa de 1,5% del presupuesto asignado como pago valorado.

8.8.4 Liquidación en caso de rescisión

Se hará una liquidación única que será la definitiva con arreglo a lo estipulado en este pliego.

8.8.5 Cuestiones no previstas o reclamaciones

Todas las cuestiones que pudieran surgir sobre interpretación, perfeccionamiento y cumplimiento de las condiciones del contrato entre ambas partes serán resueltas por la comisión arbitral.

La comisión arbitral deberá dictar resolución después de oídas las partes dentro de los quince días siguientes al planteamiento del asunto ante la misma. Durante este plazo, la empresa proyectista deberá acatar las órdenes de trabajo indicadas por la empresa contratista sin perjuicio de proclamar las indemnizaciones correspondientes si la resolución le fuese favorable. Entre las resoluciones dictadas por la comisión arbitral figurará en todo caso la proposición en que cada una de las partes deberá participar en el abono de los horarios de las personas que forman la comisión y de los peritos cuyo informe haya sido solicitado por ella.

8.9 Conclusiones

Las partes interesadas manifiestan que conociendo los términos de este Pliego de Condiciones y del proyecto adjunto, y están de acuerdo con lo que en él se manifiesta.

9. PRESUPUESTO

9.1 Introducción

El proyecto realizado supone el diseño de un instrumento electrónico capaz de controlar manualmente una controladora numérica o CNC. En este apartado del estudio del proyecto se resumen los costes de su elaboración.

9.2 Coste del material

A continuación se detallará el coste de los componentes que se incluyen, los cuales irán desglosados indicando tanto su identificación general como una descripción particular para cada uno de ellos, así como las unidades y su precio unitario.

▪ Resistencias

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.01	12	Ud.	Carbón. 1/8W. Valor: 150Ω±5%	R0603	0.04€	0.48€
1.02	1	Ud.	Carbón. 1/8W. Valor: 10Ω±5%	R0603	0.04€	0.04€
1.03	1	Ud.	Carbón. 1/8W. Valor: 27Ω±5%	R0603	0.04€	0.04€
1.04	1	Ud.	Carbón. 1/8W. Valor: 1MΩ±5%	R0603	0.04€	0.04€
1.05	1	Ud.	Carbón. 1/8W. Valor: 10KΩ±5%	R0603	0.04€	0.04€

Tabla 26: Resistencias

▪ Resistencias variables

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.06	1	Ud.	Potenciómetro redondo. Ajuste horizontal 1/8W. Valor: 1kΩ±5%	TRIMPOT-3MM	0.60€	0.60€

Tabla 27: Resistencias variables

▪ Condensadores

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.07	1	Ud.	Óxido de Tántalo. 16V 125°C. Radial Valor: 22μF±10%	A/3216-18W	0.05€	0.05€
1.08	1	Ud.	Óxido de Tántalo. 16V 125°C. Radial Valor: 47μF±10%	A/3216-18W	0.05€	0.05€
1.09	4	Ud.	50V 125°C. Valor: 100nF±10%	C0603	0.10	0.40€
1.10	1	Ud.	50V 125°C. Valor: 22pF±10%	C0603	0.10€	0.10€

Tabla 28: Condensadores

▪ **Diodos**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.11	2	Ud.	Diodo rectificador. 1N4148	SOD123	0.04€	0.08€

Tabla 29: Diodos

▪ **Circuitos integrados**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.12	1	Ud.	Microprocesador ATmega 16AU	TQFP100	17.97€	17.97€
1.13	2	Ud.	Schmitt Trigger. 74LS245DW	SO20W	0.60€	1.20€

Tabla 30: Circuitos Integrados

▪ **Pulsadores**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.14	10	Ud.	Pulsador SMD 4 patillas	TACTILE SWITCH SMD	0.74€	7.40€

Tabla 31: Pulsadores

▪ **Encoder**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.15	1	Ud.	Codificador rotatorio HEDS5700	HOLD-6mm	21.99€	21.99€

Tabla 32: Encoder

▪ **Pantalla LCD**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.16	1	Ud.	Display 20x4. PowerTip PC2004-A	-----	13.69€	13.69€

Tabla 33: Pantalla LCD

▪ **Conectores**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.17	1	Ud.	Conector Torneado LCD	PINHD-1X16	0.20€	0.20€
1.18	1	Ud.	Conector Macho DB15	M15D	1.25€	1.25€
1.19	1	Ud.	Conector Torneado ENCODER	PINHD-1X05	0.08€	0.08€
1.20	1	Ud.	Conector Macho L03P	L03P	0.15	0.15
1.21	1	Ud.	Conector Torneado ICSP	PINHD-2X03	0.10€	0.10€

Tabla 34: Conectores

▪ **Placa PCB**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.23	1	Ud.	Placa PCB doble cara	-----	3.45€	3.45€

Tabla 35: Placa PCB

▪ **Osciladores**

Código	Cant	Ud.	Descripción	Encapsulado	Precio	Subtotal
1.22	1	Ud.	SMD crystal CSTCR16M Murata 4.5*2 4502 16MHZ 16.000MHZ 3P	CSTCR16M	0.70€	0.70€

Tabla 36: Osciladores

9.2.1 Coste total del Control Manual

A continuación se desglosan los costes totales de la elaboración del Control Manual, según los componentes utilizados.

Cant	Ud.	Descripción	Subtotal
16	Ud.	Resistencias	0.64€
1	Ud.	Resistencia variable	0.60€
7	Ud.	Condensadores	0.60€
2	Ud.	Diodos	0.08€
3	Ud.	Circuitos Integrados	19.17€
10	Ud.	Pulsadores	7.40€
1	Ud.	Encoder	21.99€
1	Ud.	Pantalla LCD	13.69€
5	Ud.	Conectores	1.78€
1	Ud.	Placa PCB	3.45€
1	Ud.	Osciladores	0.70€
COSTE TOTAL CONTROL MANUAL			70.10€

Tabla 37: Coste total del Control Manual

Asciende el presente presupuesto de Control Manual para CNC a la cantidad de SETENTA EUROS CON DIEZ CÉNTIMOS.

10. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS

10.1 Conclusiones

Una vez terminado el proyecto, podemos decir que se han cumplido las expectativas iniciales que eran las de poner en práctica lo aprendido y a la vez aprender una nueva plataforma tan extendida como lo es Arduino, se ha desarrollado así un control manual para CNC personalizado que puede sufrir muchas modificaciones por parte del usuario final si este dispone de conocimientos básicos en programación.

Nos hubiese gustado sin embargo haber realizado el modo PC como en un principio estaba previsto. Se deja la programación del modo PC implementada para que el usuario final que quiera, pueda realizarlo más fácilmente.

Como en todo proyecto hardware hemos tenido algunos problemas que hemos ido solventando, uno de los más significativos fue el retardo que introducía la pantalla LCD cada vez que se escribía en ella cuando se estaba controlando algún motor. Ésto provocaba una disminución importante en la velocidad de los motores, ya que cada vez que se refresca la pantalla se produce un retraso de 1,52ms, tiempo que es superior a los pulsos enviados a los motores. Para ello ideamos la interrupción interna configurándola para que se produjese cada 100ms para refrescar la pantalla y no cada ciclo de reloj que son 62,5ns, con lo cual mejoramos notablemente la velocidad.

10.2 Futuras mejoras

Este proyecto puede modificarse y mejorarse sin modificar el hardware del Control Manual, modificando la programación del mismo para adecuarlo a una persona en concreto, satisfaciendo así sus necesidades.

También es posible realizar pequeñas modificaciones en el hardware de la placa controladora eliminando el relé pudiendo dotar así la salida del spindle de un control mediante PWM, el cual estaría disponible programando la función correspondiente.

Por último se podría modificar el hardware del Control Manual introduciendo un circuito desplazador de niveles que permita el modo PC para leer los pulsos o un interruptor de encendido/apagado haciendo una pequeña modificación en el diseño.

11. ANEXOS

11.1 Enlaces

- **Arduino:** <http://arduino.cc/>
- **Arduino Mega:** <http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardMega>
- **Microsoft Visio:** <http://office.microsoft.com/en-us/visio/>
- **Eagle:** <http://www.cadsoftusa.com/download-eagle/?language=en>
- **Match3:** <http://www.machsupport.com/software/downloads-updates/>

11.2 Manual de usuario

11.2.1 Introducción

El Control Manual para CNC permite el control de un CNC de manera manual, sencilla e intuitiva proporcionando una cómoda lectura del posicionamiento de los ejes así como de otras características como son la velocidad, rate o el modo elegido.

11.2.2 Descripción del sistema

El Control Manual se compone de tres elementos claramente diferenciados:

- **Puertos de Conexión:** Harán de punto de comunicación con la tarjeta controladora.
- **Panel de mando:** Con 10 pulsadores y un encoder rotativo.
- **Panel LCD:** De 20x4 caracteres.

11.2.3 Características

El Control Manual dispone de ciertas características que se describen a continuación:

- Seguridad frente a pulsaciones accidentales, con pulsaciones largas de acceso y triples de confirmación además de combinaciones de pulsadores para el acceso al menú de configuración.
- Reducción de velocidad de los motores al acercarse al origen o límites de los ejes, de esta manera se protege el sistema.
- Protección contra la selección de más de un eje a la vez o eje y spindle.
- El Control Manual entra en modo Stop si recibe una señal de “E-Stop” (Emergency STOP) del CNC.

11.2.4 Funciones

- **Deshabilitar el Control Manual (Modo STOP):** Podrá deshabilitar el Control Manual comunicándolo así con la tarjeta controladora pulsando el botón STOP del panel de mando. Una vez se encuentre en este modo aparecerá un mensaje informativo en pantalla, para salir habrá que presionar la combinación de pulsadores CLS, RATE, STOP.
- **Acceder al menú de selección de mModes:** El menú de selección son unas pantallas de configuración del modo de MicroStep de los motores, para acceder a él deberá mantener presionada la combinación de pulsadores X, Y, Z durante al menos 3 segundos. Para desplazarse en este menú dispone de los pulsadores Z (OK), CLS (Salir), X (+) y SPINDLE (Atrás). La descripción de este menú se encuentra más detallada en el punto 11.2.5 Descripción del menú.
- **Mover ejes X Y Z o C:** Para mover un eje es preciso mantener presionado el pulsador del eje que se quiera mover y sin soltar el pulsador accionar el encoder rotativo en la dirección elegida, éste se encarga de regular la velocidad de desplazamiento del eje de manera cómoda.
- **Activar y Desactivar el spindle:** Podrá activar el motor spindle manteniendo presionado el pulsador SPINDLE, para desactivarlo solo tendrá que dejar de presionar el pulsador.
- **Cambiar el rate:** Es posible modificar el multiplicador de velocidad (rate) de manera que el encoder necesite menos radio de giro para alcanzar la velocidad máxima, podrá cambiar este multiplicador con el pulsador RATE.

- **Volver a origen:** Esta función retorna al origen de coordenadas los ejes que no estén ya, para ello se deberá mantener presionado durante al menos un segundo el pulsador HOME hasta que aparezca el mensaje de confirmación "HOME?" en pantalla, una vez haya salido el mensaje dispone de cinco segundos para realizar tres pulsaciones sobre el pulsador HOME para activar el retorno, en caso contrario si no se han realizado tres pulsaciones en ese tiempo, se desactivará la función por seguridad.
- **Borrar datos:** Esta función reinicia los valores del Control Manual a su modo inicial, para ello se deberá mantener presionado durante al menos un segundo el pulsador CLS hasta que aparezca el mensaje de confirmación "CLEAR?" en pantalla, una vez haya salido el mensaje dispone de cinco segundos para realizar tres pulsaciones sobre pulsador CLS para activar el borrado, en caso contrario si no se han realizado tres pulsaciones en ese tiempo, se desactivará la función por seguridad.

11.2.5 Descripción del menú

El menú se basa en unas pantallas en las que se configura el modo Microstep (mMode) de los motores para que se correspondan con la configuración elegida en la tarjeta controladora.

La pantalla principal de este menú muestra los mModes actuales, podrá modificarlos presionando el pulsador Z:[MOD.] o salir del menú con CLS:[SALIR]. Si pulsa C accederá a la pantalla del Mmode del eje X, el cual puede modificar con el pulsador X:[+], si lo desea puede avanzar con Z:[OK.], retroceder con SPINDLE:[ATRAS] o salir con CLS:[SALIR], las siguientes tres pantallas son los mModes correspondientes a los ejes Y, Z y C. La siguiente pantalla será la pantalla de resumen de los mModes que ha escogido, podrá memorizarlos con Z:[MEM.], volver a la pantalla de selección de mModes para volver a modificarlos con SPINDLE:[ATRAS], o salir sin guardar pulsando CLS:[SALIR], Si pulsa Z:[MEM] se memorizarán los nuevos mModes y accederá a la pantalla final del menú que mostrará los mModes memorizados, en esta pantalla podrá volver atrás para modificar los mModes con SPINDLE:[ATRAS] o salir del menú con CLS:[SALIR].

11.3 Contenido del CD

A continuación se enuncia el contenido del CD, indicando el nombre del subdirectorio si existiera, el nombre del archivo y su contenido.

- **Titulo.pdf:** Contiene el título del proyecto.
- **Resumen.pdf:** Contiene un resumen del proyecto.
- **Presentación.ppt:** Contiene la presentación del proyecto.
- **Subdirectorio “Arduino”:** Contiene documentos informativos sobre Arduino.
- **Subdirectorio “Código”:** Contiene el código de la programación.
- **Subdirectorio “Componentes”:** Contiene los datasheet de los componentes utilizados.
- **Subdirectorio “Diagramas”:** Contiene los diagramas de flujo de la programación.
- **Subdirectorio “Librerías”:** Contiene las librerías utilizadas en el programa Eagle.
- **Subdirectorio “Planos”:** Contiene los planos y esquemas del proyecto.
- **Subdirectorio “Proyecto”**
 - **Control Manual para CNC.pdf:** Contiene una copia digital de este mismo ejemplar.
- **Subdirectorio “Software”:** Contiene el software que la legislación actual permite incluir en el CD.
- **Subdirectorio “Videos”:** Contiene los videos explicativos de las funciones del Control Manual.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Allan R. Hambley - 2001 - Electrónica. Pearson Education.
- Thomas L. Floyd - 2006 - Fundamentos de Sistemas digitales. Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control. Universidad Politécnica de Madrid.
- Eduardo Soto S. - 2005 - Motor paso a paso. Departamento de Electricidad. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Rafael T. Rosaleny - Encoders Ópticos.

Páginas web:

- www.arduino.cc - Sitio web oficial de Arduino. Plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. *[Último acceso: Agosto 2013]*.
- www.cadsoftusa.com - Sitio web oficial de Eagle. Software de edición de diseño PCB gráfico. *[Último acceso: Julio 2013]*.
- <http://office.microsoft.com/es-es/visio/> - Sitio web oficial de Microsoft Office Visio. *[Último acceso: Junio 2013]*.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Control_numerico_por_computadora - Introducción al CNC. *[Último acceso: Febrero 2013]*.
- <http://proyctoselectronics.blogspot.com.es/2008/09/optoacoplador> - Definición y características del optoacoplador. *[Último acceso: Marzo 2013]*.
- <http://sparkle.tribbeck.com/eaglesearch2/index.php> - Sitio web de búsquedas de librerías y dispositivos de Eagle PCB. *[Último acceso: Julio 2013]*.
- <http://www.8051projects.net/lcd-interfacing/> - Tutorial sobre la interface LCD con microcontroladores. *[Último acceso: Marzo 2013]*.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Resistor> - Información sobre la resistencia o resistor. *[Último acceso: Marzo 2013]*.
- <http://artefactos.leame.com/index.php> - Información sobre los reguladores de tensión. *[Último acceso: Marzo 2013]*.

- <http://www.slideshare.net/poseidonJM> - Diagramas de flujo. Último acceso: *[Último acceso: Junio 2013]*.
- www.pfinalfra.com.ar/ - Departamento de Electrónica. UTN Fra Avellaneda. Motores paso a paso. *[Último acceso: Marzo 2013]*.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_de_cristal_liquido - Definición y características de la pantalla de cristal líquido o LCD. *[Último acceso: Diciembre 2012]*.
- <http://tallerarduino.com> - Tutorial sobre las interrupciones y los timers de Arduino. *[Último acceso: Mayo 2013]*.
- <http://maxembedded.com/2011/06/28/avr-timers-timer1> - Introducción a los timers de la serie AVR. *[Último acceso: Mayo 2013]*.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Disparador_Schmitt - Descripción y funcionamiento del disparador de Schmitt. *[Último acceso: Diciembre 2012]*.
- <http://perso.wanadoo.es/abeldg/documentacion/condensadores> - Definición y tipos de condensadores. *[Último acceso: Marzo 2013]*.
- <http://www.melca.com.ar/> - Sitio web de electrónica. Configuración del programa Mach 3. *[Último acceso: Abril 2013]*.
- <http://reprap.org/wiki/> - Sitio web con información sobre el integrado TB6560 de Toshiba. *[Último acceso: Abril 2013]*.
- <http://pepote.vascodelazarza.com/Transistores.html> - Definición y tipos de transistores. *[Último acceso: Abril 2013]*.