



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**CONTROL DE CERRAMIENTOS MOTORIZADOS
SIN FINALES DE CARRERA**

Autor:

Grosu, Andrian

Tutor:

**Díez Muñoz, Pedro Luis
Departamento de Tecnología
Electrónica**

Valladolid, junio de 2017.

Para Georgeta:

*Por acompañarme estos años;
Por todos los momentos que
compartimos y los que perdimos;
Por sufrir esas asignaturas
infinitas como si fueran tuyas;
Por sacarte, en definitiva, carrera
y media.*

...y porque te lo debo.

Gracias.

Estudio, diseño y desarrollo de un sistema de control para toldos y persianas capaz de detectar situaciones de riesgo en el funcionamiento habitual analizando el consumo de corriente del motor de inducción.

Estudio e implementación de microcontrolador industrial de 16 bits (Microchip) como sistema de control lógico.

El automatismo aprende la curva de esfuerzos del motor y se adapta a las variaciones del entorno debido a la fricción, cambios de temperatura y envejecimiento del mecanismo.

Las situaciones de riesgo se detectan con lecturas de corriente fuera del rango de valores esperados. En caso de emergencia, se detiene el movimiento del motor y se realiza la maniobra de liberación con un breve retroceso.

Incluye construcción de prototipo para comprobar el correcto funcionamiento.

PALABRAS CLAVE:

Control Persiana Microcontrolador Final de carrera Seguridad

ABSTRACT

Study, design and development of a control system for awnings and blinds capable of detecting risk situations in normal operation by analyzing the current consumption of the induction motor.

Study and implementation of 16-bit industrial microcontroller (Microchip) as a logical control system.

The automatism learns the motor's stress curve and adapts to the variations of the environment due to friction, temperature changes and aging of the mechanism.

Hazard situations are detected with current readings outside the range of expected values. In case of emergency, the motor movement is stopped and the release maneuver is carried out with a brief recoil.

Includes prototype construction to check correct operation.

KEYWORDS:

Control Blind Microcontroller Limit switch Safety

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	IV
ABSTRACT	IV
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
PRÓLOGO	XVI
OBJETIVOS	XVIII
CAPÍTULO 1. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	1
1.1 Estado de la técnica	1
1.1.1 Historia.....	1
1.1.2 Tipos de persianas.....	3
1.2 Análisis del problema	7
1.3 Análisis inicial de necesidades	8
1.4 Justificación del diseño.....	9
1.5 Principio de funcionamiento	9
1.6 Estudio necesidades hardware	11
1.6.1 Motor.....	11
1.6.2 Transductor de corriente.....	14
1.6.3 Amplificación.....	23
1.6.4 Lógica	24
1.6.5 Potencia.....	33
1.7 Estudio necesidades software	37
1.7.1 Oscilador.....	37
1.7.2 Reinicio (Reset)	42
1.7.3 Interrupciones	45
1.7.4 Temporizadores.....	49
1.7.5 Convertidor A/D de 10 bits.....	54
CAPÍTULO 2. CÁLCULOS	71
2.1 Motor asíncrono.....	71
2.1.1 Par resistente.....	71
2.1.2 Necesidades básicas	71
2.1.3 Calculo carga mecánica.....	72
2.1.4 Lectura inicial de corriente	76
2.1.5 Conclusión inicial	77
2.2 Transductor de corriente	78
2.2.1 Configuración del transductor.	78
2.2.2 Necesidades básicas	79
2.3 Divisor de Tensión.....	80

2.4 Filtro activo para la señal de corriente.....	81
2.4.1 Filtro pasabajo con $f_c = 50Hz$	82
2.4.2 Filtro pasabajo con $f_c = 3kHz$	82
2.5 Detección de paso por cero.....	84
2.6 El microcontrolador.....	85
2.6.1 PIC24FJ256DA210.....	85
2.6.2 Necesidades básicas.....	85
2.6.3 Estimación del gasto energético máximo.....	88
2.7 Fuente de alimentación.....	90
2.7.1 Justificación.....	90
2.7.2 Diagrama de flujo.....	90
2.7.3 Niveles de tensión.....	91
2.7.4 Esquema electrónico.....	92
CAPÍTULO 3. DISEÑO HARDWARE.....	93
3.1 Captura de esquemas (Schematics).....	93
3.1.1 Unidad de Control.....	93
3.1.2 Unidad de Potencia.....	95
3.2 Rutado de las placas de circuito impreso (PCB).....	96
3.2.1 Automático.....	96
3.2.2 Manual.....	96
3.2.3 Ancho y separación de pistas.....	96
3.2.4 Elementos de unión entre PCBs.....	97
3.2.5 Recomendaciones del fabricante de circuitos impresos.....	98
3.2.6 Exportación de documentación.....	100
3.3 Fitolitos.....	101
3.4 Lista de materiales.....	103
CAPÍTULO 4. DISEÑO SOFTWARE.....	105
4.1 Lenguaje de programación.....	105
4.2 Diagrama de flujo.....	106
4.3 Rutina ADC.....	109
4.3.1 Aprendizaje de la curva de consumo.....	109
4.4 Rutina de emergencia.....	110
4.5 Configuración del micro.....	111
4.5.1 MPLAB-X Code Configurator.....	111
CAPÍTULO 5. PROTOTIPO.....	115
5.1 Montaje.....	116
5.2 Resultados.....	117
CAPÍTULO 6. PRESUPUESTO.....	118
CAPÍTULO 7. MANUAL DE USUARIO.....	121
7.1 Contenido de la caja.....	121
7.2 Advertencias y precauciones de seguridad.....	121
7.2.1 Advertencias de seguridad.....	121
7.2.2 Advertencias para el uso.....	122

7.3 Descripción del producto y uso previsto	122
7.4 Instalación del producto.....	123
7.4.1 Instalación del motor tubular	123
7.4.2 Instalación del controlador	123
7.5 Conexiones eléctricas	123
7.5.1 Botonera de pared – Control.....	123
7.5.2 Motor – Control	124
7.5.3 Control – Red eléctrica	124
7.6 Puesta en marcha	124
7.6.1 Combinación de los movimientos de Subida y Bajada	125
7.6.2 Maniobra de aprendizaje	125
7.6.3 Maniobra habitual	125
7.7 Eliminación del producto	126
7.8 Guía para solucionar problemas	126
7.9 Características técnicas	126
CAPÍTULO 8. RESPONSABILIDAD SOCIAL.....	129
8.1 Extracción.....	129
8.2 Transporte	129
8.3 Fabricación.....	129
8.4 Montaje.....	130
8.5 Servicio.....	130
8.6 Desuso	130
8.7 Reutilización	130
8.8 Reciclado.....	130
8.9 Legislación	130
CAPÍTULO 9. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....	133
9.1 Aplicaciones prácticas	135
CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES	137
10.1 Propuestas de mejora	137
BIBLIOGRAFÍA	139
ANEXOS	143
Anexo 1: Esquemático Control y Potencia	144
Anexo 2: Esquemático Fuente de Alimentación	145
Anexo 3: Gerber de montaje “Pick and Place”	146
Anexo 4: Transductor de corriente LEM LTS 6-NP (traducción propia) ..	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Sensorización cerramientos para identificar obstáculos	XVIII
Fig. 2 Persiana de bambú	1
Fig. 3 Edward John Bevan mejoró el mecanismo de las persianas	2
Fig. 4 Ventana con persiana de cajón visible	3
Fig. 5 Ventana con persiana de cajón oculto	3
Fig. 6 Persiana veneciana.....	4
Fig. 7 Descripción gráfica persiana veneciana.....	4
Fig. 8 Persiana vertical	4
Fig. 9 Descripción gráfica persiana vertical	4
Fig. 10 Persiana enrollable	5
Fig. 11 Descripción gráfica persiana enrollable	5
Fig. 12 Persiana romana.....	5
Fig. 13 Paneles japoneses.....	5
Fig. 14 Persiana plisada	6
Fig. 15 Esquema de instalación de una persiana motorizada.....	9
Fig. 16 Procedimiento tratamiento señal de lectura de corriente	10
Fig. 17 Motor tubular Somfy.....	11
Fig. 18 Motor tubular Nice®	11
Fig. 19 Despiece del motor tubular para cerramientos. (Amigo®)	12
Fig. 20 Selección del motor tubular para persianas según Carga-par.	13
Fig. 21 Selección del modelo según el par	13
Fig. 22 Dimensiones generales del motor tubular OneMax XM2800000	13
Fig. 23 Etiqueta con datos del motor tubular.....	13
Fig. 24 Interpretación de la etiqueta.....	13
Fig. 25 Transductor de corriente LTS 6-NP	15
Fig. 26 Selección del Transductor de corriente LTS 6-NP	15
Fig. 27 Representación de los parámetros eléctricos de efecto Hall	16
Fig. 28 Principio de funcionamiento del transductor de bucle cerrado.....	17
Fig. 29 Ancho de banda "generador Hall" y "transformador de corriente".....	17
Fig. 30 LTS 6-NP	18
Fig. 31 Curva de salida de las familias de productos de LTS y HTS	19
Fig. 32 Definición de parámetros de respuesta transitoria módulos LEM	21
Fig. 33 La adición de diodos serie	23
Fig. 34 Símbolo genérico Amplificador Operacional	23
Fig. 35 Estructura interna del LM324AD con dos AO	23
Fig. 36 Estructura genérica de un microcontrolador	26
Fig. 37 Diagrama de bloques de las necesidades del proyecto	26
Fig. 38 Página de inicio de la web de Mircochip	29
Fig. 39 Motor de selección de Microchip para la familia de 16-bits.....	29
Fig. 40 Kit de desarrollo DM240312 para el PIC24FJ256DA210	30
Fig. 41 Resumen comparativo de características del PC24FJ256DA210.....	32
Fig. 42 Símbolo esquemático para el circuito ZCD	33
Fig. 43 Pulsos de Detección del Paso por Cero (Zero Crossing Detection)..	34
Fig. 44 Encapsulados disponibles MOC306X	34
Fig. 45 Esquemático del Optotriac MOC3063SM	35

Fig. 46 Circuito de aplicación de conmutación de línea caliente.....	35
Fig. 47 Curva de temperatura durante el proceso de soldadura.....	36
Fig. 48 Esquemático del Triac.....	36
Fig. 49 Encapsulado SOT428 para el Triac.....	36
Fig. 50 Diagrama general del sistema de reloj de la familia PIC24F.....	38
Fig. 51 Tiempo de ciclo de reloj o de Instrucción.....	38
Fig. 52 OSCCON: Oscillator Control Register.....	39
Fig. 53 CLKDIV: Clock Divider Register.....	40
Fig. 54 OSCTUN: FRC Oscillator Tuning Register.....	40
Fig. 55 CLKDIV2: Clock Divider Register 2.....	40
Fig. 56 Bloque PLL 4x básico.....	41
Fig. 57 Diagrama de bloques del sistema de Reset.....	43
Fig. 58 RCON: Reset Control Register.....	43
Fig. 59 Características de los temporizadores de Reset.....	45
Fig. 60 Temporización de interrupción durante una instrucción de un ciclo..	47
Fig. 61 Diagrama de bloque de temporizador de Tipo A.....	50
Fig. 62 Diagrama de bloque de temporizador de Tipo B.....	50
Fig. 63 Diagrama de bloque de temporizador de Tipo C.....	51
Fig. 64 Temporización de Interrupción.....	52
Fig. 65 Diagrama de bloques del par de temporizadores Tipo B o C.....	54
Fig. 66 Diagrama de bloques del convertidor A/D de 10 bits.....	56
Fig. 67 Muestreo A/D y Secuencia de conversión.....	57
Fig. 68.....	57
Fig. 69 Modelo de máquina de estado del módulo A/D.....	58
Fig. 70 Período de reloj de conversión A/D.....	60
Fig. 71 Conversión de un canal A/D.....	61
Fig. 72 Conversión de un canal, muestra automática, conversión manual ...	61
Fig. 73 Tiempo de disparo de conversión con reloj.....	62
Fig. 74 Conversión de un canal, inicio de muestra manual, inicio de conversión basado en T_{AD}	62
Fig. 75 Conversión de un canal, inicio de muestra automática, inicio de conversión basado en T_{AD}	63
Fig. 76 Conversión de un canal 16 veces por interrupción.....	64
Fig. 77 Modelo de entrada analógica del Convertidor A/D de 10 bits.....	65
Fig. 78 Función de Transferencia A/D.....	66
Fig. 79 Tiempo de conversión A/D.....	68
Fig. 80 El modelo de la etapa de entrada del ADC MCP320X puede reducirse a una resistencia de conmutación y condensador de muestra.....	68
Fig. 81 Funcionamiento del MCP3201 con precisión en 0.1 LSb.....	69
Fig. 82 Necesidades de conexión del motor con cambio de giro.....	72
Fig. 83 Evolución de la carga suspendida por vuelta completa del motor	74
Fig. 84 Evolución de la longitud de persiana suspendida por vuelta.....	74
Fig. 85 Evolución del par resistente debido a la carga suspendida.....	75
Fig. 86 Circuito para la medida directa de corriente.....	77
Fig. 87 Medida directa de intensidad.....	77
Fig. 88 Principio de funcionamiento del transductor IT.....	78
Fig. 89 Configuración serie del transductor de corriente LEM® LTS 6-NP	79
Fig. 90 Datos eléctricos del transductor de corriente LTS 6-NP.....	79
Fig. 91 Divisor de Tensión.....	80
Fig. 92 Filtro pasabajo.....	81

Fig. 93 Variación de la tensión de salida en función de la corriente	81
Fig. 94 Filtro activo pasabajo de primer orden	82
Fig. 95 Página web del micro seleccionado, PIC24FJ256DA210	85
Fig. 96 Necesidades de alimentación del micro	86
Fig. 97 Configuración hardware del pin Master Clear (MCLR).....	86
Fig. 98 Regulador interno de tensión habilitado.....	86
Fig. 99 Recomendación hardware del oscilador, PCB de una capa	87
Fig. 100 Recomendación hardware oscilador, PCB doble capa	87
Fig. 101 Datos de consumo del microcontrolador PIC24FJ256DA210	88
Fig. 102 Consumo de corriente del transductor de corriente	88
Fig. 103 Diagrama de bloques funcionamiento Fuentes Conmutadas.....	90
Fig. 104 Niveles lógicos admisibles para las familias CMOS y TLL.....	91
Fig. 105 Datos de la fuente conmutada diseñada, 5.0V@2.0A	92
Fig. 106 Esquema electrónico del circuito para la fuente conmutada	92
Fig. 107 Captura del Circuito de la Etapa de Control.....	93
Fig. 108 Captura del Transductor de Corriente y Divisor de Tensión	94
Fig. 109 Captura circuito etapa de potencia.....	95
Fig. 110 Características de las pistas de entrada, 230V@50mA	96
Fig. 111 Características de la pista de salida, 5V@2A	97
Fig. 112 Elementos de soporte PCB.....	97
Fig. 113 Separación mínima entre pistas.....	99
Fig. 114 Taladro mínimo	99
Fig. 115 Corona mínima	99
Fig. 116 Máscara antisoldante	99
Fig. 117 Marcaje de componentes.....	99
Fig. 118 Fresado.....	100
Fig. 119 Capa superior (TOP) fuente de alimentación 5V@2A	101
Fig. 120 Cara inferior (BOTTOM) fuente de alimentación 5V@2A	101
Fig. 121 Vista superior en 3D de la fuente de alimentación	101
Fig. 122 Vista inferior en 3D de la fuente de alimentación	101
Fig. 123 TOP Layer placa de Control.....	102
Fig. 124 BOTTOM Layer placa de Control.....	102
Fig. 125 Vista 3D superior placa de Control	102
Fig. 126 Vista 3D inferior placa de Control	102
Fig. 127 Lenguajes de programación.....	105
Fig. 128 Diagrama de flujo de la lógica del sistema.....	106
Fig. 129 Diagrama de flujo Interrupción Paso por Cero (ZCD)	107
Fig. 130 Diagrama de flujo Interrupción 1, Botón Arriba	107
Fig. 131 Diagrama de flujo Interrupción 2, Botón Abajo.....	108
Fig. 132. Diagrama de flujo Convertidor Analógico-Digital (ADC).....	109
Fig. 133 Diagrama de flujo Interrupción Emergencia	110
Fig. 134 Configuración del Oscilador Interno Rápido (FRC)	111
Fig. 135 Pinout del microcontrolador 24FJ256DA210.....	112
Fig. 136 Configuración del Timer5 con MCC	113
Fig. 137 Interrupciones 0, 1 y 2 habilitadas	113
Fig. 138 Activación int. por flanco positivo	113
Fig. 139 Configuración del convertidor A/D.....	114
Fig. 140 Resultado parcial soldadura prototipo.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Posibilidades de conexión del módulo LEM®	18
Tabla 2	Resumen de necesidades del microcontrolador	27
Tabla 3.	Valor de los bits de configuración para la selección del reloj	39
Tabla 4	Selección del oscilador según el tipo de Reset	44
Tabla 5	Funciones del módulo A/D por registros y bits	59
Tabla 6.	Índice de peso para según material de lamas.....	71
Tabla 7	Necesidades de conexión del motor inversión de giro	72
Tabla 8.	Evolución de la carga por vuelta	73
Tabla 9.	Nomenclatura para los cálculos	75
Tabla 10.	Evolución del par motor.	75
Tabla 11	Necesidades de conexión del transductor de corriente.....	79
Tabla 12	Lista de materiales (BOM) placa de control y potencia	103
Tabla 13	Lista de materiales (BOM) de la fuente de alimentación	104
Tabla 14	Desglose de gasto en materiales Placa de Control.....	118
Tabla 15	BOM Fuente de Alimentación valorado.....	119
Tabla 16	Desglose honorarios profesionales	120
Tabla 17	Desglose gastos directos	120
Tabla 18	Resumen de comandos y acciones asociadas	125

Cualquier persona, antes o después, ha de realizar un proyecto, sea grande o sea pequeño. Lo hacemos para demostrar que somos capaces y, además, en esta ocasión, para culminar la etapa de estudios universitarios. Para hacer tal cosa, se debe tener una semilla germinando durante un buen tiempo en lo íntimo de las ideas y una vez madurada y apoyada por la seguridad intrépida de uno mismo, presentarla a un buen oyente. Según suerte, la reacción de quién escucha esa idea en fase de cocción, el sueño se hace realidad o muere.

En mi caso, estudiante de Grado en Electrónica Industrial y Automática en la Universidad de Valladolid, no puedo evitar pensar en cambiar mi entorno más inmediato aportando lo mejor que sea capaz. El Trabajo Fin de Grado es la oportunidad que se nos brinda de mostrar el ímpetu creativo, la capacidad de resolución y dejar el listón alto para las generaciones venideras.

Puestos a trabajar, decido realizar un proyecto que sea tangible, intentar hacer que funcione y, sobre todo, conseguirlo. Aprender más sobre la electrónica es una carrera de fondo, que, según he sido testigo durante estos años, no acaba más que empezar. La sociedad ha acelerado la evolución de este sector de la industria y las tecnologías siguen el ritmo. ¿O era al revés?

Objetivos generales

En los días que corren, a mitad de la segunda década del siglo XXI, la domótica está presente en muchos hogares, haciendo gestión de los recursos naturales para un gasto energético eficiente, protege la intimidad de los habitantes o ambienta la casa con música adecuada para cada momento. Pensar en un hogar domotizado no solo es ir a comprar un mecanismo que accione un motor que a su vez suba o baje una persiana o un toldo, se refiere a una gestión inteligente de la energía absorbida del sol, simular presencia humana cuando los propietarios están de vacaciones y un sinfín de posibilidades.

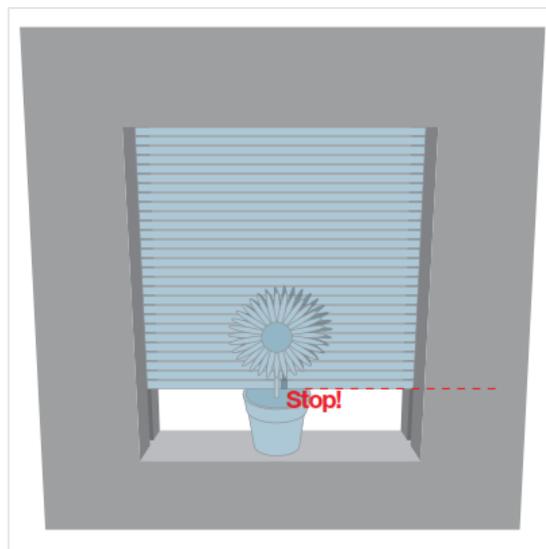


Fig. 1 Sensorización cerramientos para identificar obstáculos

Interesa comentar que las persianas motorizadas son un invento del pasado y sobre lo que todo está dicho, pero en este trabajo se pretende añadir un nuevo enfoque. Se intenta ofrecer un cerramiento dotado de un funcionamiento con mayor seguridad para las personas y para los objetos. En otras palabras, la idea es otorgar sensorización al motor con la que sea capaz de detectar obstáculos y así evitar posibles daños en caso de que se puedan ver atrapados en el recorrido de las persianas.

Con una sencilla búsqueda en internet sobre motores para persianas, en el navegador aparecen multitud de explicaciones sobre cómo hacer una instalación para cualquiera que lo desee, conexión del cableado y ajuste de los finales de carrera. Estos últimos, son susceptibles de fallos con el paso del tiempo, por lo que se va dar una respuesta que cumpla las mismas funciones, pero prescindiendo de ellos o que queden como medida auxiliar de seguridad.

El trabajo por hacer, consiste en crear un sistema para discriminar el funcionamiento normal de las situaciones anómalas y con ello la detención del motor cuando detecte cualquier situación inusual. Emplear un microcontrolador con un algoritmo adecuado que sea capaz de aprender la curva de esfuerzo del

motor y a partir de ese momento poder atender las solicitudes de abrir y cerrar la persiana hasta el instante de parada, sea por llegada a final del recorrido o sea por una situación de riesgo a la seguridad. Desde un punto intermedio en el recorrido de la persiana, el sistema debe ser capaz de identificar a qué altura está y cumplir el movimiento con la seguridad exigida.

Se decide que el desarrollo se va a hacer con un microcontrolador directamente en vez de usar algún entorno de mayor nivel de abstracción.

En la Figura 1 se muestra un cerramiento que debe ser capaz de detectar que se apoya sobre una maceta.

Objetivos específicos

- Estudiar las situaciones de carga del motor y crear un algoritmo adaptable a diversas situaciones según el tamaño del hueco a cubrir por el cerramiento y el peso del elemento móvil.
- Identificar un elemento para leer la corriente consumida por el motor en cada instante a una alta velocidad y diseñar un filtro para evitar ruidos en la toma de datos.
- Seleccionar e implementar un microcontrolador.
- Realizar el circuito electrónico: esquemático/s y placa/s de circuito impreso.
- Fabricar una maqueta funcional para poder comprobar el diseño.
- Programar el microcontrolador.

CAPÍTULO 1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Estado de la técnica

Las persianas son un invento muy cómodo y generalizado en países europeos como España, cosa que agradece toda persona acostumbrada a ellas, pero como afirman muchos españoles que viven por el mundo (Cultura y costumbres 2009), las costumbres marcan el rumbo del mercado. Así, en los países nórdicos donde hay poca luz durante gran parte del año, las persianas no ofrecen gran utilidad y no se instalan, aunque durante el verano la luz pueda ser molesta dado que a ciertas altitudes no existe noche. Viajando por el sur de Francia, Italia, incluso en partes de Alemania, podemos ver persianas enrollables o abatibles. Sin embargo, existen lugares donde el sol brilla igual o más que en España y la persiana no acaban de convencer, como es el caso de Nueva Zelanda, por ejemplo.

El mercado actual (hablamos de España principalmente) ofrece muchas opciones a la hora de elegir nuestras ventanas para el hogar. Con o sin persianas, motorizadas o manuales (sean de cuerda o de manivela), variedad de colores, materiales y calidades, incluso pueden ser reforzadas y de seguridad. Como novedad relativamente reciente, pueden ser con mando a distancia o con un sensor de luz que las accione en función de una cantidad de luz deseada en un determinado punto de la instancia.

1.1.1 Historia

Aunque pueda parecer un invento reciente, la persiana fue usada ya por los antiguos egipcios hace siglos (Persianas Zaragoza 2015) que consistían en cañas entrelazadas colgadas delante de la ventana para evitar el paso directo del sol. En China, la fabricación se hacía en bambú y los comerciantes persas se encargaron de traer hasta Venecia el útil invento desde donde se extendió por Europa.



Fig. 2 Persiana de bambú

La evolución de la demanda y de la técnica, ha mejorado el producto con el tiempo. La aportación de Edward Bevan, ha revolucionado la persiana,

introduciendo un sinfín y una polea para el control del ángulo de las lamas adaptándola al mercado de la época (Los estores 2015). Este tipo de persiana, denominada hoy día como veneciana, fue patentada en Londres en 1769.



Fig. 3 Edward John Bevan mejoró el mecanismo de las persianas

Actualmente el uso de la persiana y los toldos como herramientas de control de la energía absorbida por los edificios es un tema en auge dentro de la automatización y la eficiencia energética en los hogares.

1.1.2 Tipos de persianas

Puestos a decorar una casa, se ofrecen muchas alternativas para la protección de la intimidad y el control de la luz entrante. A continuación, se detallan algunas posibilidades ampliamente usadas en España, Portugal, Italia y no solamente.

- La persiana **de cajón**, enrollable en la parte superior de la ventana dentro de una caja prevista para ello, con acceso para revisiones y reparaciones. Es el tipo más extendido y ofrece la posibilidad de motorizar el movimiento. Se puede encontrar en aluminio o PVC ofreciendo servicio durante muchos años. Se fabrican también en madera, pero con presencia cada vez menor debido al rápido desgaste (Climaplas 2006).



Fig. 4 Ventana con persiana de cajón visible



Fig. 5 Ventana con persiana de cajón oculto

- Las persianas **venecianas** son una solución adoptada en los casos en los que no se disponga de la instalación de la anterior o incluso se pueden complementar. Las láminas están en posición horizontal y pueden ser de madera o de metal. Con la ayuda de una cuerda se giran todas a la vez para cerrar o permitir el paso de la luz. También se pueden recoger hacia arriba para permitir abrir la hoja de la ventana.



Fig. 6 Persiana veneciana

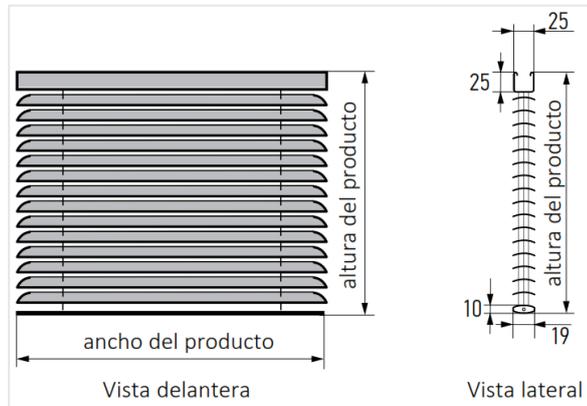


Fig. 7 Descripción gráfica persiana veneciana

- La persiana **vertical** está formada por láminas suspendidas por uno de los extremos y suelen ser de plástico. Se puede controlar el ángulo de inclinación para mayor o menor paso de luz y se recoge a uno de los lados o hacia los dos, dependiendo del tamaño de la misma. Típicamente son instaladas en ambientes laborales, salas de reuniones, bibliotecas o despachos por su aspecto sereno. La orientación vertical aumenta la resistencia al polvo.



Fig. 8 Persiana vertical

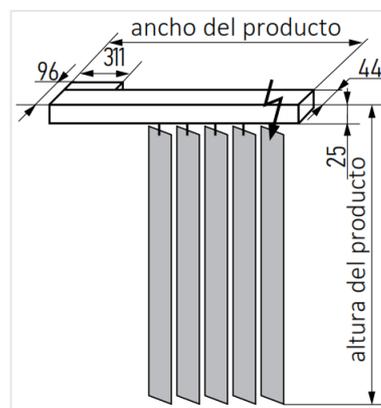


Fig. 9 Descripción gráfica persiana vertical

- La persiana **enrollable** es una pieza de tela o material plástico que protege el interior del efecto de desgaste debido a la luz del sol, así los muebles y todo tipo de objetos en el interior quedan protegidos de los rayos ultravioletas. Accionado con una cadena que hace girar un piñón en el extremo del eje, sube o baja en función de la necesidad de luz. Se puede obtener una oscuridad casi absoluta si se usa un material de un alto grado de opacidad. Ofrece ventajas para espacios de trabajo en cuanto a diseño ya que es menos costoso cambiarlas que las persianas de cajón.



Fig. 10 Persiana enrollable

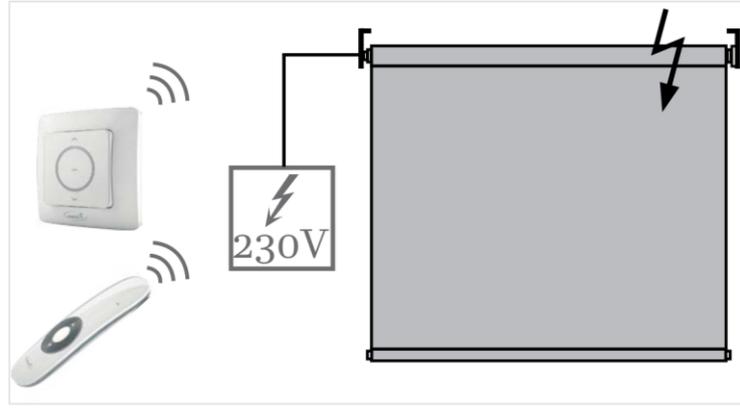


Fig. 11 Descripción gráfica persiana enrollable

- Las persianas **romanas** fabricadas en telas resistentes al polvo y las manchas, se recogen hacia arriba por segmentos tirando de una cuerda.



Fig. 12 Persiana romana

- Los **paneles japoneses** son otro tipo de protección de la intimidad interior que sustituye a las cortinas y consta de hojas de tela o material plástico que se pueden recoger sobre rieles superponiéndose hacia los lados.



Fig. 13 Paneles japoneses

- Las persianas **plisadas** cuentan con dos capas superpuestas de tela protectora, una traslúcida y otra opaca. Una de las ventajas es que se puede recoger desde arriba o desde abajo.



Fig. 14 Persiana plisada

En el análisis anterior se recogen las soluciones más comúnmente empleadas, y se ha prestado atención que todas las posibilidades vistas incluyen opción de motorización. Sin embargo, la idea desarrollada solo es aplicable a cerramientos que usen motores asíncronos de jaula de ardilla alimentados con corriente alterna.

1.2 Análisis del problema

Es preciso visualizar el resultado desde el instante de la primera idea, pero hay que analizar todas las vías posibles para llegar a decidirse por una de ellas con unos criterios razonables de peso.

El problema es mover una persiana y dotarla de capacidad de detectar un funcionamiento anómalo del normal. Se entiende como un evento extraño si se apoya sobre un objeto en el movimiento descendente o si se detecta sobreesfuerzo en el movimiento ascendente.

En este proyecto se quiere dar solución a un problema de control del paso de la luz a través de puertas y ventanas con instalación de persianas. Pensando en el movimiento de la persiana, el primer razonamiento es para el motor. Poner en movimiento de manera autónoma un objeto, requiere un motor, sea del tipo que sea. Poner en marcha el motor se hace pulsando un interruptor fijo situado en la inmediación de la propia ventana o en un mando a distancia. Después hay que decidir en qué momento se debe parar y para eso los motores tienen finales de carrera situados sobre un husillo interno que son ajustables con los que se definen los topes (superior e inferior).

Las soluciones pueden ser varias.

- Se pueden usar sensores de presión entre las dos primeras láminas inferiores y que corten alimentación cuando detectan contacto.

Supone llevar un cable a través de toda la persiana y siendo un elemento móvil que se enrolla sobre sí mismo, es posible que se deteriore el hilo con mucha facilidad y la reparación no sería de lo más fácil. Por otro lado, los sensores de presión deberían ser resistentes al agua y al polvo. Otro sensor de torsión ha de estar en el eje del motor para cortar alimentación si detecta mayor esfuerzo en el ascenso.

- Sensor de barrera situado a los laterales de la ventana que detiene el movimiento en el momento de interponer un obstáculo durante el movimiento. En este caso lo difícil sería detectar sobreesfuerzos.
- Sensor de distancia colocado en la lámina inferior que detenga el motor si detecta un objeto muy próximo.

Implica llevar cable hasta el extremo lo cual resulta difícil de hacer, reparar y mantener. El sensor de distancia no podría marcar el momento de parada en el tope superior de manera fiable ya que si se inserta un obstáculo la lectura sería errónea.

- Un potenciómetro en el eje del motor que cuenta las vueltas.

Es fácil de controlar y dotado de un ciclo de aprendizaje/reajuste podría servir para todo tipo de instalaciones. El problema palpable es el fallo de los potenciómetros con el desgaste lo que daría una vida útil bastante pobre al producto.

- Resistencia variable en vez de potenciómetro.

Las hay de muy buena calidad y precisión y combinado con un microcontrolador puede ser una buena solución. Quedaría resolver el

acoplamiento entre las partes (fija y móvil), el cableado hasta la zona y la variación de la resistencia con la temperatura.

- Un contador que determine el tiempo desde de inicio del movimiento y marcar la parada.

Posiblemente la repetitividad sea muy buena pero no sería capaz de detectar ni sobreesfuerzos ni si se apoya sobre algún objeto.

- Un sensor de corriente que vigile el consumo del motor.

La corriente es proporcional al par y el par es proporcional al esfuerzo. Puede detectar las dos situaciones especiales para detener el movimiento. Combinado con un microcontrolador se puede crear un producto versátil para cualquier altura de la persiana y un amplio rango de pesos. La electrónica se puede situar en cualquier parte, no necesariamente en el cajón del cerramiento, con lo cual se puede disminuir el impacto de la temperatura y la suciedad aparte de eliminar los elementos con posibilidad de roce.

La decisión final, es a favor del uso de un transductor de corriente combinado con una lógica digital proporcionada por un microcontrolador y un elemento de potencia que corte la alimentación del motor. Son dispositivos fiables y robustos ampliamente usados en la industria por lo que también se asegura la continuidad de suministros. El primer uso de la persiana, debe tener un modo especial durante el cual aprenda la curva de esfuerzos. Sube hasta que nota un sobreconsumo debido a los topes en la lama inferior y para. Guarda ese valor inicial y baja contando las vueltas y tomando muestras de la corriente en los picos de la onda hasta el tope inferior donde nuevamente nota un sobreconsumo. Guarda el valor final de la curva. Mismo procedimiento en sentido ascendente. Fuera del modo aprendizaje, la subida y bajada siempre debe tener valores de corriente parecidos a los aprendidos. Después de varios ciclos, la curva permanece dinámica, es decir, se actualiza haciendo la moda de los últimos 10 ciclos, por ejemplo. Con esto, se mantiene viva la curva y lo más ajustada a los cambios que sufre la persiana debido al desgaste en las guías o a los cambios de temperatura entre estaciones.

1.3 Análisis inicial de necesidades

Antes de realizar cualquier pesquisa e iniciar el proceso de resolución de los ítems, hay que detenerse a analizar todos los caminos y anticiparse a los problemas. No es fácil, pero es lo mejor.

Para contemplar las necesidades y dificultades que se van a tener que allanar, el ejercicio sencillo es imaginar el proceso e ir profundizando en los detalles y sus soluciones.

Se parte de la idea de controlar el funcionamiento de un motor de inducción monofásico alimentado con corriente alterna. Para conocer el comportamiento del mismo, lo primero es tomar medida de la corriente que consume. A continuación, se trata esa medida para convertir los datos a valores adecuados para su análisis poniendo un filtro y un amplificador. A la salida del amplificador se usar un microcontrolador que realiza cálculos y guarda información relevante del funcionamiento del sistema, y lo más importante, decide cuando hay que

detener el motor solamente mirando la lectura de la corriente. Con la decisión tomada, envía órdenes al motor a través de un acoplamiento indirecto para poder separar las etapas de control y potencia. Se ponen protecciones y se programa el microcontrolador después de elegir el modelo más indicado para la aplicación.

Una vez resueltas las incógnitas anteriores (además de las no previstas), se procede a la fabricación del prototipo, hacer ensayos y documentar los fallos/errores, si los hubiese, con la lección aprendida.

1.4 Justificación del diseño

Existe un amplio mercado para la comercialización de cerramientos. Por una parte, los hogares están siendo cada vez más automatizados y el control de los cerramientos está muy presente por seguridad y por eficiencia energética con la gestión de la energía solar recibida. Por otra parte, los mercados crecientes demandan producto de calidad en las nuevas viviendas.

El equipo se pretende usar junto al motor eléctrico en aplicaciones donde se requiera instalación de persianas controladas, sea manualmente, o por un equipo inteligente de apertura/cierre automático.

Consiste en un sistema de seguridad capaz de monitorizar el funcionamiento del motor aprendiendo la curva de consumo del mismo para todo el recorrido. Es flexible pudiendo adaptarse a cualquier dispositivo. De hecho, el sistema supone un salto sustancial en la calidad de la instalación: menos fallos, menor mantenimiento y mayor seguridad.

1.5 Principio de funcionamiento

El funcionamiento de una persiana motorizada es tan sencillo como intuitivo. Al presionar el botón hacia arriba, el motor enrolla las lamas de la persiana entorno al eje. Como el motor hace la unión entre la parte fija y la móvil, es decir, el marco de la ventana y las lamas, no es preciso ningún tipo de transmisión ya que el propio motor hace de eje.

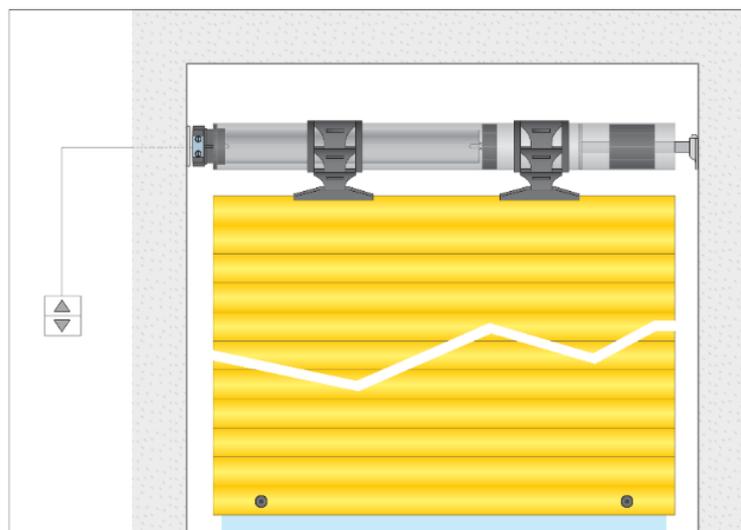


Fig. 15 Esquema de instalación de una persiana motorizada

El movimiento de subir o bajar la persiana empieza con apretar un botón, típicamente indicado con flechas que apuntan hacia arriba (▲) o abajo (▼). El pulsador activa el motor que en sus extremos está fijado al marco de la ventana y a lo largo del cuerpo tubular está unido a la persiana que pone en movimiento. Muchos de los motores están previstos de finales de carrera que detienen el movimiento cuando no se detiene voluntariamente antes de llegar al tope superior o inferior. Los puntos finales se ajustan en el montaje y se pueden modificar en cualquier momento según las necesidades de la instalación.

Cuando se presiona el botón hacia arriba, el pulsador permite el paso de corriente al bobinado del motor y se activa el giro en un sentido. Si se presiona nuevamente, el movimiento se detiene. Presionando sobre el botón hacia abajo, pasa corriente al otro bobinado que hace girar el motor en sentido contrario. Si se vuelve a pulsar, el movimiento se para con la persiana a la altura deseada, si no, parará cuando llegue al final del recorrido y active el final de carrera.

La activación del movimiento puede ser desde los botones instalados en el marco de la ventana o en un lugar próximo en caso de instalaciones por cable. Otra posibilidad es instalar un motor con un módulo radio control que permite subir o bajar la persiana pulsando los botones de un mando a distancia o incluso desde una aplicación instalada en un teléfono inteligente (Smartphone).

Respecto a la señal analógica de entrada a la etapa de procesamiento, es necesario, en primer lugar, poner un filtro pasa bajo con el fin de evitar ruido en la onda, también llamado anti-aliasing. Después se suma una tensión continua para dejar la senoide centrada en el rango de entrada del puerto del microcontrolador. El procesador se encarga de la conversión analógico-digital de la señal, después se aplica un nuevo filtro pasa alto y se sigue con el procesado matemático oportuno que consiste en comparar la muestra con el valor guardado en el aprendizaje para tomar la decisión de detener el motor en caso de emergencia.

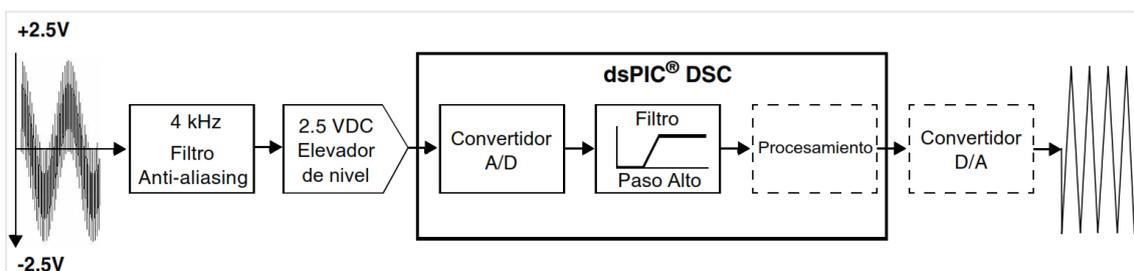


Fig. 16 Procedimiento tratamiento señal de lectura de corriente

1.6 Estudio necesidades hardware

1.6.1 Motor

La fuerza para mover el mecanismo, sin duda, la proporciona un motor. Cabe discutir el tipo más adecuado, pero la experiencia y el predominio de la tecnología del motor asíncrono ha demostrado su valía a lo largo de los años. En los inicios de la motorización en los hogares, el motor asíncrono, fue la única opción porque cualquier otro motor necesitaría mayores instalaciones, como una fuente, por ejemplo. Actualmente es común la presencia de los motores de corriente continua por el abaratamiento de las fuentes y porque cada vez hay más dispositivos que se alimentan de continua o simplemente la fuente es inevitable por la electrónica que mejora la funcionalidad del motor.

El motor de inducción o asíncrono, genera fuerza de torsión a partir de la corriente alterna por el efecto de inducción electromagnética. Los motores usados en cerramientos son construidos con doble devanado para cambiar el sentido de giro.

Existen fabricantes de motores tubulares muy conocidos a nivel nacional y europeo, ejemplos son *Somfy*[®], *FG Matic*[®], *Nice*[®], *Amigo*[®] y otros, que ofrecen múltiples posibilidades de funcionamiento y automatización en función de la luz incidente, velocidad del aire o con control remoto desde el mando a distancia o desde el omnipresente (hoy en día) smartphone.



Fig. 17 Motor tubular Somfy

La documentación comercial de cada marca seduce al comprador con ilustraciones visuales del control remoto o de las estaciones meteorológicas que mueven el cerramiento cerrando el paso de la luz en función de la necesidad interior.



Fig. 18 Motor tubular Nice[®]

La marca rusa *Amigo*[®], ofrece en el catálogo de venta la imagen de la Figura 19 con el despiece del conjunto motor, interesante por descubrir el interior de estos

motores compactos. De izquierda a derecha los bloques funcionales son: finales de carrera mecánicos, condensador de arranque, electromotor, freno de disco, y, por último, reductora.



Fig. 19 Despiece del motor tubular para cerramientos. (Amigo®)

El motor tubular es muy extendido en este tipo de instalaciones debido a la facilidad de conexión a la red de distribución ya que si se fuera a hacer la instalación con un motor de corriente continua sería necesario usar una fuente que hiciera la rectificación de alterna. Para la selección del motor adecuado hay que tener en cuenta las dimensiones físicas del cerramiento que van a mover y el Índice de Peso medido en Kilos por metro cuadrado (kg/m^2).

Dependiendo de las dimensiones de la ventana, el par requerido al motor será diferente, por ello los fabricantes ofrecen en sus catálogos una sencilla guilla para poder elegir con facilidad el motor adecuado para el uso destinado sin demasiado esfuerzo como el ejemplo de la Figura 20.

Si se trata de la modificación de una instalación existente, uno de los parámetros fijados es la dimensión del eje y por ello, el diámetro del motor. En un eje octogonal de 60mm encaja un motor de $\varnothing 45\text{mm}$ quedando espacio para un adaptador. Para ese diámetro hay modelos con fuerza suficiente para mover pesos de hasta 110kg , dependiendo del hueco a cubrir y el material escogido. Normalmente, para un diámetro determinado, la longitud del motor es directamente proporcional con el par. Entonces, otro parámetro a tener en cuenta será la longitud del motor que siempre ha de ser unos 100mm menor que el largo del eje tubular.

1.6.1.1 Selección

Para la selección del motor adecuado para cada aplicación comercial o industrial, según Csanyi 2011, se deben tener en cuenta una serie de parámetros como la *carga*, la *potencia* (es decir los kilowatios¹ necesarios), el *arranque*, el *ciclo de trabajo* y la *hipoxia* (a grandes alturas sobre el nivel del mar, debido a menor densidad del aire hay menor refrigeración del motor).

Decantarse por un fabricante u otro es cuestión de confianza, cercanía o de presupuesto. En este caso se ha escogido un producto de la marca Nice por su abundante material de información necesaria, y también, por la calidad del producto. El precio es asequible y la presencia amplia en el mercado da confianza en cuanto a repuestos y reparaciones.

¹ Cálculo: Potencia (KW) = Par (Nm) x Velocidad (rpm)

En el catálogo de Nice® (2010) consultado, se ofrece una guía fácil de usar para ahorrar trabajo, a cambio de sobredimensionar ligeramente la instalación. Se tiene en cuenta el diámetro del eje y el peso según la Figura 20. Por ejemplo, si el peso está por debajo de 10kg nos sirve un par de 5Nm para casi todos los diámetros de tubo, si pesa 40kg se necesita un par de 30Nm, etc.

Peso persiana (kg)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Ø 52	5	8	15	30	40	50						
Ø 60	5	8	15	30	40	50						
Ø 64	5	8	15	30	40	50						
Ø 70	5	8	15	30	40	50						
Ø 80	5	8	15	30	40	50						
Ø 102	8	15	30	40	50							

Fig. 20 Selección del motor tubular para persianas según Carga-par.

Conociendo el par, en el catálogo se pueden encontrar diferentes modelos de motores que cumplan con el requisito y según las funcionalidades tendrán un precio distinto, siempre a tener en cuenta a la hora de decidir.

Código	Descripción	Uds./paquete	Certificaciones	Precio €
XM1500000	8 Nm, 17 Rpm, 15 Kg*	1	CE	77,00
XM2800000	15 Nm, 17 Rpm, 28 Kg*	1	CE	80,00
XM5600000	30 Nm, 17 Rpm, 56 Kg*	1	CE	113,00
XM7500000	40 Nm, 12 Rpm, 75 Kg*	1	CE	140,00
XM9300000	50 Nm, 12 Rpm, 95 Kg*	1	CE	149,00

* Peso alzado

Fig. 21 Selección del modelo según el par

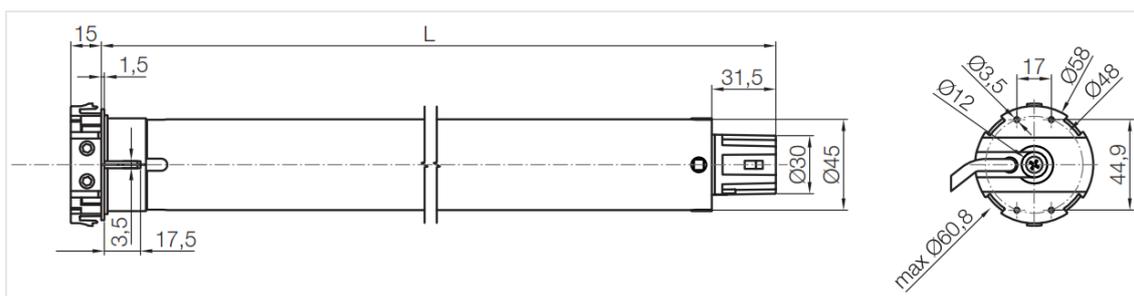


Fig. 22 Dimensiones generales del motor tubular OneMax XM2800000

Una vez seleccionado, en la etiqueta del producto se encuentra la información necesaria para su identificación con los datos técnicos de interés.

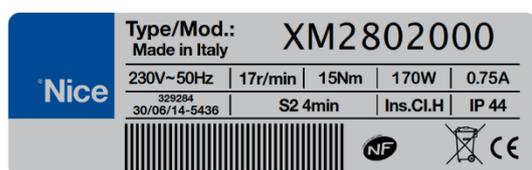


Fig. 23 Etiqueta con datos del motor tubular

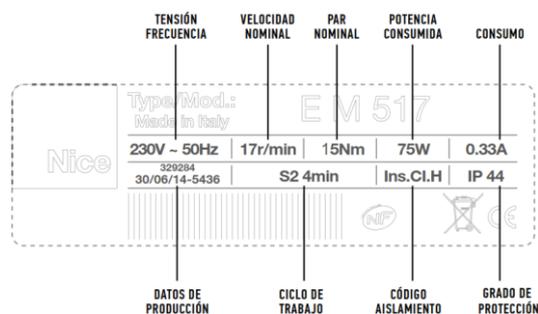


Fig. 24 Interpretación de la etiqueta

Para mayor claridad, se ofrece una guía para la lectura de los valores. Se lee la velocidad angular de giro – 17rpm, par máximo – 15Nm, 170W de potencia que se corresponde con una intensidad nominal de 0.75A si se alimenta a ~230V. En la segunda fila destaca el ciclo de trabajo – 4 min, es decir puede estar

funcionando 4 minutos en una hora, esto es debido a la poca refrigeración del motor instalado en la caja que no permite muy buena disipación del calor. En último lugar, el grado de protección IP44 indica que es resistente a partículas <1mm y a chorros de agua.

El motor destinado a mover la persiana en la maqueta de ensayos es el modelo XM2802000 del fabricante Nice® a un coste de 80€ por unidad en el catálogo.

1.6.1.2 M.C.U. - *Movimiento Circular Uniforme*

Los motores de inducción conectados directamente a la red, trabajan a velocidad constante (17rpm), con lo que su movimiento es circular uniforme. Es un movimiento circular porque un punto periférico del eje, realiza una circunferencia con centro en un punto del eje del motor, y radio, la distancia entre ellos. También es un movimiento uniforme, ya que la velocidad angular de giro es constante. Cabe decir que en el momento de arranque o parada el movimiento es acelerado/decelerado durante un breve periodo de tiempo hasta que adquiera la velocidad constante/nula. Como al enrollarse la persiana sobre el eje resulta en un aumento del radio cuando completa la vuelta, idealmente se puede decir que es un movimiento circular uniforme a trozos.

A continuación, se describen las ecuaciones del movimiento circular uniforme. La ecuación de la posición angular denominada con φ , nos indica el valor en radianes del ángulo descrito durante el tiempo t (en segundos) desde el instante inicial a una velocidad angular constante ω (en rad/s). En el caso del motor empleado $\omega = 17rpm$ que según la ecuación 1 resulta equivalente a 1.78rad/s.

$$17 \frac{rev}{min} \cdot \frac{2\pi rad}{rev} \cdot \frac{1 min}{60 seg} = \frac{17\pi}{30} rad/s \approx 1.78 rad/s \quad (1)$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t \quad (2)$$

Por tanto, para realizar una vuelta completa, el motor tarda 3.53 segundos que se puede hallar como 60/17 o como $2\pi/\omega$.

La velocidad angular del motor permanece constante y solamente depende de la frecuencia de la tensión de alimentación, en cambio, la velocidad lineal de la persiana sufre un incremento/decremento cada vez que se completa una vuelta que se da a intervalos equidistantes en el tiempo de 3.53s desde el momento de solapamiento de capas.

1.6.2 Transductor de corriente

El esfuerzo del motor para vencer las fuerzas de rozamiento y la gravedad se ven reflejadas en conjunto en la corriente que consume de la red. En el caso de la persiana, se ha comprobado que es un esfuerzo variable en toda la trayectoria aparato del pico de consumo inicial debido a las fuerzas de rozamiento estático en los engranajes de la reductora y los rodamientos. Cuanto mayor sea la carga que ha de mover, mayor corriente va a consumir. Evidentemente, para optimizar el consumo, se debe elegir el elemento con la potencia idónea para cada situación de carga nominal. Como se nos ha repetido en los pupitres “no poner un motor de mayor potencia va a funcionar mejor la instalación”. En este

apartado se discute la medición de la magnitud de la corriente y el componente más adecuado para hacerlo es un transductor de corriente.

1.6.2.1 Selección

Los transductores de corriente sirven para convertir la corriente que pasa por un hilo conductor, normalmente de elevados valores, en una salida de fácil interpretación y tratamiento. Existen transductores de corriente con salida de tensión y con salida de corriente. Para un uso posterior de la onda de salida del transductor a la entrada de un microcontrolador (como se pretende) ha de ser con salida de tensión porque los micros son capaces de leer variaciones de tensión únicamente. Aun así, se puede emplear un transductor de corriente con salida de corriente, pero hay que emplear una resistencia de medida (R_M) externa. La diferencia de los circuitos es mínima, pero la resistencia de medida debe tener propiedades de deriva térmica muy exigentes, por lo que se va evitar en este proyecto. Aunque hay varios fabricantes que venden este tipo de sensor como Honeywell®, Phenix Contact®, Sensitec® o Hobut®, hay que decir que predomina el mercado la marca japonesa LEM®. Debido a las altas prestaciones del transductor y la confianza depositada por las empresas durante años, me inclino por el fabricante nipón.

El transductor de corriente del fabricante LEM® que se he empleado pertenece a la familia LTS que se caracteriza por alimentación unipolar de +5V y salida de tensión, adecuada para la entrada al microcontrolador. La tecnología de bucle cerrado y el aislamiento galvánico lo convierte en el candidato ideal. El ancho de banda que es capaz de medir va desde DC hasta 200kHz, muy por encima de las exigencias del proyecto.



Fig. 25 Transductor de corriente LTS 6-NP

Product search results								
Model	Expand	Primary Nominal Value	Measuring Range	Secondary Nominal Signal	Supply Voltage (V)	Accuracy (%)	Mounting	Series
LTS 15-NP	expand	5 A, 7.5 A, 15 A	48 A	0.625 V	5-5 Uni	0.7	PCB	LTS - LTSR - LTSP
LTS 25-NP	expand	8 A, 12 A, 25 A	80 A	0.625 V	5-5 Uni	0.7	PCB	LTS - LTSR - LTSP
LTS 6-NP	expand	2 A, 3 A, 6 A	19.2 A	0.625 V	5-5 Uni	0.7	PCB	LTS - LTSR - LTSP
LTSP 25-NP	expand	8 A, 12 A, 25 A	50 A	12.5 mA	5-5 Uni	2.7	PCB	LTS - LTSR - LTSP
LTSR 15-NP	expand	5 A, 7.5 A, 15 A	48 A	0.625 V	5-5 Uni	0.7	PCB	LTS - LTSR - LTSP

Fig. 26 Selección del Transductor de corriente LTS 6-NP

1.6.2.2 Conceptos teóricos, tecnologías de efecto Hall

El fabricante de transductores de corriente ofrece manuales técnicos para la interpretación del funcionamiento de éstos, entre otros tipos de documentación. Se resume la información básica, para la comprensión del efecto Hall que se utiliza para la lectura de la corriente que pasa por un hilo, del manual *Isolated current and voltage transducers, LEM®*.

Tres de las tecnologías LEM® (lazo abierto, lazo cerrado y Eta) se basan en el efecto Hall, descubierto en 1879 por el físico estadounidense Edwin Herbert Hall en la Universidad Johns Hopkins en Baltimore. El efecto Hall es creado por las fuerzas de Lorentz, $F_L = q \cdot (V \times B)$ que actúan sobre cargas en movimiento a través de un campo magnético.

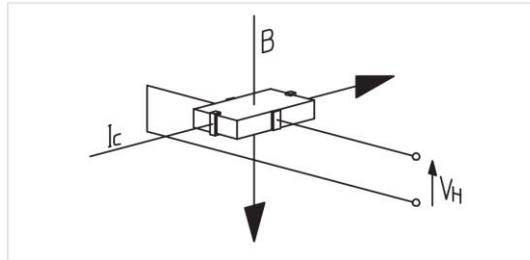


Fig. 27 Representación de los parámetros eléctricos de efecto Hall

Una hoja delgada de material conductor está atravesada longitudinalmente por una corriente de control I_C . Los portadores de carga móvil de esta corriente se ven afectadas como el flujo magnético externo B , genera una fuerza de Lorentz F_L , perpendicular a la dirección del flujo de corriente. La desviación resultante de la corriente provoca más portadores de carga que se ubicarán en un borde de la hoja, creando una diferencia de potencial que se conoce como la tensión de Hall V_H . Para la disposición descrita anteriormente, con el campo magnético, la corriente y los bordes de los hilos perpendiculares entre sí, se obtiene: $V_H = \frac{K}{d} \cdot I_C \cdot B + V_{OH}$ donde ' K ' es la constante de Hall del material conductor, ' d ' es el espesor de la lámina, y ' V_{OH} ' es la tensión de offset del generador Hall, en ausencia de un campo externo. Tal disposición se conoce como un generador de Hall y al producto $\frac{K}{d} \cdot I_C$ se hace referencia generalmente como la sensibilidad del generador Hall.

La sensibilidad y la tensión de offset de generadores Hall dependen de la temperatura. Sin embargo, estos efectos se pueden compensar en gran medida por la electrónica de polarización y la amplificación y detección del generador Hall.

La lectura de la corriente se realiza con un transductor de corriente de efecto Hall de bucle cerrado *LTS 6 – NP* de la marca *LEM®*. En comparación con el transductor de bucle abierto, los transductores de efecto Hall de bucle cerrado (también llamado efecto Hall "compensado") tienen un circuito de compensación, que mejora considerablemente el rendimiento. Mientras el transductor de bucle abierto amplifica la tensión del generador Hall para proporcionar una tensión de salida, el de bucle cerrado utiliza la tensión del generador Hall para crear una corriente de compensación en una bobina secundaria. La corriente secundaria crea un flujo igual en amplitud, pero de sentido opuesto al flujo creado por la corriente primaria.

Operar el generador Hall en una condición de flujo cero elimina la deriva del aumento de la temperatura. Una ventaja adicional de esta configuración es que el arrollamiento secundario actuará como un transformador de corriente a frecuencias más altas, de esta manera se extiende significativamente el ancho de banda y se reduce el tiempo de respuesta del transductor. Cuando el flujo magnético está totalmente compensado (cero), los potenciales magnéticos (amperios-vuelta) de las dos bobinas son idénticos. Por lo tanto: $N_P \cdot I_P = N_S \cdot I_S$ que también puede ser escrito como $I_S = I_P \cdot N_P/N_S$.

En consecuencia, la corriente secundaria I_S , es la imagen exacta de la corriente primaria I_P que se mide. La inserción de una "resistencia de medición" R_M en serie con la bobina secundaria crea una tensión de salida que es una imagen exacta de la corriente medida.

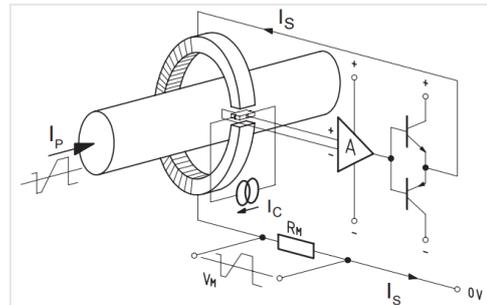


Fig. 28 Principio de funcionamiento del transductor de bucle cerrado

Para dar un orden de magnitud, el número típico de espiras del secundario es $N_S = 1000 \dots 5000$ y la corriente secundaria es por lo general entre $I_S = 25 \dots 300mA$, aunque podría ser tan alta como $2A$. Para corrientes de salida más altas se necesita una etapa de potencia de salida para producir la corriente de salida del transductor.

A bajas frecuencias, el transductor opera utilizando el generador Hall. A frecuencias más altas de la bobina secundaria funciona como un transformador de corriente, proporcionando una corriente de salida secundaria de nuevo definida por la relación de vueltas y se convierte en una tensión por el resistor de medición. Estos efectos se ilustran en la Figura 29.

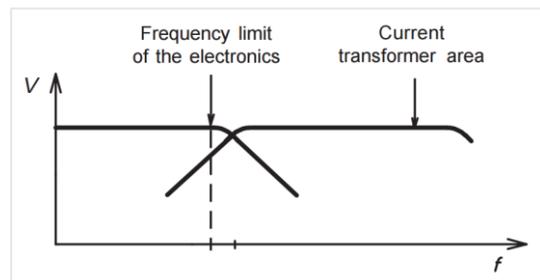


Fig. 29 Ancho de banda "generador Hall" y "transformador de corriente"

El diseño único de los transductores de bucle cerrado proporciona un excelente ancho de banda, típicamente de DC a 200 kHz. El desafío consiste en asegurar una respuesta de frecuencia plana en toda la gama, especialmente donde se cruzan las dos curvas de respuesta, para proporcionar una excelente respuesta dinámica y precisión para todas las señales posibles.

Finalmente, mientras que los transductores de bucle cerrado funcionan teóricamente al flujo cero, diversas imperfecciones magnéticas (flujo de dispersión, de acoplamiento no perfecto) implican un flujo residual en el núcleo que se traduce en pérdidas de hierro a altas frecuencias. En consecuencia, los fenómenos de calentamiento del transductor de bucle abierto se aplican también en este caso, aunque mucho menos significativamente.

Ventajas e inconvenientes

Los transductores de circuito cerrado son capaces de medir corriente continua, alterna y las corrientes complejas al tiempo que garantizan el aislamiento

galvánico. Las ventajas de este diseño incluyen una muy buena precisión y linealidad, baja deriva de ganancia, ancho de banda y tiempo de respuesta rápido. Otra ventaja es la señal de corriente de salida que es fácilmente escalable y muy adecuada para entornos de alto ruido; sin embargo, los transductores de circuito cerrado están disponibles en configuraciones de salida de voltaje. De nuevo, como con la mayoría de las técnicas basadas en medición magnética, las pérdidas de inserción son muy bajas.

Las principales limitaciones de la tecnología de circuito cerrado son el alto consumo de corriente de la red secundaria (que debe proporcionar la compensación, así como la corriente de polarización), las dimensiones más grandes (más notables en los transductores de alta corriente), una construcción más cara en comparación con el diseño más simple de bucle abierto y una tensión de salida limitada debido a la tensión interna suelta a través de la etapa de salida y la resistencia de la bobina secundaria.

Una vez más, dependiendo de los requisitos de las aplicaciones, las ventajas superan a menudo las limitaciones y la precisión y la respuesta de una solución de circuito cerrado es deseable frente a otras alternativas.

Al pasar corriente por el primario genera una pequeña magnitud de tensión en el secundario. La tensión de salida, de orden de milivoltios, se debe filtrar, ampliar e interpretar después para que sirva para toma de decisiones en la programación. Para este propósito se escoge el transductor de corriente LTS 6-NP de la marca LEM® por sus prestaciones y robustez y encaja perfectamente con las necesidades del proyecto.



Fig. 30 LTS 6-NP

Entre las excelentes prestaciones que ofrece este sensor, destaca la precisión, el rango de corriente primaria de hasta ± 19 amperios de pico y la capacidad de sobrecarga hasta 250A. Internamente cuenta con tres transductores independientes que se pueden conectar dependiendo de las características de la muestra. La conexión en serie permite una mayor corriente de entrada y en paralelo se consigue una mayor precisión en la medida. En la siguiente tabla, se describen varias opciones de conexión en el circuito.

Tabla 1 Posibilidades de conexión del módulo LEM®

Número de vueltas en el primario	Corriente nominal eficaz primaria I_{PN} [A]	Tensión nominal de salida V_{out} [V]	Resistencia primaria R_p [mΩ]	Inductancia de inserción primaria L_p [μH]	Conexiones recomendadas
1	± 6	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	± 3	2.5 ± 0.625	0.81	0.05	
3	± 2	2.5 ± 0.625	1.62	0.12	

Corrientes nominales y extremas

En algunos tipos específicos de transductores LEM® (por ejemplo, la familia LTS), las corrientes primarias que exceden el rango de medición de pico pueden crear resultados anormales, aunque no destructivos, debido a las configuraciones electrónicas únicas.

En caso de sobrecarga de corriente, una duración de sobrecarga demasiado larga (por ejemplo >1ms) puede, en algunos casos, empezar a sobrecalentar el amortiguador que protege el transductor contra sobrecargas de tiempos cortos.

Señal de salida - Medición de resistencia

La mayoría de los transductores de bucle cerrado tiene una salida de corriente que se puede convertir fácilmente a una tensión para la medida mediante la adición de una resistencia de medición en serie con la salida.

La salida de un transductor LEM® representa típicamente la señal primaria instantánea, proporcionando la escala de salida y el aislamiento. Los transductores también pueden proporcionar promedio, pico, valor eficaz (RMS) de onda senoidal, o la verdadera salida de RMS.

La señal secundaria puede ser una corriente, una tensión, un bucle de corriente (4 – 20mA), o una salida digital. Esta señal tendrá un desplazamiento de nivel – la salida sin señal primaria, y un rango – la oscilación de salida con un cambio en la señal primaria. Estos pueden adaptarse a una interfaz específica, tal como el convertidor A/D de un DSP o microprocesador.

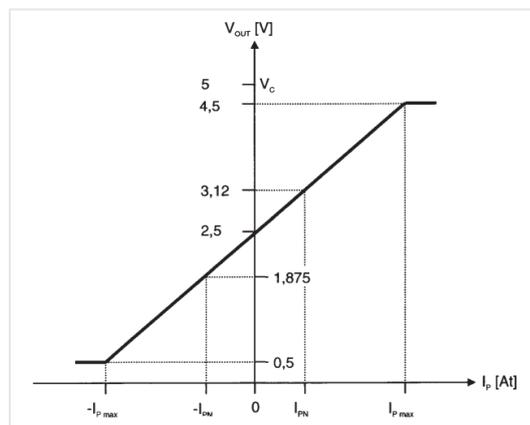


Fig. 31 Curva de salida de las familias de productos de LTS y HTS

Precisión de la medición

Debido al principio de trabajo en bucle cerrado, operando a flujo casi nulo (algo de flujo se mantiene debido a la ganancia de bucle del sistema y a los fenómenos de fuga magnética), los transductores de corriente en bucle cerrado LEM® tienen una excelente linealidad y mínima deriva de ganancia en un amplio rango de medición y de temperatura, con total precisión típicamente permaneciendo por debajo de 1%.

A temperatura ambiente, la precisión está dada por la combinación de:

- Offset de salida a corriente primaria nula ($I_p = 0$)

- no linealidad del generador Hall, electrónica y magnética
- tolerancia de ganancia (la tolerancia del número de espiras de la bobina secundaria)
- la tolerancia de la resistencia de medición R_M (interna o externa)

Y los cambios de temperatura implican:

- offset en la deriva (o con respecto a la tensión de referencia, en su caso)
- deriva del valor de resistencia de medición R_M

Si bien estos factores pueden ser simples para evaluar la intensidad de CC, señales de CA y formas de onda complejas, pueden tener su precisión total afectada por las limitaciones de ancho de banda del transductor, la posibilidad de introducir atenuaciones de frecuencia y cambios de fase.

Para hacer el mejor uso del transductor, las condiciones de montaje deben ser tales que optimicen acoplamiento magnético del primario al secundario, específicamente para señales de corriente alterna en el que el transductor funciona como un transformador de corriente. El diseñador debe considerar tanto el conductor primario (alambre o barra que se mide) y demás conductores en las proximidades, como el conductor de retorno o los conductores de otras fases.

Además, **la colocación de los cables de salida del transductor, o las trayectorias de las pistas de PCB, a la salida del transductor debe limitar las perturbaciones de alta frecuencia creados por conductores externos.**

El cableado de salida debe tener un área mínimo de bucle, para minimizar los efectos di/dt , y los recorridos largos paralelos a los cables de alimentación deben ser evitados, para limitar el acoplamiento capacitivo y minimizar los efectos du/dt .

Observaciones con respecto al desplazamiento magnético

En condiciones normales de trabajo, un transductor de bucle cerrado siempre está trabajando cerca de flujo cero, o bien cuando el bucle cerrado de baja frecuencia basado en Hall es eficaz o cuando el transformador de corriente de alta frecuencia está funcionando. Sin embargo, esto no implica que los transductores de circuito cerrado no están en riesgo de tener un desplazamiento magnético permanente. Como se discutió para transductores de bucle abierto:

- si una corriente primaria de frecuencia baja o media excede el rango de medición de la electrónica (en base a la tensión de alimentación, los parámetros del transductor, y la medición de valor de la resistencia) ya no pueden conducir suficiente corriente de la bobina secundaria para mantener la condición de flujo cero
- si una o ambas de las tensiones de alimentación secundarias están desaparecidas, desactivando el proceso de compensación electrónica, ya no va a ser compensación de flujo cero
- cuando un conductor externo crea la saturación del núcleo localizada, no totalmente detectado por el generador Hall y compensado por la

electrónica, el flujo total en diferentes zonas del núcleo será distinto de cero.

Si ocurre alguna de estas condiciones, el resultado podría ser un offset magnético, lo que resulta en un error de medición adicional. Esto se puede corregir con la desmagnetización.

Con los dispositivos compensados se debe tener cuidado para asegurar que la compensación no niega el esfuerzo de desmagnetización. Idealmente, la salida puede ser desconectada para abrir el bucle de compensación. Si esto no es posible, la desactivación de las fuentes de alimentación logra el mismo objetivo si se utiliza una frecuencia baja para la excitación, para evitar el efecto transformador de corriente.

Ancho de banda y pérdidas en el núcleo

Los transductores de bucle cerrado demuestran excelentes características de ancho de banda. Típicamente, el ancho de banda es de DC a 200kHz.

La corriente nominal no puede ser considerada en todo el rango de frecuencias. Para mantener constante las pérdidas del transductor, el valor actual se reducirá, mientras que aumenta la frecuencia de trabajo.

Mientras que el efecto de transformador de corriente de los transductores de circuito cerrado proporciona un excelente rendimiento de alta frecuencia, todavía está sujeto a pérdidas en el núcleo debido a la histéresis y pérdidas por corrientes parásitas. Al igual que con transductores de bucle abierto, se debe tener cuidado cuando se trata de la medición a largo plazo de altas corrientes a altas frecuencias.

Tiempo de respuesta y comportamiento di/dt

El tiempo de respuesta de un transductor caracteriza cómo va a responder a una corriente de paso con una velocidad controlada de cambio, llamado a continuación di/dt . Se define por varios parámetros tales como el tiempo de retardo, tiempo de subida y el tiempo de reacción. Los transductores de circuito cerrado muestran rápidos tiempos de reacción, por lo general menos de 1µs.

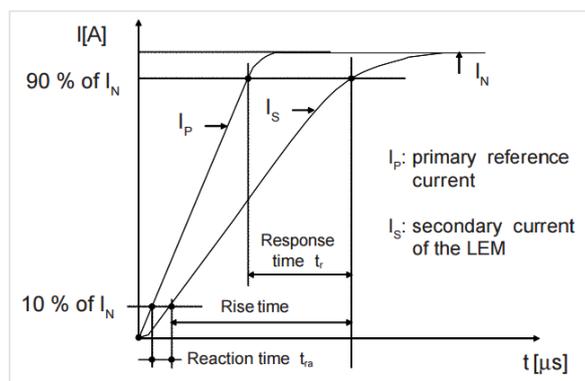


Fig. 32 Definición de parámetros de respuesta transitoria módulos LEM

El correcto seguimiento de di/dt depende de la construcción intrínseca de cada producto y, como se ha mencionado, de las condiciones de montaje del transductor dentro del circuito a medir.

Dependiendo del modelo de transductor de bucle cerrado, es posible medir una di/dt de 50 a $400A/\mu s$ o más. Esto los hace muy adecuados para la protección de cortocircuito de semiconductores en los equipos eléctricos.

Aplicaciones Típicas

Los transductores de circuito cerrado están particularmente bien adecuados para aplicaciones industriales que requieren alta precisión, amplio ancho de banda y tiempo de respuesta rápido. A menudo se utilizan como elemento clave de un bucle de regulación para el control de la corriente, el par, la fuerza, la velocidad y/o posición, así como para la protección de los dispositivos semiconductores.

Las aplicaciones son idénticas a las de transductores de bucle abierto, excepto los resultados de rendimiento que se pueden esperar más altos:

- los convertidores de frecuencia y las unidades de 3 fases, para el control de las corrientes de barras de fases de salida y CC, así como la protección de los semiconductores de potencia de las condiciones de falla como salida en cortocircuitos
- convertidores para servomotores utilizados con frecuencia en la robótica, para la velocidad de alto rendimiento y control de posición
- fuentes de suministros especiales con ancho de banda amplio para equipos especiales, tales como el radar.

Otras aplicaciones incluyen sistemas de gestión de energía, fuentes de alimentación conmutadas, equipos de electrólisis, láser, rectificadores para la electrólisis y, por último, muchas aplicaciones para laboratorios o bancos de prueba y control.

En el caso específico de la familia LTS, con un orificio pasante y varios conductores primarios en forma de U y las conexiones en serie-paralelo combinados con sensor de cable, ofrece una multitud de posibilidades, como la medición de corrientes diferenciales o realización de cálculo matemático de corriente de fase ($I_U - I_V$ o $I_U + I_V + I_W$) con un solo dispositivo.

Alimentación del transductor

La gran mayoría de los transductores de bucle cerrado LEM se especifican para el uso con tensiones de alimentación bipolares (por ejemplo, $\pm 15 V$). Aun así, la mayoría de los transductores también pueden ser operados desde un suministro único, unipolar, para la medición de corrientes unidireccionales. En estos casos debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- la tensión de alimentación debe ser igual a la suma de los voltajes positivos y negativos que se indica (por ejemplo, un producto de $\pm 15 V$ debe ser alimentado con 30 V)
- la selección de la resistencia de medición y la corriente máxima no debe implicar la disipación de potencia excesiva en la etapa de salida del transductor; no es sencilla la evaluación de la condición del peor caso

- la etapa de salida está diseñada para su uso con una fuente de alimentación bipolar y se debe insertar diodos en serie con la salida para permitir una tensión mínima de polarización de salida sin crear una medición desplazada.

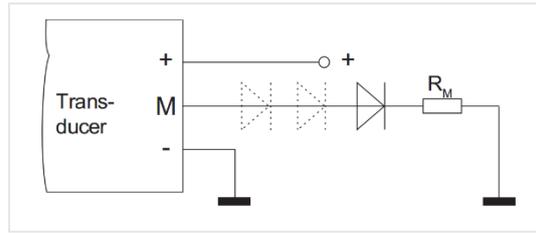


Fig. 33 La adición de diodos serie

La cartera LEM® también incluye transductores estándar dedicados a funcionamiento unipolar y se aconseja la utilización de éstos como el diseño electrónico y las especificaciones se basan directamente en las condiciones de operación esperadas.

Las aplicaciones que sólo requieren una segunda tensión de alimentación para los transductores, con los costos, la complejidad, el espacio y las preocupaciones asociadas a la fiabilidad de estos circuitos adicionales, justificarían el uso de un transductor unipolar.

1.6.3 Amplificación

Esta es la etapa de ajustar la señal que proporciona el transductor de corriente a niveles aceptados por el micro. Aunque la salida es muy buena (oscilante entre 0 y 5V, centrada en 2.5) el problema es que la lógica del PIC24FJ es a 3.3V, con lo cual si se acopla directamente se puede dañar la entrada irreversiblemente y aunque no ocurriera, tendríamos saturación para cualquier nivel entre 3.3 y 5V, lo que sería un gran problema.

Los amplificadores operacionales son el recurso idóneo para solucionar el problema pudiendo construir también la etapa de filtrado.

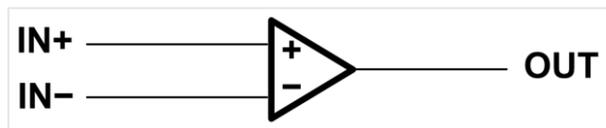


Fig. 34 Símbolo genérico Amplificador Operacional

1.6.3.1 Selección

El amplificador se selecciona con gran facilidad ya que solamente hay que decidir el número de AO por encapsulado y el nivel de alimentación. En lo demás, son muy similares unos a otros.

El filtro activo se construye con un amplificador operacional (LM324AD) y el propio filtro RC, es decir, resistencia y condensador.

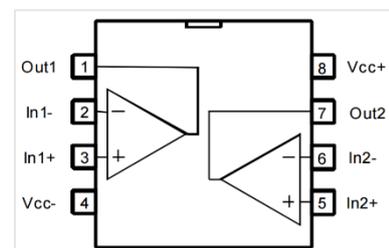


Fig. 35 Estructura interna del LM324AD con dos AO

1.6.4 Lógica

Una vez adquirida la señal para la toma de decisiones se debe tratar adecuadamente a nivel matemático y lógico. Para ello se puede proceder de múltiples maneras usando diferentes tecnologías.

En los tiempos recientes, es común disponer de tecnologías de código abierto para (casi) cualquier propósito. Es muy conocida la tecnología Arduino (y sus imitaciones) entre los profesionales y apasionados de la electrónica, hay información abundante y el apoyo por parte de la comunidad es muy importante. La curva de aprendizaje es relativamente baja y realmente las aplicaciones son cada vez más potentes y fiables. Es una tecnología asequible y de bajo coste, pero con gran potencial, adecuada para prototipos y proyectos personales.

Por otro lado, están los fabricantes de circuitos semiconductores, los comúnmente llamados chips. Existen de una variedad muy amplia en cuanto a velocidad de ejecución, número de puertos, tecnologías incluidas para comunicaciones, etc. y cada marca ofrece una respuesta lo más certera posible a multitud de problemas. La curva de aprendizaje es mucho mayor, la puesta en marcha de un pequeño proyecto se puede ver bloqueada en este paso sin los conocimientos adecuados y siempre será necesaria una tarjeta de circuito impreso fabricada a medida. Después, el aprendizaje adquirido con una marca, no servirá para otra o al menos siempre hay que tener en cuenta cambios.

Para este proyecto se decide el uso de un microcontrolador, es decir, un circuito integrado programable, exactamente de la marca Microchip®. Como argumentos a favor se pueden mencionar la estabilidad de la nombrada empresa en el mercado (recientemente ha adquirido otras marcas) lo que es signo de experiencia demostrada y para el (cuasi)-ingeniero que lo utiliza le da confianza.

El tratamiento de la señal es tarea para un microcontrolador (designado como μC , *micro* o *controlador* de aquí en adelante).

El microcontrolador es un dispositivo integrado digital, programable y de actuación secuencial. Funcionalmente, es un dispositivo lógico, que, asociado a otras unidades, permite el tratamiento de la información almacenada en forma de "programa de instrucciones". Es capaz de interpretar esas instrucciones y ejecutarlas controlando las unidades implicadas en su realización. La aplicación más interesante es la que emplea al μC en una tarea concreta, un ejemplo es la máquina de coser eléctrica lanzada al mercado por la empresa Singer. Antes, el proceso de coser era puramente mecánico con conjunto de levas y palancas y el proceso de fabricación era muy costoso aparte que no permitían cambiar el patrón de costura; con una máquina controlada por μC , el proceso es tan sencillo como variar una secuencia prefijada. (Torres 1994)

El microcontrolador es un circuito integrado que tiene la mayoría de las capacidades de procesamiento de las grandes computadoras. El microcontrolador es un pequeño, pero extremadamente complejo, dispositivo LSI (de gran escala de integración), programable, que cuenta con puertos de entrada y salida de información, puertos de comunicación, Unidad Aritmético-Lógica (ALU), memoria interna (RAM y ROM) y una Unidad Central de Procesos (CPU) (Tokheim 1995).

1.6.4.1 Selección

Lo ideal es adquirir un producto que cumpla con las necesidades de velocidad de respuesta y ejecución del sistema, sea pequeño (para consumir el mínimo de recursos) y barato. Los fabricantes ofrecen muchos modelos con leves diferencias entre ellos para que el ingeniero de desarrollo encuentre el μC que se adapte perfectamente a la aplicación que le va a dar. El proceso de selección puede ser un paso muy importante cuando se trata de un proyecto que se pretende llegar a mercado con la competencia que supone en cuanto a rendimiento, coste, etc.

Dependiendo de la marca que se emplea, el modelo de micro tiene un conjunto de instrucciones predefinidas. Al crear el programa, en función del juego de instrucciones del micro, la optimización será mejor o peor y con ello el tiempo de ejecución será menor o mayor y, al fin y al cabo, eso supone el éxito o fracaso.

La decisión más acertada se tomará cuando el mismo programa se haya optimizado con plataformas de diferentes fabricantes comparando los resultados y los tiempos de ejecución. Desde luego es el camino correcto para una empresa que se dedique al diseño de sistemas digitales. Para este proyecto, se apuesta por la conocida marca Microchip®, de la compañía *Microchip Technology Inc.* Los pros a favor de esta decisión son la disponibilidad de una placa de desarrollo con la que probar la programación y configuración y su predominio en el mercado de la electrónica. Por otro lado, se está posicionando como marca fuerte en este año complicado para las empresas del sector adquiriendo otras marcas, lo que asegura la continuidad de sus productos frente a marcas que desaparecen. Este hecho es importante a tener en cuenta si se diseña un artículo de tirada industrial como se simula que es el caso.

1.6.4.2 10 pasos para la selección de un microcontrolador

Como afirma Jacob Beningo (2013), conferenciante y consultor en diseño de sistemas embebidos, en su artículo “10 pasos para la selección de un microcontrolador”, el proceso puede ser una tarea desalentadora. No sólo hay una serie de características técnicas a tener en cuenta, sino también de mercado, como el coste y los plazos de entrega que pueden paralizar un proyecto. Al inicio de un proyecto hay una gran tentación de entrar y empezar a seleccionar un microcontrolador antes de que los detalles del sistema hayan sido decididos. Por supuesto es una mala idea.

Antes de dedicar pensamiento alguno al microcontrolador, el ingeniero de hardware y software debe trabajar en los altos niveles del sistema, crear el diagrama de bloques y diagrama de flujo. Sólo entonces se tiene suficiente información para comenzar a tomar una decisión racional sobre la selección del microcontrolador. Cuando se llega a ese punto, hay 10 sencillos pasos que pueden seguirse para garantizar una correcta elección.

(a) Paso 1: Hacer una lista de las interfaces de hardware necesarios.

Usando el diagrama de bloques de hardware en general, hacer una lista de todas las interfaces externas que el microcontrolador tendrá que soportar. Hay dos tipos generales de interfaces que necesitan ser enumerados. Las primeras

son las interfaces de comunicación. Estos son los periféricos, como USB, I2C, SPI, UART, y así sucesivamente. Hacer una nota especial si la aplicación requiere USB o algún tipo de Ethernet. Estas interfaces afectan en gran medida la cantidad de espacio de programa que el microcontrolador tendrá que soportar. El segundo tipo de interfaz son las entradas y salidas digitales, analógicas, PWM, etc.

Estos dos tipos de interfaz dictarán el número de pines que serán requeridos por el microcontrolador.

En el **1^{er} paso**, se crea el diagrama de bloques de la Figura 37 imitando el modelo genérico mostrado en la Figura 36 con los requisitos de E/S. Se necesitan un canal ADC para la lectura de la corriente, dos señales digitales de entrada desde los botones de activación hacia arriba o hacia abajo. Otros dos pines se destinarán como salida digital a activar el motor en los dos sentidos posibles de giro. Como funcionalidad en modo de prueba, tres luces LED para indicar alimentación y recepción de orden de giro desde los botones.

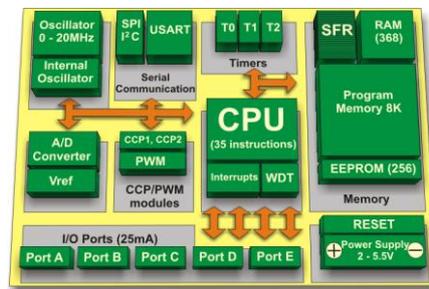


Fig. 36 Estructura genérica de un microcontrolador

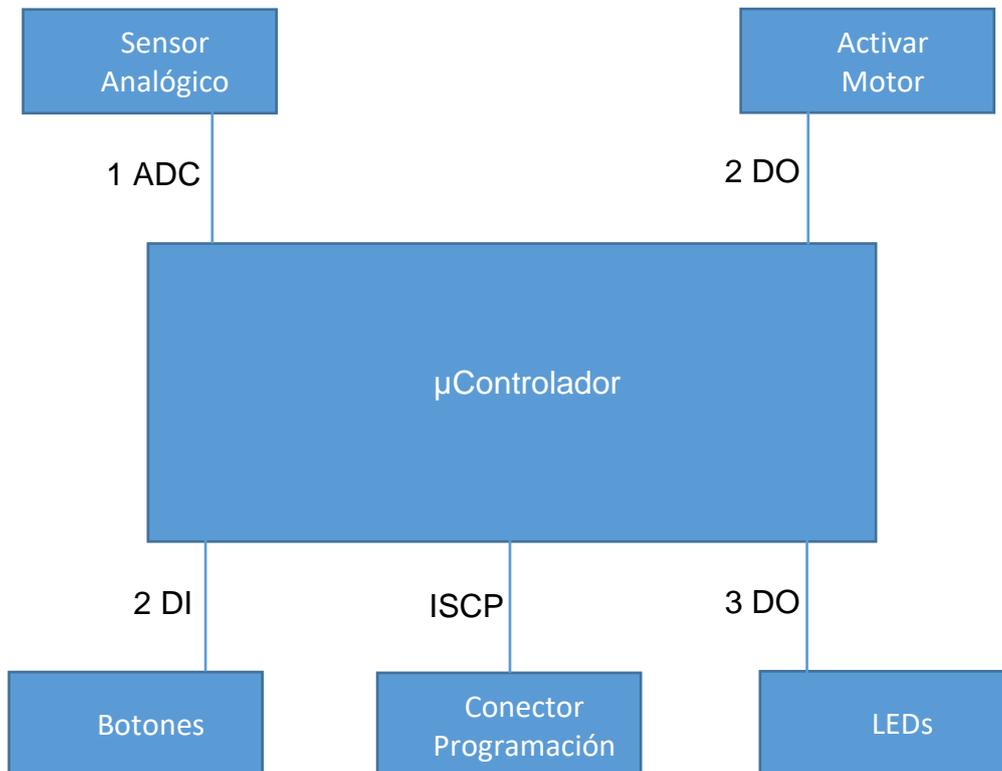


Fig. 37 Diagrama de bloques de las necesidades del proyecto

En la Tabla 2 se resumen las necesidades lógicas descritas.

Tabla 2 Resumen de necesidades del microcontrolador

Resumen de necesidades del microcontrolador	
1	ADC ²
6	GPIO ³
1	I2C ⁴

(b) Paso 2: Examinar la arquitectura de software

La arquitectura de software y los requisitos pueden afectar en gran medida la selección de un microcontrolador. Al igual que con el hardware, es importante tomar notas de los requisitos. Por ejemplo ¿algún algoritmo requiere operaciones matemáticas en coma flotante? ¿Hay algún bucle de control de alta frecuencia o sensores? Estimar cuánto tiempo y con qué frecuencia se tendrá que ejecutar cada tarea. Con esto se va a tomar una idea de la potencia de procesamiento que se va necesitar.

En el **2º paso** se determina que el procesamiento de la señal analógica es el mayor esfuerzo que va tener que realizar el micro, y es necesaria una velocidad alta de muestreo en el puerto ADC. La velocidad de procesamiento queda impuesta por la necesidad de respuesta requerida. Está claro que no se trata de un sistema en tiempo real, pero en caso de accidente, un buen tiempo de respuesta no debe superar los 200-500ms (milisegundos). En este intervalo de tiempo se debe tomar la lectura, descartar que se trate de un dato erróneo, procesar la información, tomar la decisión de detener el giro, y mandar la señal al actuador para que corte alimentación. Se deberá tener en cuenta la inercia del motor desde el instante del corte de alimentación hasta la detención completa. Todo ello en menos de medio segundo.

(c) Paso 3: Seleccionar la arquitectura

Utilizando la información anterior un ingeniero debe ser capaz de comenzar a conseguir una idea de la arquitectura que será necesaria. ¿La aplicación puede llegar a funcionar con arquitectura de 8 bits? ¿Mejor 16 bits? ¿Se requiere un núcleo ARM de 32 bits? Entre la aplicación y los algoritmos de software necesarios, estas preguntas comenzarán a converger en una solución. No se debe olvidar posibles futuras necesidades y exceso de prestaciones. El hecho de que actualmente podría llegar a funcionar con un microcontrolador de 8 bits, no significa que no se debe considerar un microcontrolador de 16 bits para funciones futuras o incluso para facilitar su uso. No se olvide que la selección del microcontrolador puede ser un proceso iterativo. Este paso es simplemente para orientar al ingeniero para que mire en la dirección correcta.

En este **3er paso** se apuesta por una arquitectura de microcontrolador de 16-bits y concretamente la familia 24FJ, por una parte, porque en 8-bits casi no hay nuevos productos y el soporte empieza a menguar y, por otro lado, debido a la precisión de 10-bits del convertidor analógico-digital.

² Conversión Analógico-Digital

³ General Purpose Input/Output – Entrada/Salida de Propósito General

⁴ Inter-Integrated Circuit – Circuito Interintegrado

(d) Paso 4: Identificar las necesidades de memoria

La Flash y RAM son dos componentes muy importantes de cualquier microcontrolador. Asegurar no quedarse sin espacio de programa o sin espacio de variables es la mayor prioridad. Es preferible seleccionar con exceso en este apartado que en defecto. Después de todo, siempre se puede empezar con más y luego pasar a una parte más limitada dentro de la misma familia de chips. También es el momento adecuado para pensar en futuras mejoras o ampliaciones del proyecto, con ello se pueden evitar muchos problemas futuros.

El espacio de memoria para el programa y los datos comentado en el **4º paso** no es punto que preocupe en este proyecto ya que la aplicación que se va ejecutar será mínima y las familias de 16-bits ofrecen grandes memorias. La arquitectura de 16-bits permitirá evolucionar el producto final a nuevas exigencias fácilmente.

(e) Paso 5: Comenzar la búsqueda de microcontroladores

Con varias ideas claras y sabiendo a qué prestar atención, se puede empezar la búsqueda. La mejor opción es empezar la búsqueda por un proveedor de micros como ARROW, AVNET, etc. Hablar con un FAE⁵ sobre su aplicación le puede orientar hacia el producto específico y avisar sobre las novedades en el sector.

El siguiente mejor lugar para comenzar es con un proveedor conocido previamente (como Microchip, NXP, Texas Instruments, Qualcomm, etc.) y es momento de visitar su página web. La mayoría de los proveedores de silicio tienen un motor de búsqueda que le permite entrar en su conjunto de periféricos, E/S y los requisitos de energía y que se reduzca la lista de partes que coinciden con los criterios. De esa lista el ingeniero puede seleccionar el microcontrolador.

5º paso. Al empezar no se tenía experiencia con ningún producto de microcontroladores en absoluto, pero la apuesta por el fabricante Microchip fue fuerte desde los primeros instantes debido a la popularidad de sus productos, la posibilidad de disponer de una placa de desarrollo en el laboratorio y debido a la publicación '*Guía del usuario del microcontrolador PIC 16F87X*⁶' por Diez Muñoz, P. (2004) que sirvió de iniciación precisamente en la marca Microchip.

Navegando a www.microchip.com, en la pestaña >Products >16-Bit MCUs aparece el motor de búsqueda en el cual podemos reducir la lista inicial de elementos según se vayan añadiendo elementos al filtro.

⁵ *Field Application Engineer* - Ingeniero de Aplicaciones

⁶ Disponible en el URL Permanente: http://almena.uva.es/record=b1409759~S1*spi



Fig. 38 Página de inicio de la web de Microchip

Fig. 39 Motor de selección de Microchip para la familia de 16-bits

(f) Paso 6: Examinar los costos y limitaciones de potencia

En este punto, el proceso de selección ha revelado una serie de posibles candidatos. Es un buen momento para examinar los requisitos de energía y el coste del micro. Si el dispositivo se alimenta de una batería, es fundamental que el consumo sea muy pequeño y tenga modos de funcionamiento de bajo consumo. Esto ayudará a disminuir la lista de finalistas. No olvidar examinar el precio, que suele rondar \$1 por chip para grandes volúmenes, pero si es especial el precio puede ser un dato crítico a tener en cuenta.

6º paso. El coste del chip es importante, como lo son todos los costes de los materiales incluidos. En este caso, otros de los motivos de la apuesta por esta marca, es la disponibilidad de pedir muestras. El requisito es registrarse en la página y el pedido lo hacen llegar a la dirección indicada. En cuanto al gasto

energético, no es una preocupación especial ya que se va alimentar continuamente por cable.

PIC24FJ256DA210 Development Board (DM240312)



The PIC24FJ256DA210 Development Board is a low cost and efficient development board to evaluate the features and performance of the PIC24FJ256DA210 with integrated graphics, mTouch™ and USB. This board is an ideal platform for developing graphical human interface applications.

The development board requires a display board to complete the 2-board setup. It has a Microchip...

(g) Paso 7: Verificar la disponibilidad de piezas

Con la lista de piezas posibles en la mano, ahora es un buen momento para empezar a comprobar la disponibilidad y permanencia. No se desea escoger un micro que se obsoleta en varios meses. ¿Existe stock en diferentes distribuidores o el tiempo de entrega es de 6-12 semanas? Habrá que pensar en la duración del producto en el mercado, algunas marcas aseguran fabricación hasta 15 años después de la puesta en el mercado (caso de Microchip).

El fabricante asegura la disponibilidad del producto e indica que su estado es “en fabricación”. Además, la familia PIC24FJ es una nueva familia de producto con lo cual la continuidad a medio plazo está asegurada.

(h) Paso 8: Seleccionar un kit de desarrollo

Una de las mejores partes de la selección de un nuevo microcontrolador es encontrar un kit de desarrollo para jugar y aprender el funcionamiento interno del controlador. Una vez que el ingeniero ha tomado la decisión de cual micro va a usar, debe investigar los servicios disponibles en los kits de desarrollo. Si una funcionalidad no conocida no está disponible en un kit de desarrollo será mejor volver unos pasos atrás. El coste de los kits de desarrollo, hoy, cuestan alrededor de \$100, con lo cual es la opción perfecta para dar los primeros pasos y comprobar que efectivamente se puede poner en marcha la idea.

El kit de desarrollo seleccionado para el PIC24FJ es la placa DM240312 con un coste de 84.74€ por unidad en la web oficial.

Part Number: DM240312 - PIC24FJ256DA210 Development Board



The PIC24FJ256DA210 Development Board is a low cost and efficient development board to evaluate the features and performance of the PIC24FJ256DA210 with integrated graphics, mTouch™ and USB. The development board requires a display board to complete the 2-board setup. It has a Microchip display connector V1, and allows developers to match with any of the listed 3.2, 4.3 TFT display, or the graphics prototype board available by Microchip.

Standard Pricing:

Quantity	EUR per Unit
1+	84.74

In Stock (Processes Immediately): 3
[When can I get more?](#)

Quantity:

Fig. 40 Kit de desarrollo DM240312 para el PIC24FJ256DA210

También será necesario un Programador/Depurador. Se emplea una ICD3 aunque sirve igualmente el PicKit.

(i) Paso 9: Investigar los compiladores y herramientas

La selección del kit de desarrollo casi solidifica la elección del microcontrolador. La última consideración es examinar el compilador y las herramientas que están disponibles. La mayoría de los microcontroladores tienen un número de opciones para los compiladores, código de ejemplo y herramientas de depuración. Es importante asegurarse de que todas las herramientas necesarias están disponibles para el papel. Sin las herramientas adecuadas del proceso de desarrollo podría llegar a ser tedioso y costoso.

En esta situación me he visto después de decidir usar un dsPIC30F, desarrollar una placa de pruebas propia y finalmente descubrí que la herramienta MCC del MPLAB X no soporta dicha familia.

El compilador actual de microchip se llama MPLAB® X IDE y es el sucesor de MPLAB IDE 8. Es un programa ampliamente usado con mucha información disponible para iniciarse a la programación de microcontroladores.



Después de asegurar que el micro elegido es compatible con las herramientas que se van a usar, como el MPLAB Code Configurator, y la propia ICD 3, se puede dar por terminado el proceso de selección.



MPLAB ICD 3 In-Circuit Debugger (DV164035)



MPLAB® ICD 3 In-Circuit Debugger System is Microchip's most cost effective high-speed hardware debugger/programmer for Microchip Flash Digital Signal Controller (DSC) and microcontroller (MCU) devices. It debugs and programs PIC® Flash microcontrollers and dsPIC® DSCs with the powerful, yet easy-to-use graphical user interface of MPLAB Integrated Development Environment (IDE).

PICKit 3 In-Circuit Debugger (PG164130)



Microchip's PICKit™ 3 In-Circuit Debugger/Programmer uses in-circuit debugging logic incorporated into each chip with Flash memory to provide a low-cost hardware debugger and programmer. In-circuit debugging offers these benefits:

- Low cost
- Minimum of additional hardware needed for debug
- Expensive sockets or adapters are not required...

(j) Paso 10: Empezar a experimentar

Incluso con la selección de un microcontrolador nada está escrito en piedra. Por lo general, el kit de desarrollo llega mucho antes de que el primer hardware de prototipos. Aprovechar la creación de circuitos de prueba e interconectarlos al microcontrolador. Elegir piezas de alto riesgo y hacer que

1.6.5 Potencia

La etapa de potencia se separa cuidadosamente del circuito lógico a través de un dispositivo optoaislante con el fin de evitar ruido o daños. El encendido/apagado del motor lo realiza un triac que permite el paso de corriente alterna hacia el devanado correspondiente en el momento que se le aplica tensión en el terminal de puerta (*gate*). A su vez, el triac es pilotado por el optoacoplador específico para triacs de la familia MOC306XM. Una mejora sustancial en cuanto al alcance del control del motor se consigue con los dispositivos de detección de paso por cero de la senoide de la tensión de red. Controlando el momento de disparo del triac se puede diseñar un aumento progresivo de la velocidad en el momento de arranque y una rampa descendente en el momento de frenada. Evitando el pico de consumo de corriente en el arranque aumenta la vida útil del producto.

1.6.5.1 ZCD – Detector de Paso por Cero

El circuito de detección de paso por cero (*ZCD*⁹ por sus siglas en inglés) genera un impulso en el que la onda de entrada está en la proximidad del valor nulo (Prometec). Al tratarse de la lectura de una senoide de corriente alterna, oscila constantemente alrededor de cero, pasando del semi-ciclo positivo al negativo y viceversa.

La señal de salida, es decir el impulso, se trata como una señal digital, suministrada a un pin del micro configurado como interrupción. Con este simple circuito se obtiene una mejora sustancial del conocimiento del entorno por parte del sistema. A partir de esta interrupción constante, se puede, por ejemplo, pilotar el arranque del motor con una pendiente suave evitando el sobrepico de corriente consumida en el encendido todo/nada. También puede servir como contador, ya que la frecuencia de la red es (prácticamente) constante (50Hz en Europa, Asia, África, Australia y 60Hz en Norte y Centro-América). Conocido el número de pasos por cero del motor en movimiento, con una sencilla cuenta se puede sacar el tiempo y seguido el desplazamiento, es decir, la posición.

El símbolo genérico del detector de paso por cero es intuitivo y fácil de interpretar según la representación de la Figura 42.

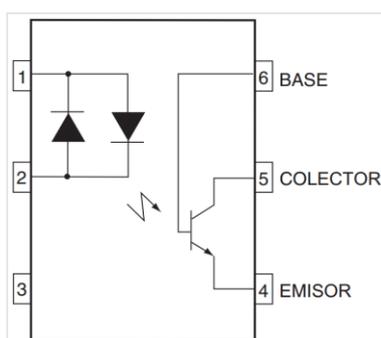


Fig. 42 Símbolo esquemático para el circuito ZCD

Los pines 1 y 2 son el lado caliente del circuito, donde se va conectar la señal alterna de 115V_{AC} o 230V_{AC}. La onda oscila y en el momento que cruza el nivel cero, ninguno de los diodos internos emite luz, y es cuando el emisor cambia de nivel. En este caso, si el colector se alimenta a 3.3V, el emisor tendrá ese nivel

⁹ ZCD – Zero Cross Detection – Detección de Paso por Cero

solo en los instantes de paso por cero como se puede comprobar en la Figura 43. Solamente hay que emplear una lógica negativa para conseguir los pulsos buscados. A su vez, la señal del emisor sirve de entrada en una interrupción del microcontrolador.

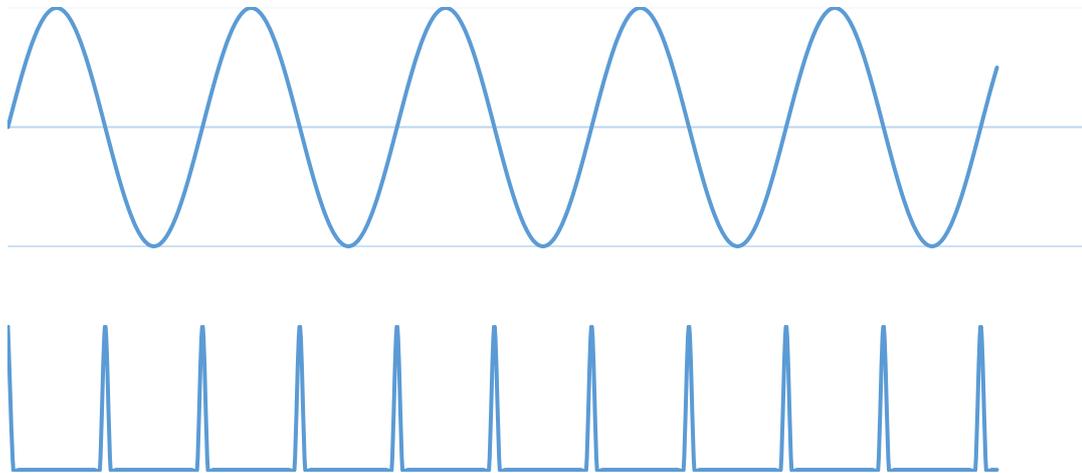


Fig. 43 Pulsos de Detección del Paso por Cero (Zero Crossing Detection)

1.6.5.2 Optotriac

La familia de dispositivos MOC306XM se caracteriza por simplificar el control lógico de alimentación 115/230V_{CA}, detectar el paso por cero de la tensión y por tener una alta variación de la tensión por tiempo, hasta 1000V/ μ s.

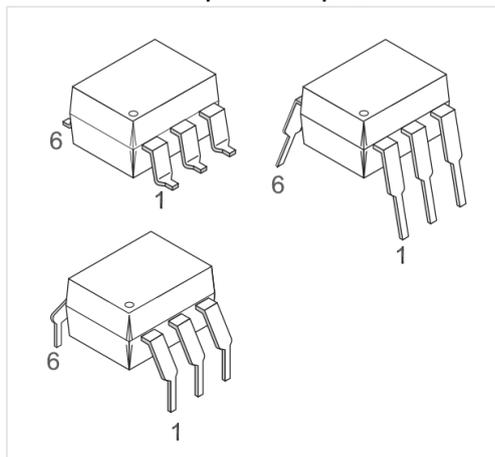


Fig. 44 Encapsulados disponibles MOC306X

Los dispositivos MOC306XM y MOC316XM consisten en un diodo emisor de infrarrojos GaAs acoplado ópticamente a un detector de silicio monolítico que realiza la función de un conductor de triac bilateral que cruza el voltaje como se puede leer en las hojas de datos de los mismos. Están diseñados para ser utilizados con un triac en la interfaz de sistemas lógicos a equipos alimentados a partir de líneas de 115/230 V_{AC}, tales como relés de estado sólido, controles industriales, motores, solenoides y aparatos de consumo, etc.

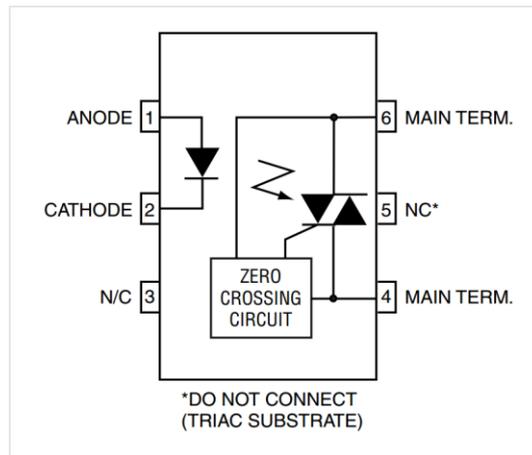


Fig. 45 Esquemático del Optotriac MOC3063SM

Aplicaciones básicas

Circuito típico para uso cuando se requiere conmutación de línea caliente. En este circuito se conmuta el lado "caliente" de la línea y la carga se conecta al lado frío o neutro.

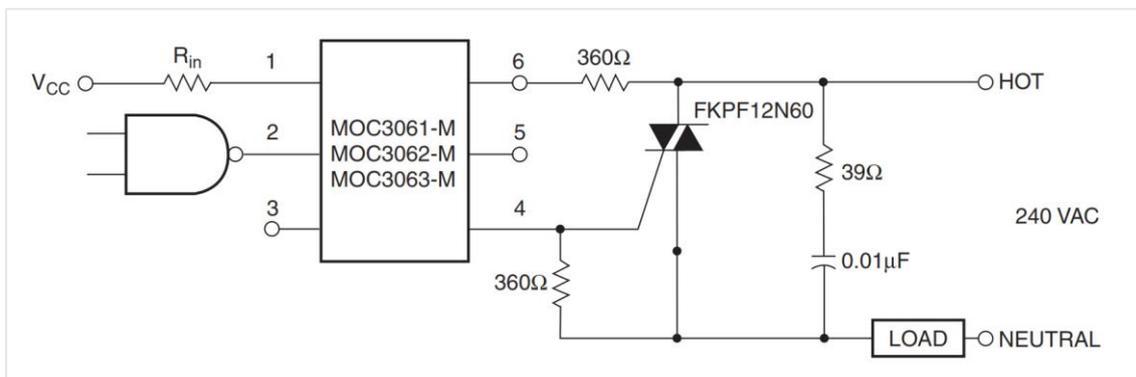


Fig. 46 Circuito de aplicación de conmutación de línea caliente

La resistencia de entrada R_{in} se calcula de modo que I_F sea igual al I_{FT} nominal del módulo, 15mA para el MOC3061M, 10mA para el MOC3062M o 5mA para el MOC3063M. La resistencia de 39Ω y el condensador de $0,01\mu F$ forman el circuito supresor de transitorios que ayuda a la conmutación del triac (*snubber*). El *snubber* sirve para reducir el estrés eléctrico en la conmutación del elemento de potencia. A menudo (pero no siempre) es necesario, dependiendo del triac y carga utilizados. Algunos elementos de conmutación incluyen el circuito supresor.

Un circuito similar al recomendado por el fabricante se usa para el control del motor. Para invertir el giro del motor, se debe alimentar otro devanado, con lo cual se implementa dos veces el mismo circuito, uno para cada sentido de giro.

Nota: Este optoaislador no debe utilizarse para impulsar una carga directamente. Está destinado a ser un dispositivo de disparo solamente.

En la Figura 47 se muestra la curva de temperatura recomendada para el horno en el proceso de soldadura por ola indicando los tiempos críticos para evitar dañar el dispositivo.

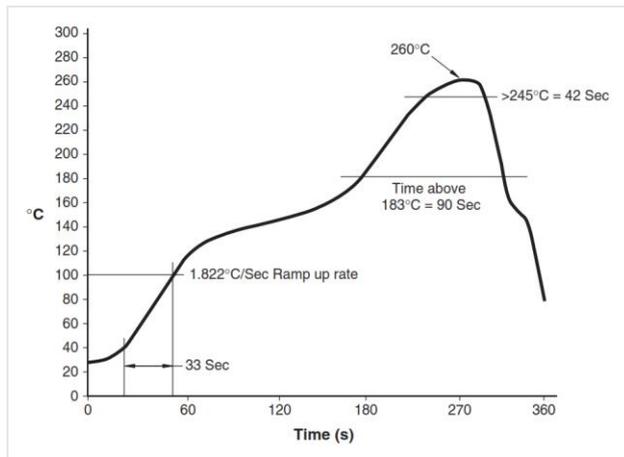


Fig. 47 Curva de temperatura durante el proceso de soldadura

1.6.5.3 Triac

El triac es un dispositivo capaz de conducir corriente en las dos direcciones entre los Ánodos A1 y A2. Se comporta como dos tiristores SCR conectados en antiparalelo. Los triac suelen tener un alto poder de corte y conmutan muy rápido, cualidades que los hacen adecuados para aplicaciones de control de potencia.

El símbolo y el encapsulado del triac se muestran en las Figuras 48 y 49.

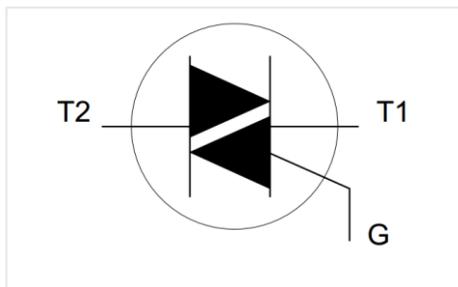


Fig. 48 Esquemático del Triac

- 1- T1
- 2- T2
- 3- G
- 4- T2

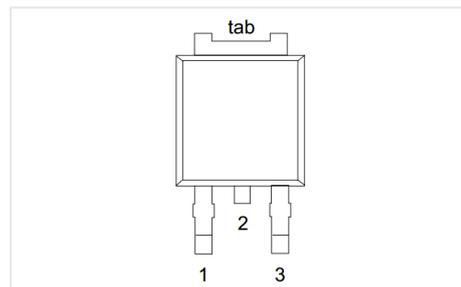


Fig. 49 Encapsulado SOT428 para el Triac

El funcionamiento del triac es simple; conduce solo cuando la tensión de disparo supera la tensión de puerta. Para el caso seleccionado, cuando la tensión de disparo alcanza 0.7V típicamente con un rango: $0.7V < V_{GT} < 5V$.

1.6.5.4 Fusible

El fusible (o corta-circuito) es el aparato de conexión que provoca la apertura del circuito, por fusión producida por el Efecto Joule, cortando la corriente cuando ésta sobrepasa un determinado valor durante un tiempo.

Para la protección del motor en caso de sobreesfuerzo se usa un fusible. Entre los tipos de fusible existentes, se escoge el propicio para la tarea que va a desempeñar, **clase aM** - acompañamiento de Motor (automatismo industrial). Se caracteriza por ser extremadamente lento en las sobrecargas y rápido en los cortocircuitos. Corriente nominal 0.75A, el mismo valor de la corriente nominal del motor.

1.7 Estudio necesidades software

Después del proceso de diseño y fabricación de la parte tangible del proyecto, se procede con la programación de la lógica que convierte lo fabricado en útil.

Para el análisis software, la atención se centra en el dispositivo lógico programable, el microcontrolador de la familia PIC24F. A continuación, se describen los apartados importantes analizados para el proceso de programación.

Para el estudio detallado del funcionamiento de las partes de cualquier microcontrolador es recomendable el análisis de la documentación específica que proporciona el fabricante. En los manuales de cada modelo se incluye una descripción simplificada. Para el conocimiento profundo es preciso realizar una investigación más exhaustiva a partir de las hojas generales tal como se detalla a continuación.

1.7.1 Oscilador

El inicio del estudio de las necesidades del micro, pasa indudablemente por el análisis del oscilador. Éste tiene la función de marcar el ritmo de trabajo del propio microcontrolador, por tanto, una buena configuración del oscilador facilita el trabajo posterior.

1.7.1.1 Selección del oscilador

De las diferentes opciones que existen, se decide usar la fuente interna del microcontrolador para la generación de pulsos de reloj. Es suficientemente precisa y además se ahorra el componente electrónico del cristal externo con los dos condensadores. Aparte, simplifica el hardware y siempre será más económico. El Oscilador Interno Rápido, FRC¹⁰, cumple las necesidades del proyecto. La construcción del prototipo será más sencilla y la disminución de prestaciones no afecta a la seguridad y puesta en marcha.

1.7.1.2 Esquema del Reloj de la CPU

La configuración de los osciladores es muy parecida para todos los dispositivos y las descripciones que siguen son aplicables a todos los micros de la familia PIC24F.

Se puede seleccionar entre cuatro fuentes diferentes de reloj. El primario y el secundario son opciones de configuración con un cristal externo. El interno rápido y el de baja potencia, como sus nombres indican, funcionan sin hardware externo y uno tiene mejores prestaciones que el otro a cambio de ahorro de energía.

- Oscilador Primario (POSC) en los pines OSC1 y OSC2
- Oscilador Secundario (SOSC) en los pines SOSCI y SOSCO
- Oscilador RC Interno Rápido (FRC)
- Oscilador RC Interno de baja potencia (LPRC)

¹⁰ *Internal Fast RC Oscillator* – Oscilador Interno Rápido

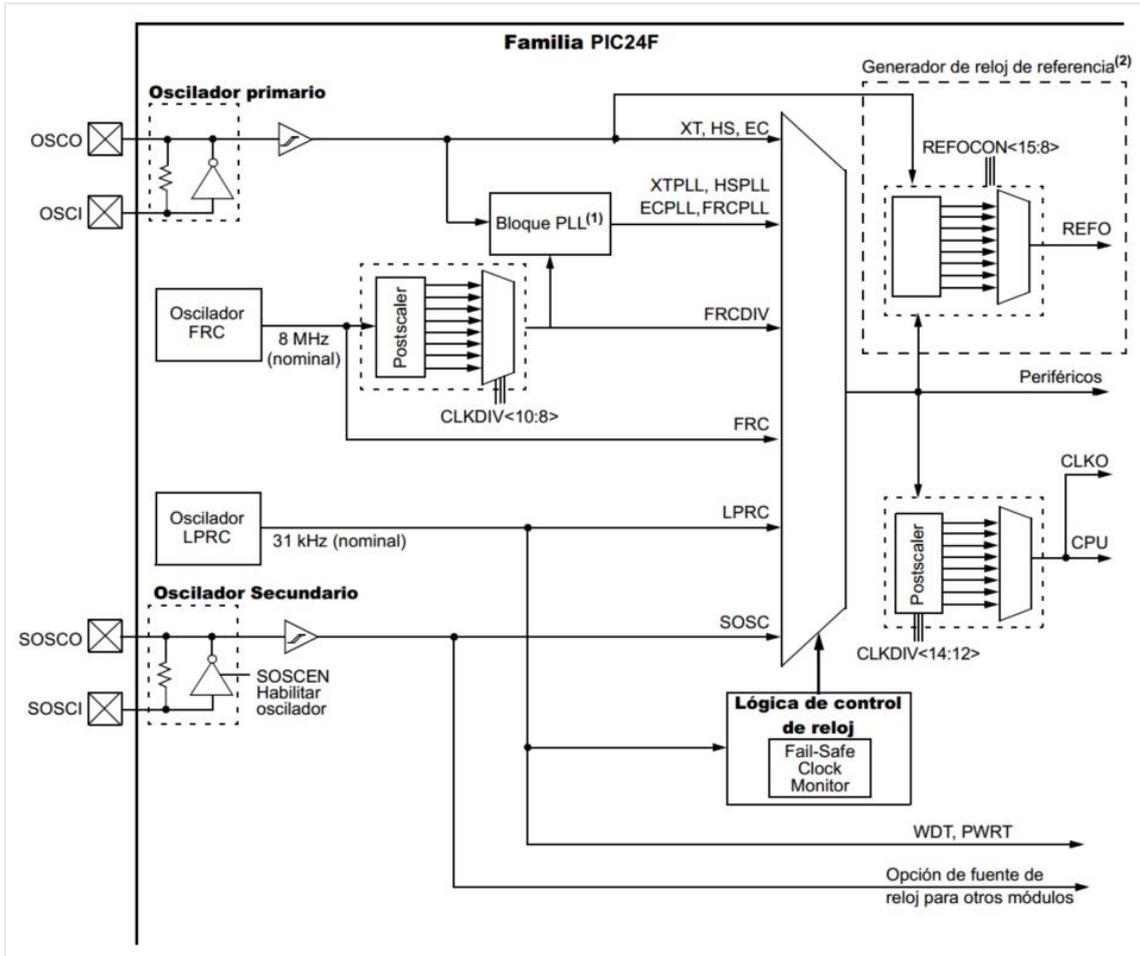


Fig. 50 Diagrama general del sistema de reloj de la familia PIC24F

En este documento, el reloj de ciclo de instrucción también se denomina FOSC/2. El diagrama de tiempo en la Figura 51 muestra la relación entre la fuente del reloj del procesador y la ejecución de la instrucción.

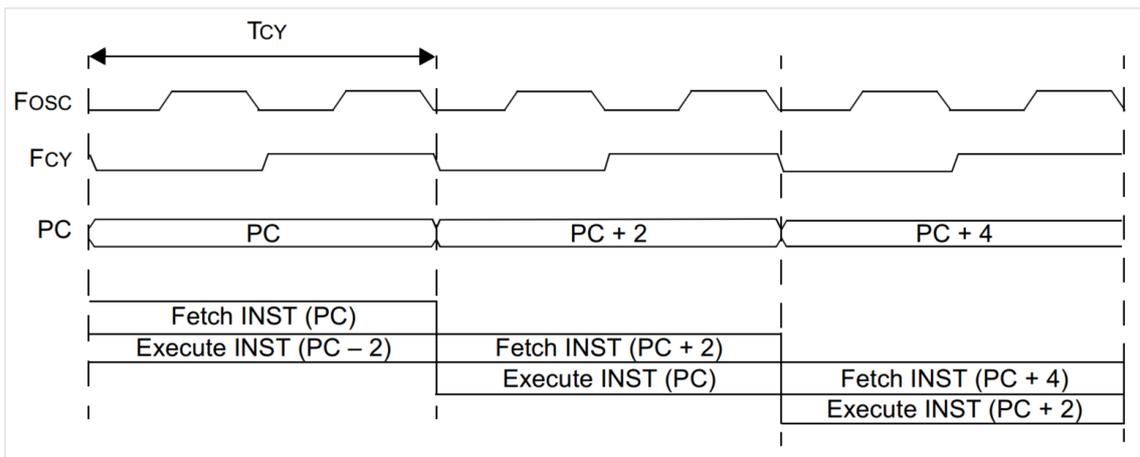


Fig. 51 Tiempo de ciclo de reloj o de Instrucción.

El manual del dispositivo PIC24FJ256DA210 proporciona información detallada para realizar una configuración idónea.

La fuente del oscilador se configura en el bit de configuración POSCMD <1:0> y FNOSC <2:0>. En la Tabla 3 se detalla el valor de los bits según la configuración elegida.

Tabla 3. Valor de los bits de configuración para la selección del reloj

Oscillator Mode	Oscillator Source	POSCMD<1:0>	FNOSC<2:0>	Note
Fast RC Oscillator with Postscaler (FRCDIV)	Internal	11	111	1, 2
(Reserved)	Internal	xx	110	1
Low-Power RC Oscillator (LPRC)	Internal	11	101	1
Secondary (Timer1) Oscillator (SOSC)	Secondary	11	100	1
Primary Oscillator (HS) with PLL Module (HSPLL)	Primary	10	011	—
Primary Oscillator (XT) with PLL Module (XTPLL)	Primary	01	011	—
Primary Oscillator (EC) with PLL Module (ECPLL)	Primary	00	011	—
Primary Oscillator (HS)	Primary	10	010	—
Primary Oscillator (XT)	Primary	01	010	—
Primary Oscillator (EC)	Primary	00	010	—
Fast RC Oscillator with PLL Module (FRCPLL)	Internal	11	001	1
Fast RC Oscillator (FRC)	Internal	11	000	1

1.7.1.3 Registros de control

El funcionamiento del oscilador está controlado por tres registros de funciones especiales (SFR) (o hasta cinco para algunos dispositivos):

- OSCCON
- CLKDIV
- OSCTUN
- REFOCON (disp. seleccionados)
- CLKDIV2 (disp. seleccionados)

El registro OSCCON es el registro de control principal para el oscilador. Controla la conmutación de la fuente de reloj y permite la supervisión de las fuentes de reloj.

U-0	R-x, HSC ⁽¹⁾	R-x, HSC ⁽¹⁾	R-x, HSC ⁽¹⁾	U-0	R/W-x ⁽¹⁾	R/W-x ⁽¹⁾	R/W-x ⁽¹⁾
—	COSC2	COSC1	COSC0	—	NOSC2	NOSC1	NOSC0
bit 15				bit 8			
R/S-0	R/W-0	R-0, HSC ⁽³⁾	U-0	R/C-0, HS	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CLKLOCK	IOLock ⁽²⁾	LOCK	—	CF	POSCEN	SOSCEN	OSWEN
bit 7				bit 0			

Fig. 52 OSCCON: Oscillator Control Register

El registro CLKDIV controla las características asociadas con el modo Doze, así como el post-escalador para el oscilador FRC.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1
ROI	DOZE2	DOZE1	DOZE0	DOZEN ⁽¹⁾	RCDIV2	RCDIV1	RCDIV0
bit 15							bit 8

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0
CPDIV1	CPDIV0	PLEN	G1CLKSEL	—	—	—	—
bit 7							bit 0

Fig. 53 CLKDIV: Clock Divider Register

El registro OSCTUN permite al usuario afinar el oscilador FRC en un rango de aproximadamente $\pm 1,5\%$.

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	TUN5 ⁽¹⁾	TUN4 ⁽¹⁾	TUN3 ⁽¹⁾	TUN2 ⁽¹⁾	TUN1 ⁽¹⁾	TUN0 ⁽¹⁾
bit 7							bit 0

Fig. 54 OSCTUN: FRC Oscillator Tuning Register

El registro CLKDIV2 controla el reloj en el cristal de la pantalla, con una frecuencia entre 750 kHz y 96 MHz.

R/W-0	U-0						
GCLKDIV6 ⁽¹⁾	GCLKDIV5 ⁽¹⁾	GCLKDIV4 ⁽¹⁾	GCLKDIV3 ⁽¹⁾	GCLKDIV2 ⁽¹⁾	GCLKDIV1 ⁽¹⁾	GCLKDIV0 ⁽¹⁾	—
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 7							bit 0

Fig. 55 CLKDIV2: Clock Divider Register 2

El registro REFOCON controla la frecuencia del reloj de referencia. En el dispositivo PIC24FJ256DA210 no está incluido.

Todos los bits pueden ser modificados por software, incluidos los descritos anteriormente.

1.7.1.4 PLL - Bucle de Bloqueo de Fase

El reloj del sistema para todos los dispositivos PIC24F incluye una ramificación multiplicadora de frecuencia construida alrededor de un bucle de bloqueo de fase (PLL¹¹). Esta rama permite al usuario obtener una velocidad de reloj más alta usando un oscilador primario de baja velocidad o fuente de reloj externo, eliminando la necesidad de un costoso cristal de alta velocidad o resonador. También permite el uso del *Internal Fast RC Oscillator* (FRC) para controlar el dispositivo a su velocidad máxima de operación sin el uso de un oscilador externo.

En la mayoría de los dispositivos PIC24F, el bloque PLL implementado es el PLL básico mostrado en la Figura 56. Esto proporciona un multiplicador fijo de 4x,

¹¹ Phase Lock Loop – Bucle de bloqueo de fase

que se puede utilizar con los osciladores primarios XT y EC y el oscilador FRC. El PLL acepta cualquier entrada de frecuencia de aproximadamente 3,5 MHz a 8 MHz.

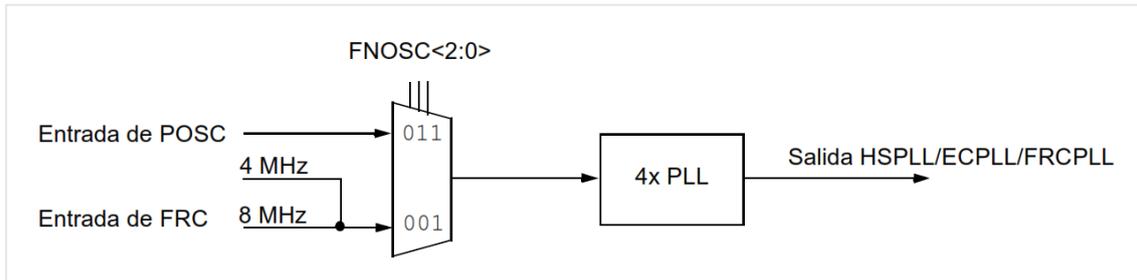


Fig. 56 Bloque PLL 4x básico

1.7.1.1 FRC - Oscilador Interno Rápido

La frecuencia nominal del FRC es de 8MHz. Se puede conseguir aumentar esta velocidad con la función PLL de la que se hablará más adelante. Para que el Oscilador FRC funcione, los bits COSC tienen que ser '111', '001, o '000'. No es necesario activar el oscilador FRC ya que es el reloj de referencia durante la inicialización del dispositivo. El FRC siempre está habilitado en un *reset* de tipo POR¹².

El *postscaler* es la opción de dividir la frecuencia nominal del oscilador interno rápido para conseguir un período mayor, es decir la frecuencia baja en todos los casos que se use el *postscaler*.

Nota: Debido a la precisión FRC especificada, los modos de oscilador FRC pueden no cumplir con los requisitos de precisión de frecuencia mínima para comunicaciones en serie (como UART y USB).

Para los dispositivos con el bloque 4xPLL básico, la salida del bloque de FRC *postscaler* también se puede combinar con el PLL para producir un reloj nominal del sistema de 16 o 32 MHz. Aunque de una frecuencia algo menos precisa en comparación con el uso del oscilador primario con un cristal o resonador, todavía permite el funcionamiento a alta velocidad del dispositivo sin el uso de componentes osciladores externos.

1.7.1.2 Modo FRC con Postscaler (FRCDIV)

Los usuarios no están limitados a la salida nominal FRC de 8MHz si desean usar el oscilador interno rápido como una fuente de reloj. Un modo FRC adicional, FRCDIV, implementa un post-escalador seleccionable que permite la elección de una frecuencia de reloj inferior de 7 opciones diferentes, más la salida directa de 8 MHz. El clasificador de mensajes se configura utilizando los bits <2:0> de RCDIV (CLKDIV <10:8>). Suponiendo una salida nominal de 8MHz, las opciones de frecuencia más baja disponibles varían de 4MHz (división por 2) a 31kHz (división por 256). El rango de frecuencias permite a los usuarios la posibilidad de ahorrar energía en cualquier momento en una aplicación

¹² *Power-on Reset* – Reinicio de encendido.

simplemente cambiando los bits RCDIV. El modo FRCDIV se selecciona siempre que los bits COSC sean '111'.

1.7.1.3 Oscilador FRC con el Modo PLL (FRCPLL)

El modo FRCPLL se selecciona siempre que los bits COSC sean '001'. Además, este modo sólo funciona cuando se seleccionan las opciones de post-escalador de FRC directo o de división por 2 (RCDIV <2:0> = 000 o 001).

Para los dispositivos con bloque de PLL de 96 MHz, la salida del bloque de *postscaler* de FRC también se puede combinar con el PLL para producir un reloj de sistema nominal de 4 MHz, 8 MHz, 16 MHz o 32 MHz. También produce un reloj USB de 48 MHz; Sin embargo, este reloj del USB se debe generar con el oscilador de FRC que resuelve el requisito de la frecuencia de la exactitud de USB para la operación apropiada.

1.7.2 Reinicio (*Reset*)

El módulo de restablecimiento combina todas las señales de restablecimiento del *reset* y reinicio del dispositivo, \SYSRST. La siguiente es una lista de fuentes de restablecimiento del dispositivo:

- POR: Reinicio de encendido
- MCLR: Pin *Reset*
- SWR: Instrucción `RESET`
- WDTR: Reinicio del temporizador *Watchdog*
- BOR: Restablecimiento de apagado
- TRAPR: Reinicio de Conflicto de Trampa
- IOPUWR: *Opcode* no válido/ Registro W de *Reset* no inicializado

La Figura 57 muestra un diagrama de bloques simplificado del módulo *Reset*. Cualquier fuente activa de *Reset* hará que la señal SYSRST esté activa. Muchos registros asociados con la CPU y los periféricos se ven obligados a un conocido "estado de reinicio". La mayoría de los registros no se ven afectados por un *Reset*; Su estado es desconocido en *Power-on Reset* (POR) e inalterado por todos los otros *Resets*.

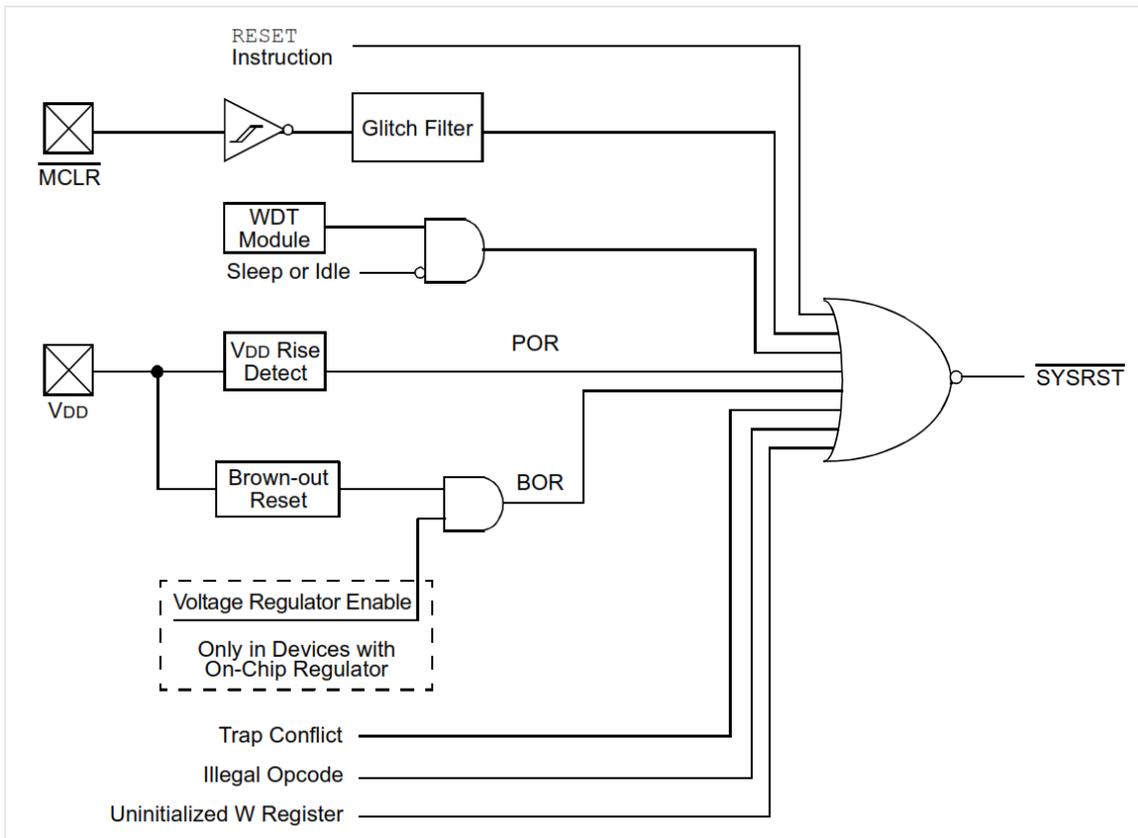


Fig. 57 Diagrama de bloques del sistema de Reset

Todos los tipos de restablecimiento del dispositivo establecerán un bit de estado correspondiente en el registro RCON para indicar el tipo de restablecimiento. Un POR eliminará todos los bits, excepto los bits BOR y POR (RCON <1:0>), que están configurados.

El usuario puede establecer o borrar cualquier bit en cualquier momento durante la ejecución del código. Los bits RCON sólo sirven como bits de estado. La configuración de un bit de estado de restablecimiento específico en el software no provocará que se produzca un reinicio del dispositivo.

El registro RCON también tiene otros bits asociados con el temporizador *Watchdog* y los estados de ahorro de energía del dispositivo.

R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	R/C-0	U-0	R/W-0
TRAPR	IOPUWR	—	LVREN ⁽²⁾	—	DPSP ⁽²⁾	CM	PMSLP ^(2,3)
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1
EXTR	SWR	SWDTEN ⁽⁴⁾	WDTO	SLEEP	IDLE	BOR	POR
bit 7							bit 0

Fig. 58 RCON: Reset Control Register

1.7.2.1 Selección de la fuente del reloj en el Reset

Si la conmutación del reloj está activada (OSWEN), se selecciona la fuente de reloj del sistema en *Reset* del dispositivo, como se muestra en la Tabla 4. Si la conmutación de reloj está desactivada, la fuente de reloj del sistema siempre está seleccionada.

Tabla 4 Selección del oscilador según el tipo de Reset

Reset Type	Clock Source Selected Based on
POR	Oscillator Configuration Bits FNOSC<2:0>
BOR	
$\overline{\text{MCLR}}$	COSC Control bits OSCCON<14:12>
WDTR	
SWR	
TRAPR	
IOPUWR	

1.7.2.2 POR - Reinicio de Encendido

El POR¹³ monitorea la fuente de alimentación central para niveles de voltaje adecuados para asegurar una operación de chip adecuada. Hay dos voltajes de umbral asociados con un POR. El primer voltaje es el voltaje de umbral del dispositivo, V_{POR} . El voltaje de umbral del dispositivo es el voltaje al cual el módulo POR se hace operable. El segundo voltaje asociado con un evento POR es el voltaje de umbral del circuito POR. Una vez que se detecta el voltaje de umbral correcto, se produce un evento de encendido y el módulo POR hiberna para minimizar el consumo de corriente.

1.7.2.3 Reinicio $\overline{\text{MCLR}}$

Siempre que el pin de $\overline{\text{MCLR}}$ se encuentre en nivel bajo, el dispositivo asincrónicamente establece $\overline{\text{SYSRST}}$, siempre y cuando el impulso de entrada en $\overline{\text{MCLR}}$ sea más largo que un ancho mínimo determinado, SY10. Cuando se libera el pin $\overline{\text{MCLR}}$, $\overline{\text{SYSRST}}$ también se libera. La recuperación del vector *Reset* comienza después de la expiración del retardo T_{RST} , comenzando desde la liberación de $\overline{\text{SYSRST}}$. El procesador continúa utilizando la fuente de reloj existente que estaba en uso antes de que se produjera el restablecimiento de $\overline{\text{MCLR}}$. El bit de estado EXTR (RCON <7>) está configurado para indicar el $\overline{\text{MCLR}}$ *Reset*.

1.7.2.4 SWR – Instrucción *RESET* de Software

Siempre que se ejecuta la instrucción *RESET*, el dispositivo establece $\overline{\text{SYSRST}}$. Este estado de reinicio no reinicializa el reloj. La fuente de reloj que está en efecto antes de la instrucción *RESET* permanece en efecto. $\overline{\text{SYSRST}}$ se libera en el siguiente ciclo de instrucción, pero la recuperación del vector *Reset* comienza sólo después del retardo T_{RST} .

¹³ Power-On Reset – Reinicio de Encendido

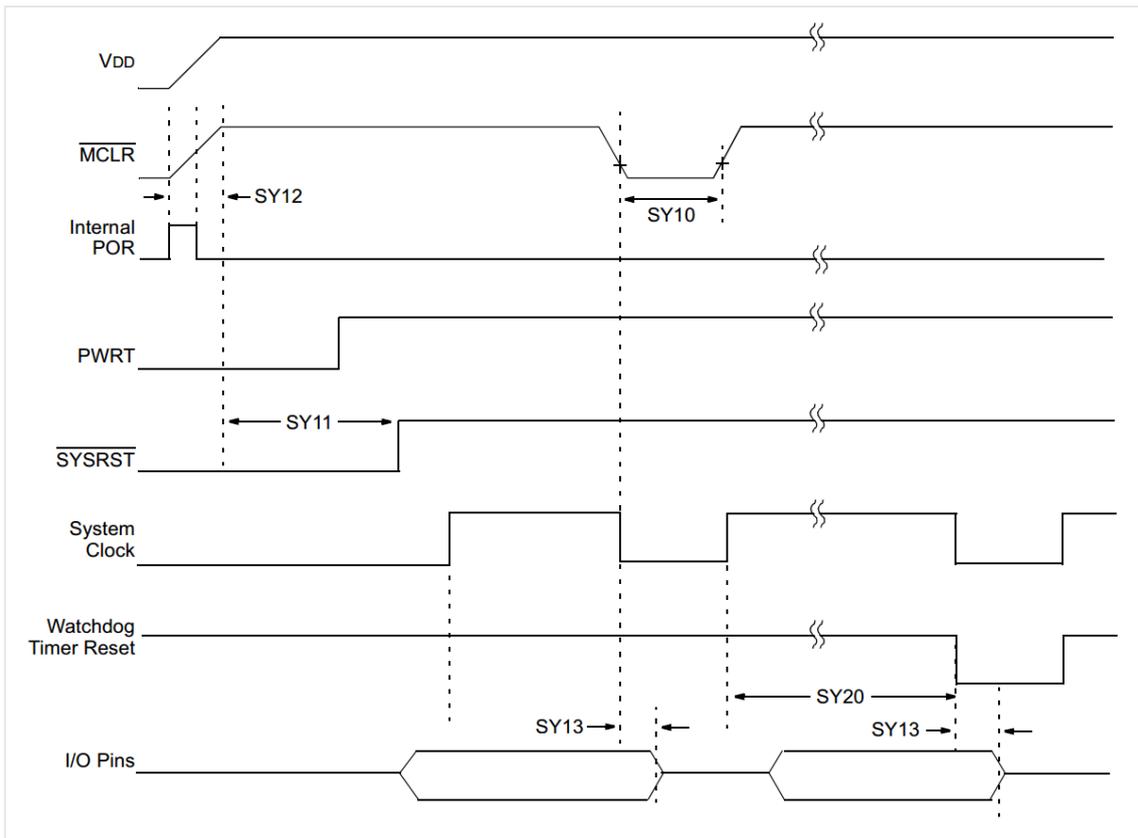


Fig. 59 Características de los temporizadores de Reset

1.7.2.5 Modo V_{BAT}

La entrada en el modo V_{BAT} se hace posible para el dispositivo conectando a una fuente de alimentación externa (es decir, batería) al pin V_{BAT} . El modo V_{BAT} se activa automáticamente cuando la alimentación principal del microcontrolador en V_{DD} falla. El modo V_{BAT} se puede introducir desde cualquiera de los otros modos de operación (*Run, Idle, Sleep, Deep Sleep*). Además, el modo V_{BAT} se introduce cuando V_{BAT} se alimenta de V_{DD} , si se pierde la alimentación V_{DDCORE} , pero no el voltaje del pin V_{DD} . Esto mantiene unos pocos sistemas clave con un consumo de energía extremadamente bajo hasta que V_{DD} se restaure. Para entrar correctamente en el modo V_{BAT} , el dispositivo debe tener activado al menos un monitor BOR.

1.7.3 Interrupciones

El módulo de controlador de interrupciones PIC24F reduce las numerosas señales de petición de interrupción periférica a una única señal de petición de interrupción a la CPU PIC24F y tiene las siguientes características:

- Hasta 8 excepciones de procesador y trampas de software
- 7 niveles de prioridad seleccionables por el usuario
- *Interrupt Vector Table* (IVT) con hasta 118 vectores
- Un vector único para cada fuente de interrupción o excepción
- Prioridad fija dentro de un nivel de prioridad de usuario especificado
- *Alternate Interrupt Vector Table* (AIVT) para el soporte de depuración
- Ingreso fijo de interrupciones y latencias de retorno

1.7.3.1 Estado de prioridad de la CPU

La CPU puede funcionar en uno de los dieciséis niveles de prioridad, 0-15. Una fuente de interrupción o *trap* debe tener un nivel de prioridad mayor que la prioridad actual de la CPU para iniciar un proceso de excepción. Las fuentes de interrupción periféricas y externas se pueden programar para los niveles 0-7, mientras que los niveles de prioridad de la CPU 8-15 se reservan para las fuentes de interrupción. Una trampa es una fuente de interrupción no enmascarable destinada a detectar problemas de hardware y software. El nivel de prioridad para cada fuente de captura es fijo y sólo se asigna una trampa a un nivel de prioridad. Una fuente de interrupción programada para el nivel de prioridad 0 se deshabilita, ya que nunca puede ser mayor que la prioridad de la CPU.

El nivel de prioridad actual de la CPU se indica mediante los cuatro bits de estado siguientes:

- Los bits de estado IPL <2:0> se encuentran en SR <7:5>
- El bit de estado IPL3 se encuentra en CORCON <3>

1.7.3.2 Prioridad de interrupción

Cada fuente de interrupción periférica puede asignarse a uno de los siete niveles de prioridad. Los bits de control de prioridad de interrupción asignables por el usuario para cada interrupción individual se encuentran en los 3 bits menos significativos de cada *nibble*¹⁴ dentro del (de los) registro (s) IPCn. No se utiliza el bit 3 de cada *nibble* y se lee como '0'. Estos bits definen el nivel de prioridad asignado a una interrupción particular. Los niveles de prioridad utilizables comienzan en el nivel 1 como la prioridad más baja y el nivel 7 como la prioridad más alta. Si los bits IPCn asociados con una fuente de interrupción están desactivados, entonces la fuente de interrupción se deshabilita efectivamente.

1.7.3.3 Tiempo de procesamiento de la interrupción

La Figura 60 muestra la secuencia de eventos cuando una interrupción periférica se establece durante una instrucción de un ciclo. El proceso de interrupción lleva cuatro ciclos de instrucción. Cada ciclo está numerado.

El bit de estado de indicador de interrupción se establece durante el ciclo de instrucción después de que se produce la interrupción periférica. La instrucción actual se completa durante este ciclo de instrucción. En el segundo ciclo de instrucción después del evento de interrupción, los contenidos de los registros PC¹⁵ y SRL se guardan en un registro de memoria intermedia. El segundo ciclo del proceso de interrupción se ejecuta como un NOP para mantener la consistencia con la secuencia tomada durante una instrucción de dos ciclos. En el tercer ciclo, el PC se carga con la dirección de la tabla vectorial para la fuente de interrupción y se obtiene la dirección inicial del ISR¹⁶. En el cuarto ciclo, el PC se carga con la dirección ISR. El cuarto ciclo se ejecuta como un NOP mientras se recupera la primera instrucción en el ISR.

¹⁴ *Nibble* – sucesión de cuatro cifras binarias, es decir, medio byte.

¹⁵ *Program Counter* – Contador de Programa

¹⁶ *Interrupt Service Routine* – Servicio de Rutina de Interrupciones

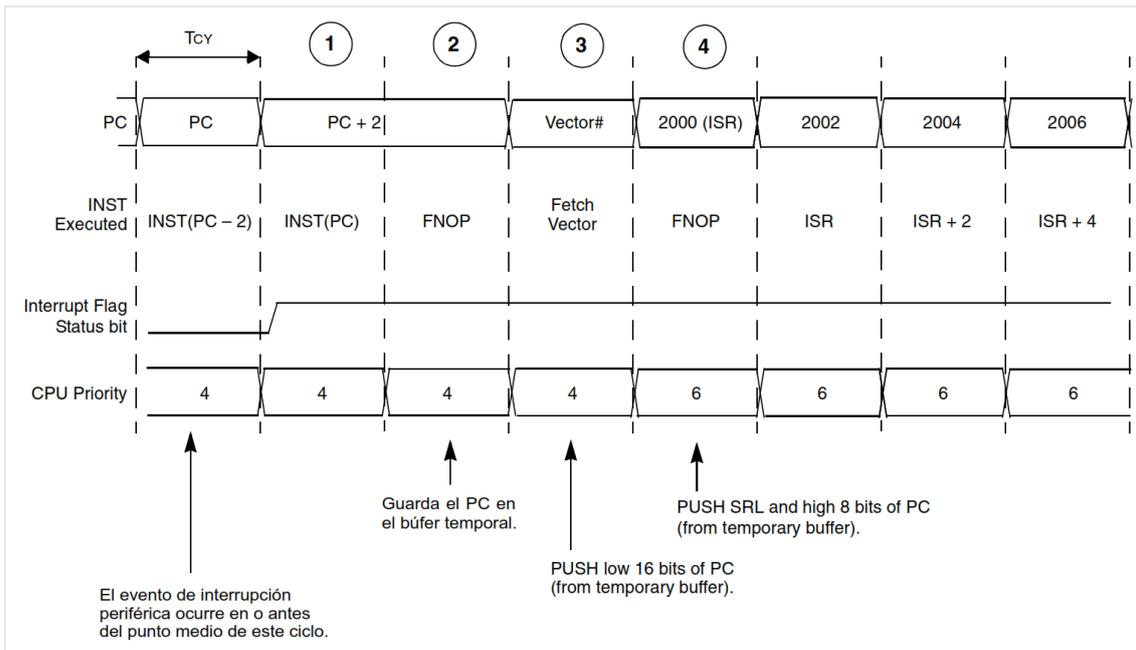


Fig. 60 Temporización de interrupción durante una instrucción de un ciclo

1.7.3.4 Registros de control y estado de interrupción

Los siguientes registros están asociados con el controlador de interrupción:

INTCON1, INTCON2

Las funciones globales de control de interrupción se derivan de estos dos registros. INTCON1 contiene el bit *Interrupt Nesting Disable* (NSTDIS), así como los indicadores de control y estado para las fuentes de captura de procesador. El registro INTCON2 controla el comportamiento de la señal de petición de interrupción externa y el uso de la tabla vectorial alternativa.

IFS_n: *Interrupt Flag Status Registers* - Registro de estado de la bandera de interrupción

Todos los indicadores de petición de interrupción se mantienen en los registros IFS_n, donde 'n' denota el número de registro. Cada fuente de la interrupción tiene un bit de estado, que es fijado por los periféricos respectivos o la señal externa, y se despeja vía software.

IEC_n: *Interrupt Enable Control Registers* - Registros de control de habilitación de interrupciones

Todos los bits de control de habilitación de interrupción se mantienen en los registros IEC_n, donde 'n' denota el número de registro. Estos bits de control se utilizan para habilitar individualmente interrupciones desde los periféricos o señales externas.

IPC_n: *Interrupt Priority Control Registers* - Registros de control de prioridad de interrupción

Cada fuente de interrupción del usuario puede asignarse a uno de los ocho niveles de prioridad. Los registros IPC_n se utilizan para establecer el nivel de prioridad de interrupción para cada fuente de interrupción.

SR: *CPU STATUS Register* - Registro ESTADO de CPU

El SR no forma parte del hardware del controlador de interrupción, pero contiene los bits de estado IPL <2:0> (SR <7:5>) que indican el nivel de prioridad

actual de la CPU. El usuario puede cambiar el nivel de prioridad actual de la CPU escribiendo en los bits IPL.

CORCON: Core Control Register - Registro de Control de Núcleo

El CORCON no forma parte del hardware del controlador de interrupción, pero contiene el bit de estado IPL3 que indica el nivel de prioridad actual de la CPU. IPL3 es un bit de sólo lectura, por lo que los eventos de captura no pueden ser enmascarados por el software del usuario.

Los registros SR, CORCON, INTCON1 e INTCON2 se describen en detalle en las siguientes páginas. El mapa de registros de interrupciones genéricas también se da en las siguientes páginas. Cada interrupción se asocia con una *Interrupt Flag* (IF), un bit *Interrupt Enable* (IE) y tres *Interrupt Priority Bits* (IP2:IP0). El número real de registros IFSn, IECn e IPCn depende del número de interrupciones implementadas en un dispositivo en particular.

1.7.3.5 Procedimientos de configuración de la interrupción

Inicialización

Los siguientes pasos describen cómo configurar una fuente de interrupción:

1. Establecer el bit de control NSTDIS (INTCON1 <15>) si las interrupciones anidadas no son deseadas.
2. Seleccionar cada nivel de prioridad asignado por el usuario para la fuente de interrupción escribiendo los bits de control en el registro de control IPCn apropiado. El nivel de prioridad dependerá de la aplicación específica y el tipo de fuente de interrupción. Si no se desean múltiples niveles de prioridad, los bits de control del registro IPCn para todas las fuentes de interrupción activadas pueden programarse al mismo valor distinto de cero.
3. Borrar el bit de estado de indicador de interrupción asociado con el periférico en el registro de estado IFSn asociado.
4. Habilitar la fuente de interrupción estableciendo el bit de control de habilitación de interrupción asociado con la fuente en el registro de control IECn apropiado.

Deshabilitar Interrupciones

Todas las interrupciones del usuario se pueden desactivar mediante el siguiente procedimiento:

1. Presionar el valor actual de SR en la pila de software utilizando la instrucción PUSH.
2. Forzar la CPU al nivel de prioridad 7 mediante OR incluido el valor 0xE0 con SRL.

Para habilitar las interrupciones del usuario, la instrucción POP puede usarse para restaurar el valor SR anterior.

Tener en cuenta que sólo las interrupciones del usuario con un nivel de prioridad de 7 o menos pueden desactivarse. No se pueden desactivar las fuentes de captura (nivel 8-15).

La instrucción DISI proporciona una forma conveniente de desactivar las interrupciones de los niveles de prioridad 1-6 durante un período de tiempo fijo.

Las fuentes de interrupción de nivel 7 no se desactivan mediante la instrucción DISI.

1.7.4 Temporizadores

Dependiendo de la variante específica, la familia de dispositivos PIC24F ofrece varios temporizadores de 16 bits. Estos temporizadores se designan como Timer1, Timer2, Timer3, ..., etc.

Cada módulo temporizador es un temporizador/contador de 16 bits que consta de los siguientes registros de lectura/escritura:

- TMRx: registro de temporizador de 16 bits
- PRx: registro de Período Timer 16-Bit asociado con el temporizador
- TxCON: registro de temporizador de 16 bits asociado al temporizador

Cada módulo temporizador también tiene los bits asociados para el control de interrupción:

- Bit de control de habilitación de interrupción (TxIE)
- Bit de estado de la bandera de interrupción (TxIF)
- Interrupción de los bits de control de prioridad (TxIP <2:0>)

Con ciertas excepciones, todos los temporizadores de 16 bits tienen el mismo circuito funcional. Los temporizadores de 16 bits se clasifican en tres tipos para tener en cuenta sus diferencias funcionales:

- Base de tiempo tipo A
- Base de tiempo tipo B
- Base de tiempo tipo C

Algunos temporizadores de 16 bits se pueden combinar para formar un temporizador de 32 bits.

1.7.4.1 Temporizador de Tipo A

Un temporizador de tipo A tiene las siguientes características únicas sobre otros tipos:

- Se puede operar desde el dispositivo oscilador de baja potencia de 32 kHz
- Puede ser operado en un modo asíncrono desde una fuente de reloj externa

En particular, las características únicas de un temporizador de tipo A permiten utilizarlo para funciones de cronometraje o como una fuente de reloj de sistema secundario.

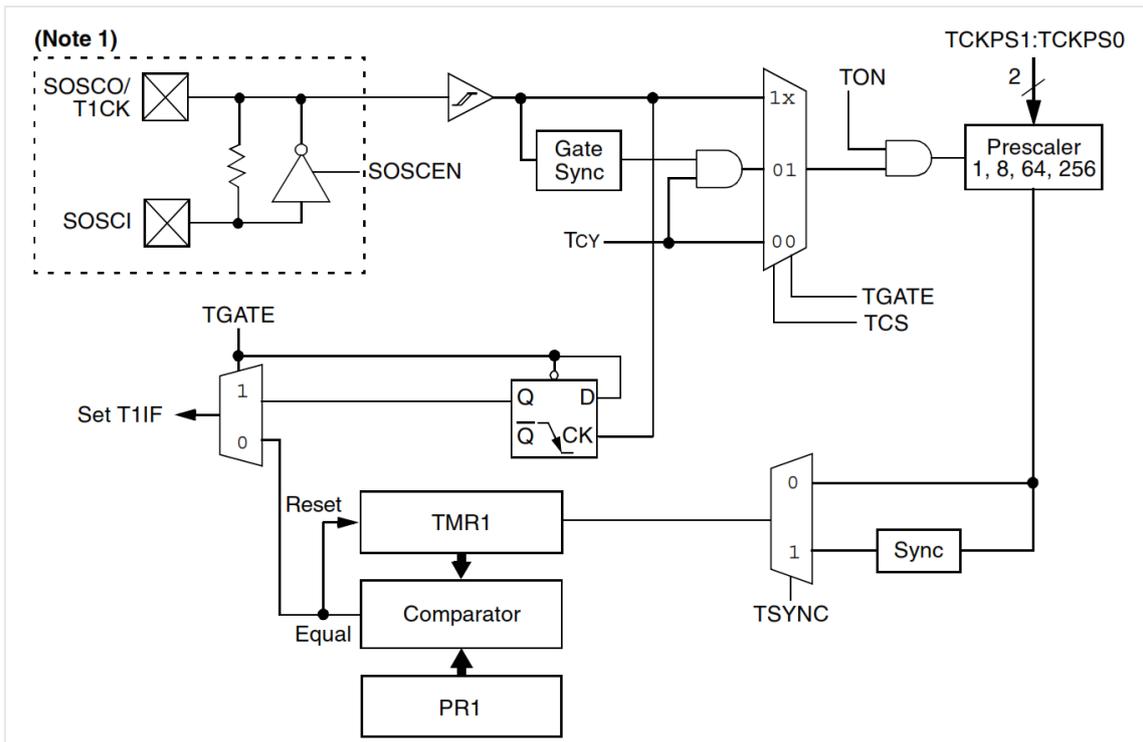


Fig. 61 Diagrama de bloque de temporizador de Tipo A

1.7.4.2 Temporizador de Tipo B

Un temporizador de tipo B tiene las siguientes características únicas sobre otros tipos de temporizadores:

- Un temporizador de tipo B se puede concatenar con un temporizador de tipo C para formar un temporizador de 32 bits. El registro TxCON para un temporizador de tipo B tiene el bit de control T32 para habilitar la función de temporizador de 32 bits.
- La sincronización del reloj para un temporizador de tipo B se realiza después de la lógica de *prescaler*.

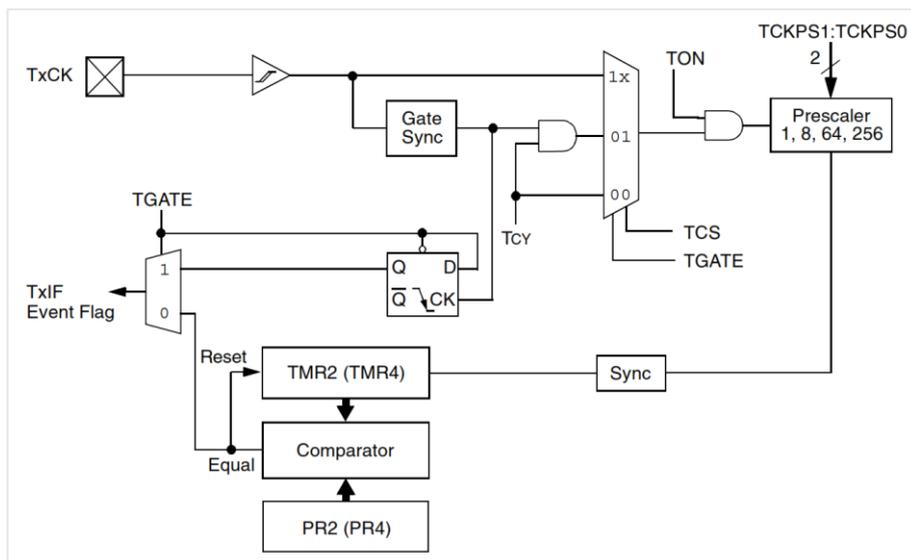


Fig. 62 Diagrama de bloque de temporizador de Tipo B

1.7.4.3 Temporizador de Tipo C

Timer3 y Timer5 son temporizadores de tipo C en la mayoría de los dispositivos PIC24F. Un temporizador tipo C tiene las siguientes características únicas sobre otros tipos de temporizadores:

- Un temporizador de tipo C se puede concatenar con un temporizador de tipo B para formar un temporizador de 32 bits.
- **En un dispositivo determinado, al menos un temporizador de Tipo C tiene la capacidad de activar una conversión A/D.**

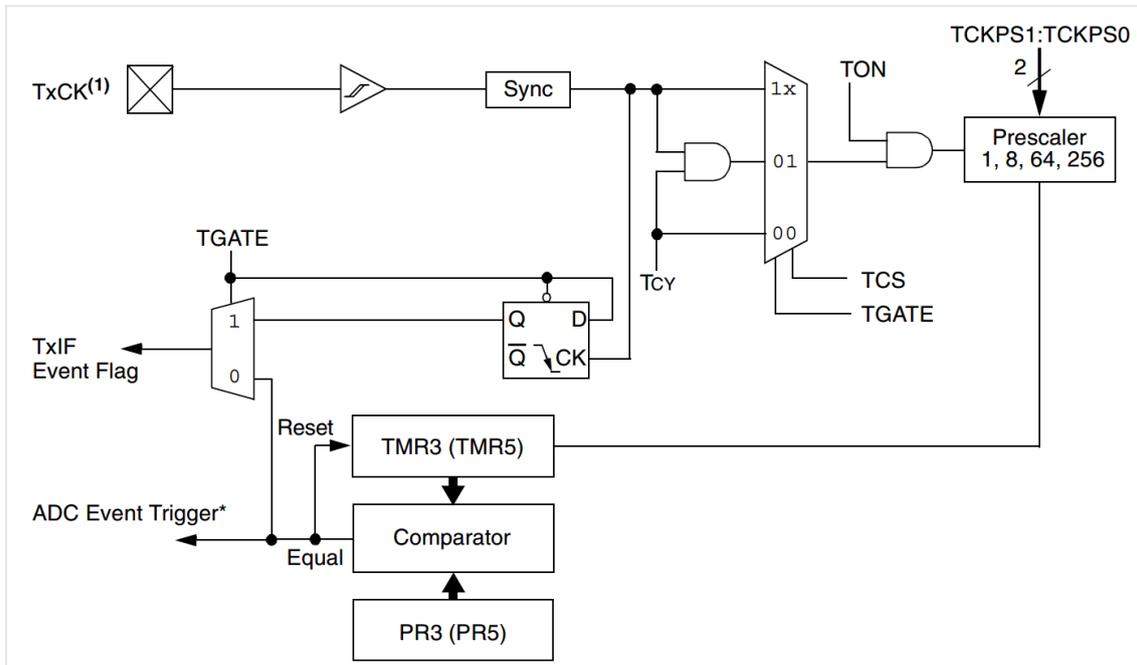


Fig. 63 Diagrama de bloque de temporizador de Tipo C

Modos de operación

Cada módulo temporizador puede funcionar en uno de los siguientes modos:

- Temporizador
- Contador síncrono
- Como un temporizador cerrado
- Contador asíncrono (sólo base de tiempo de tipo A y C)

Los modos de temporizador están determinados por los siguientes bits:

- TCS (TxCON <1>): *Timer Clock Source Control bit*
- TSYNC (TxCON <2>): Bit de control de sincronización de temporizador (sólo base de tiempo de tipo A)
- TGATE (TxCON <6>): Bit de control de la puerta del temporizador

Cada módulo temporizador se habilita/deshabilita con el bit TON (TxCON <15>).

1.7.4.4 Prescaladores de temporizadores

El reloj de entrada (FOSC/2 o reloj externo) a todos los temporizadores de 16 bits tiene opciones de prescala de 1:1, 1:8, 1:64 y 1:256. El *prescaler* del reloj se selecciona utilizando los bits de control TCKPS <1:0> (TxCON <5:4>). El contador de *prescaler* se borra cuando ocurre cualquiera de lo siguiente:

- Una escritura en el registro TMRx
- Eliminación de TON (TxCON <15>) a '0'
- Cualquier dispositivo Reset

1.7.4.5 Interrupciones del temporizador

Un temporizador de 16 bits tiene la capacidad de generar una interrupción en una coincidencia de período o un flanco descendente de la señal de puerta externa, dependiendo del modo de funcionamiento. El bit TxIF se establece cuando se cumple una de las condiciones siguientes:

- El contador del temporizador coincide con el registro de período respectivo y el módulo del temporizador no está funcionando en modo de acumulación de tiempo cerrado.
- El borde descendente de la señal de "puerta" se detecta cuando el temporizador está funcionando en modo de acumulación de tiempo cerrado.

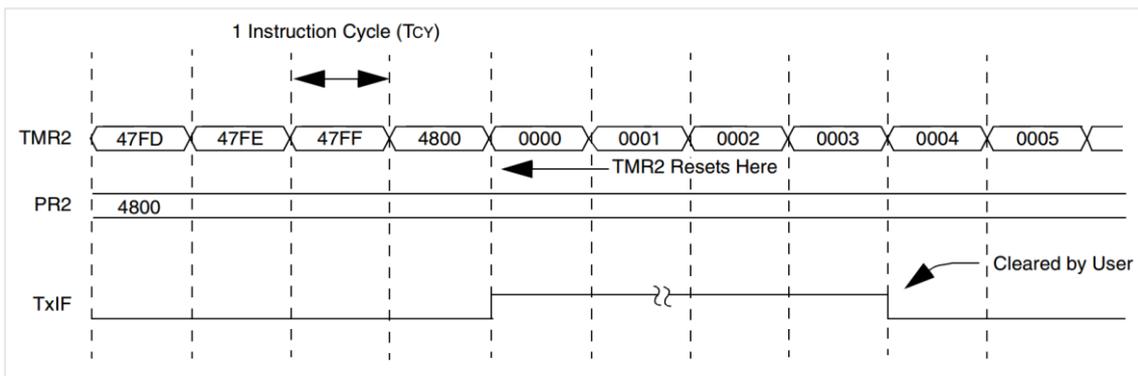


Fig. 64 Temporización de Interrupción

1.7.4.6 Escribir en los temporizadores de 16 bits

Todos los módulos de temporizador SFR pueden **escribirse** como un byte (8 bits) o como una palabra (16 bits). Todos los módulos de temporizador SFR sólo pueden **leerse** como una palabra (16 bits).

El temporizador y su respectivo registro de período se pueden escribir mientras el módulo está en funcionamiento. El usuario debe tener en cuenta lo siguiente cuando se realizan escrituras de bytes:

- Si el temporizador se incrementa y se escribe el byte bajo del temporizador, el byte superior del temporizador no se ve afectado. Si se escribe 0xFF en el byte bajo del temporizador, el siguiente reloj del contador del temporizador después de esta escritura hará que el byte bajo vuelva a 0x00 y genere un *carry* (desbordamiento) en el byte alto del temporizador.
- Si el temporizador se incrementa y se escribe el byte alto del temporizador, el byte bajo del temporizador no se ve afectado. Si el byte bajo del temporizador contiene 0xFF cuando se produce la escritura, el siguiente reloj del contador del temporizador generará un *carry* desde el byte bajo del temporizador y este *carry* hará que el byte superior del temporizador se incremente.

Cuando el registro TMRx se escribe en (palabra o byte) a través de una instrucción, el incremento de registro TMRx se enmascara y no ocurre durante ese ciclo de instrucción.

1.7.4.7 Lectura de los temporizadores de 16 bits

Todas las lecturas de los temporizadores y sus SFR asociados deben ser lecturas de palabras (16 bits). Un byte leído no tendrá efecto ('0' será devuelto).

El temporizador y el respectivo registro de período se pueden leer mientras el módulo está en funcionamiento. Una lectura del registro TMRx no impide que el temporizador se incremente durante el mismo ciclo de instrucción.

1.7.4.8 Configuración del temporizador de 32 bits

Un módulo de temporizador de 32 bits se puede formar combinando un módulo temporizador de tipo B y un módulo de temporizador de tipo C de 16 bits. La base de tiempo de tipo C se convierte en la palabra más significativa (msw) del temporizador combinado y la base de tiempo de tipo B es la palabra menos significativa (lsw).

Cuando se configuran para la operación de 32 bits, los bits de control para la base de tiempo de tipo B controlan el funcionamiento del temporizador de 32 bits. Los bits de control en el registro TxCON para la base de tiempo de Tipo C no tienen efecto.

Para el control de interrupciones, el temporizador combinado de 32 bits utiliza los bits de activación de interrupción, de interrupción y de control de prioridad de interrupción de la base de tiempo de Tipo C como se muestra en la Figura 65. El control de interrupción y los bits de estado para la base de tiempo de Tipo B no se utilizan durante el funcionamiento del temporizador de 32 bits.

1.7.4.9 Activador de eventos especiales A/D

En cada variante de dispositivo, una base de tiempo de Tipo C tiene la capacidad de generar una señal de activación de conversión A/D especial, en una coincidencia de período, en ambos modos de 16 y 32 bits. El módulo temporizador proporciona una señal de inicio de conversión a la lógica de muestreo A/D.

Si $T32=0$ cuando se produce una coincidencia entre el registro de temporizador de 16 bits (TMRx) y el registro de período de 16 bits respectivo (PRx), se genera la señal de disparo de evento especial de A/D.

Si $T32=1$ cuando se produce una coincidencia entre el temporizador de 32 bits (TMRx:TMRy) y el registro de período combinado respectivo de 32 bits (PRx:PRy), se genera la señal de disparo de evento especial A/D.

1.7.4.10 Temporizador como un Pin de Interrupción Externa

El pin de entrada del reloj externo para cada temporizador se puede utilizar como un pin de interrupción adicional. Para proporcionar la interrupción, el registro de período de tiempo, PRx, se escribe con un valor distinto de cero y el registro TMRx se inicializa a un valor de 1 menos que el valor escrito en el registro de período. El temporizador debe configurarse para un *prescaler* de reloj 1:1. Se generará una interrupción cuando se detecte el siguiente flanco ascendente de la señal de reloj externa.

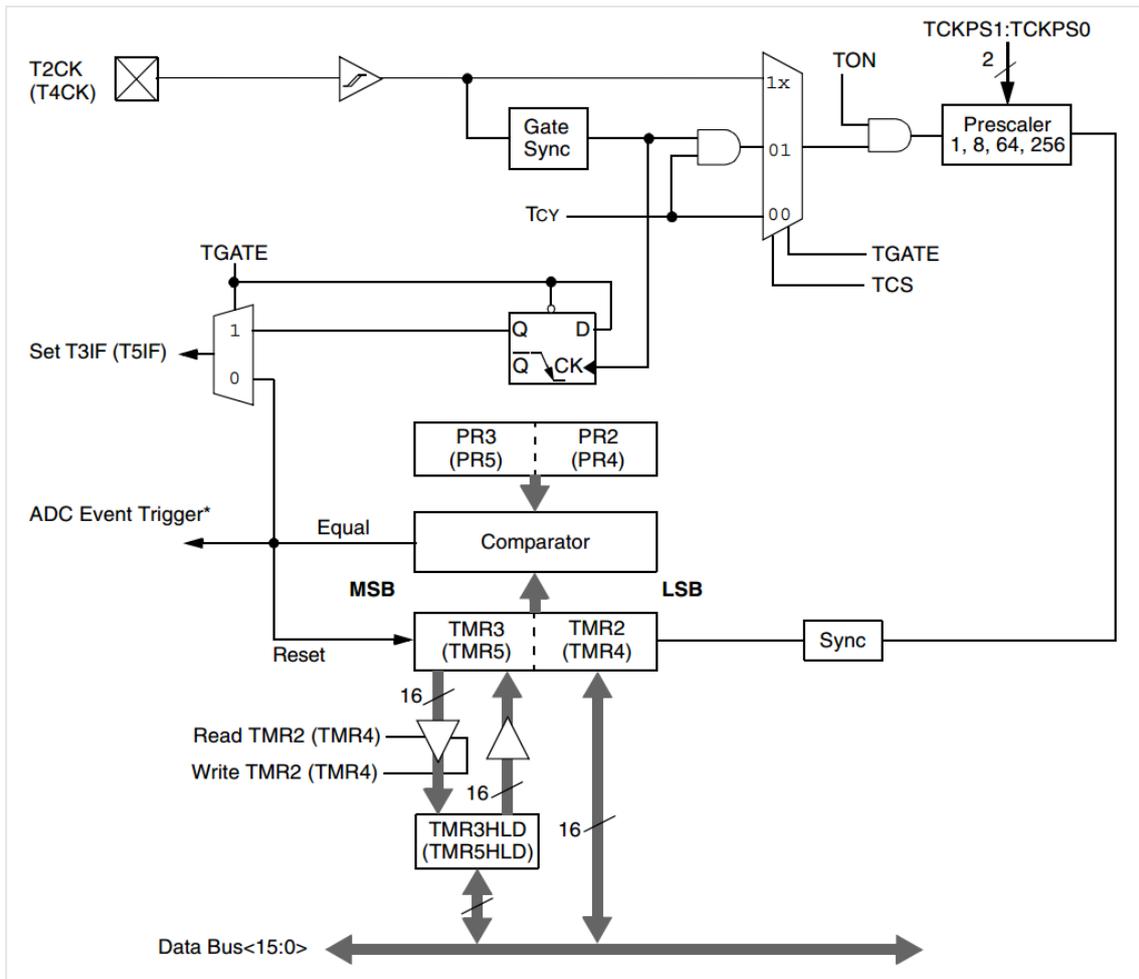


Fig. 65 Diagrama de bloques del par de temporizadores Tipo B o C

1.7.4.11 Habilitación del temporizador

Para activar el temporizador, se debe borrar el bit de desactivación del módulo temporizador (TxMD en el registro PMD1) junto con el ajuste del bit de habilitación del módulo. Al configurar el bit TxMD desactivará todas las fuentes de reloj de ese módulo, reduciendo su consumo de energía a un mínimo absoluto. En este estado, los registros de control y de estado asociados con el periférico también se desactivarán, por lo que las escrituras en esos registros no tendrán efecto y los valores de lectura no serán válidos.

1.7.5 Convertidor A/D de 10 bits

El convertidor A/D de 10 bits del PIC24F tiene las siguientes características clave:

- Conversión Sucesiva del Registro de Aproximación (SAR)
- Velocidades de conversión de hasta 500 kps
- Hasta 16 canales de entrada analógicos externos
- Múltiples canales de entrada de referencia interna
- Pines de entrada de referencia de voltaje externo
- Amplificador Unipolar de Muestreo y Retención (S/H)
- Modo de exploración automática de canales
- Fuente de disparo de conversión seleccionable
- Tampón de resultado de conversión de 16 palabras

- Modos de llenado de búfer seleccionables
- Cuatro Opciones para la Alineación de Resultados
- Funcionamiento durante los modos dormido e inactivo de la CPU

El módulo convertidor A/D de 10 bits acepta una única señal analógica en cualquier instante y la convierte en un valor digital de 10 bits correspondiente. Contiene hasta 16 entradas analógicas y entradas de referencia independientes; El número real disponible en un dispositivo particular depende del tamaño del paquete. El corazón del módulo es un tipo de convertidor A/D de registro sucesivo de aproximación (SAR). Las características de hardware que rodean el SAR proporcionan configuración flexible y soporte de hardware para el funcionamiento automático y minimizan los gastos generales del software, especialmente en operaciones de alta velocidad. Las tres secciones principales que rodean el ADC son la selección de entrada analógica, un buffer de salida asignado a memoria y funciones de temporización y control.

Un amplificador interno de Sample-and-Hold (S/H) adquiere una muestra de una señal de entrada, entonces mantiene ese valor constante durante el proceso de conversión. Una combinación de multiplexores de entrada selecciona la señal a convertir de múltiples clavijas de entrada analógica. La trayectoria completa del multiplexor incluye la provisión de entrada analógica diferencial, aunque el número de pasadores de entrada negativos está limitado, y la diferencia de señal debe permanecer positiva (es decir, unipolar). El voltaje muestreado se mantiene y se convierte en un valor digital, que, hablando estrictamente, representa la relación de esa tensión de entrada a una tensión de referencia. Las opciones de configuración permiten la conexión de una referencia externa o el uso de la alimentación del dispositivo y de tierra (AV_{DD} y AV_{SS}). Los pines de referencia y de señal de entrada se asignan de forma diferente dependiendo del dispositivo en particular.

Una matriz de selección de temporización y control permite al usuario crear secuencias de exploración flexibles. Las conversiones se pueden iniciar individualmente mediante control de programa, funcionamiento continuamente libre o activado por eventos de hardware seleccionados. Un solo canal puede ser repetidamente convertido; Se pueden realizar conversiones alternas en dos canales, o cualquiera o todos los canales pueden ser escaneados secuencialmente y convertidos de acuerdo con un mapa de bits definido por el usuario.

La salida de conversión resultante es un número digital de 10 bits que puede ser con signo o sin signo, justificado a la izquierda o a la derecha. **Las conversiones se almacenan automáticamente en un buffer dedicado de 16 palabras**, lo que permite realizar varias lecturas sucesivas antes de necesitar el servicio de software. Las conversiones sucesivas se colocan en ubicaciones de búfer secuenciales. Alternativamente el búfer puede dividirse en dos secciones de 8 palabras para operaciones de conversión y lectura simultáneas. El módulo establece su indicador de interrupción después de un número seleccionable de conversiones, de uno a dieciséis, cuando se puede leer todo el búfer. Después de la interrupción, la secuencia se reinicia al comienzo del buffer. Cuando se establece el indicador de interrupción de acuerdo con la selección anterior, las selecciones de exploración y el puntero de memoria intermedia de salida vuelven a sus posiciones iniciales.

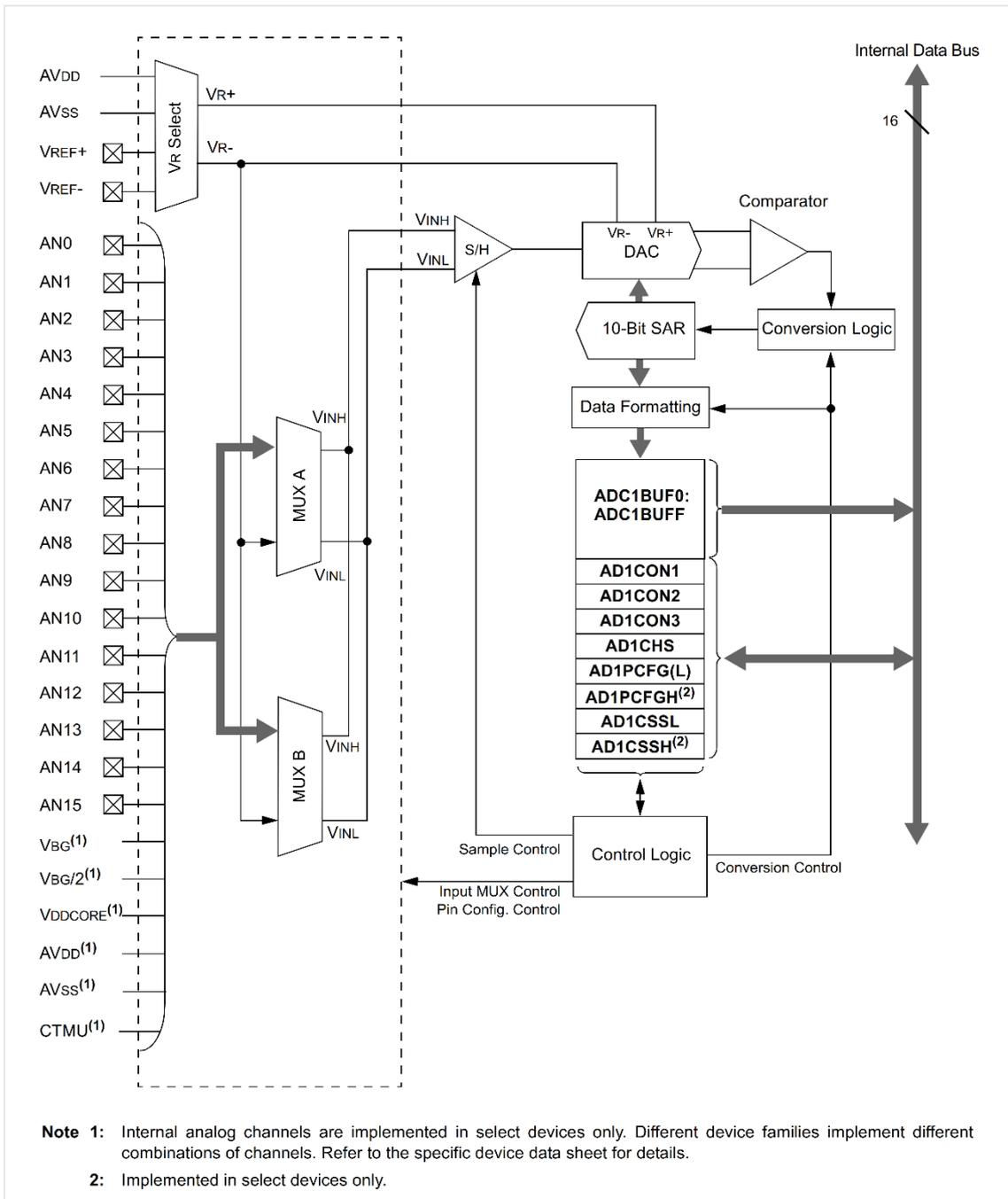


Fig. 66 Diagrama de bloques del convertidor A/D de 10 bits

1.7.5.1 Terminología A/D y secuencia de conversión

El tiempo de muestra es el tiempo que el amplificador S/H del módulo A/D está conectado al pin de entrada analógica. El tiempo de muestreo puede ser iniciado y finalizado automáticamente por el hardware del Convertidor A/D o bajo control directo del programa. Hay un tiempo de muestreo mínimo para asegurar que el amplificador S/H dará suficiente precisión para la conversión A/D.

El tiempo de conversión es el tiempo requerido para que el Convertidor A/D convierta el voltaje sostenido por el amplificador S/H. El desencadenador de conversión finaliza el tiempo de muestreo y comienza una conversión A/D o una secuencia repetitiva. Las fuentes de disparo de conversión pueden tomarse de

una variedad de fuentes de hardware o pueden ser controladas directamente en software. **Una conversión A/D requiere un ciclo de reloj A/D (T_{AD}) para convertir cada bit del resultado, más dos ciclos de reloj adicionales, o un total de 12 ciclos T_{AD} para una conversión de 10 bits.** Cuando se completa la conversión, el resultado se carga en uno de los 16 búferes de resultado A/D. El S/H se puede volver a conectar al pin de entrada y se puede generar una interrupción de CPU. La suma del tiempo de muestreo y el tiempo de conversión A/D proporciona el tiempo de secuencia A/D total. La Figura 68 muestra la secuencia básica de conversión y la relación entre intervalos.

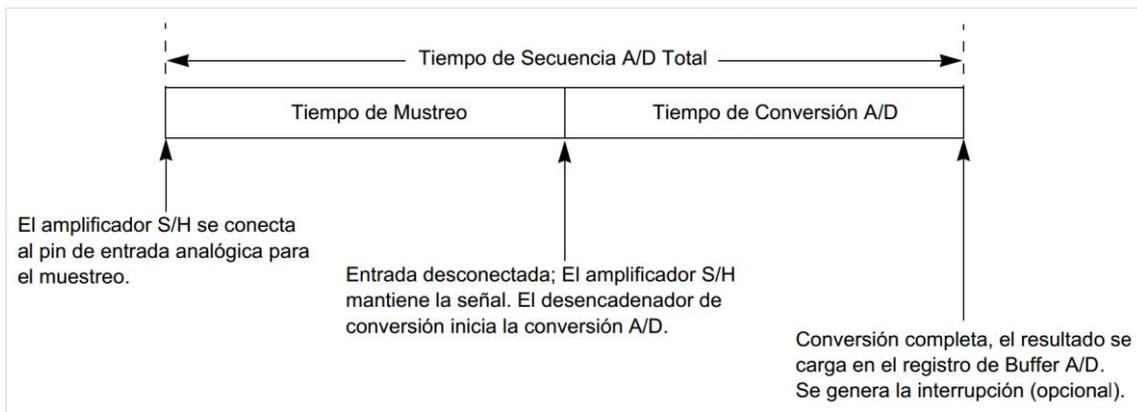


Fig. 67 Muestreo A/D y Secuencia de conversión

Las fuentes de disparo de conversión pueden tomarse de una variedad de fuentes de hardware o pueden ser controladas directamente por software. Una de las opciones de activación de conversión es una conversión automática, que utiliza un contador y el reloj A/D para establecer el tiempo entre las conversiones automáticas. **El modo de muestra automática y el disparador de conversión automática se pueden utilizar juntos para proporcionar conversiones automáticas continuas sin intervención del software.**

1.7.5.2 Funcionamiento como máquina de estado

El proceso de conversión A/D se puede pensar en términos de una máquina de estado finito como en la Figura 69. El estado de la muestra representa el tiempo que el canal de entrada está conectado al amplificador S/H y la señal se pasa a la entrada del convertidor. El estado de conversión es transitorio; El módulo entra en este estado tan pronto como sale del estado de muestreo y transita a un estado diferente cuando está hecho. El estado inactivo es el estado predeterminado antes de la inicialización del módulo y después de una conversión controlada por software; Se puede evitar el funcionamiento mediante el modo de muestreo automático. Los estados de la máquina son identificados por el estado de varios bits de control y estado en el registro AD1CON1.

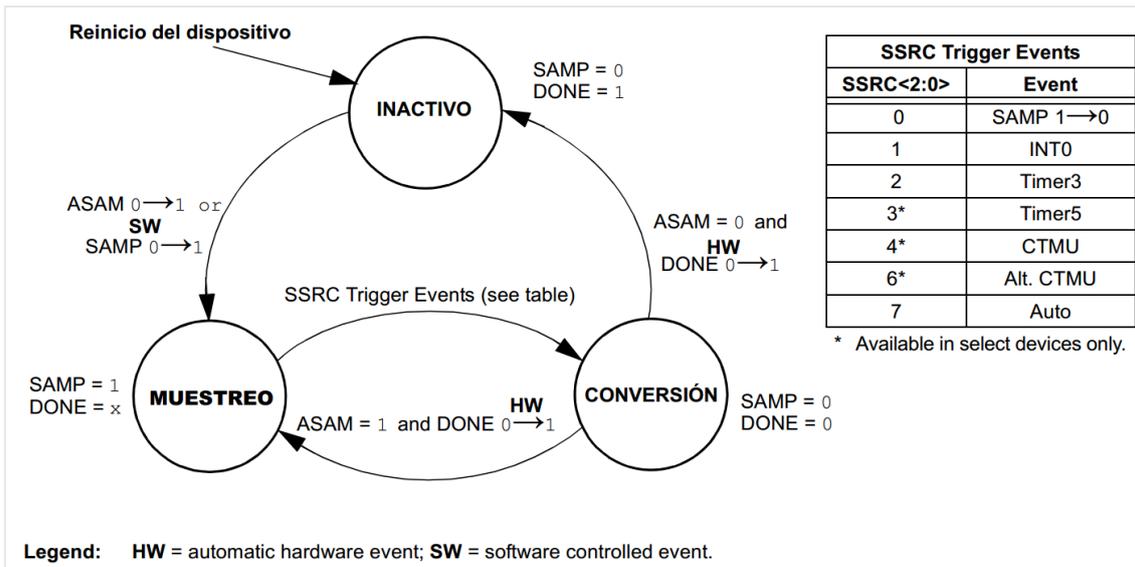


Fig. 69 Modelo de máquina de estado del módulo A/D

Si el módulo está configurado para el modo de muestra automática, la operación "salta" continuamente entre los estados de muestreo y conversión. El módulo selecciona automáticamente los canales de entrada que se van a muestrear (si el escaneo de canales está habilitado), mientras que la fuente de disparador de conversión seleccionada hace que toda la operación funcione. Cada vez que el modo de muestra automática no se utiliza para la conversión, está disponible para el estado de la muestra. **El usuario debe asegurarse de que el tiempo de adquisición es suficiente para garantizar una conversión correcta.**

Siempre que la cuestión del tiempo de muestreo es importante, el evento significativo es la transición de la muestra al estado de conversión. Este es el punto donde se cierra la apertura Sample-and-Hold y es esencialmente el valor de la señal en este instante que se aplica a la A/D para la conversión a digital.

1.7.5.3 Registros de control

El módulo convertidor A/D de 10 bits utiliza un total de 22 registros para su funcionamiento. Todos los registros se asignan en el espacio de memoria de datos.

Dependiendo del dispositivo específico, el módulo tiene hasta ocho registros de control y de estado:

- AD1CON1: Registro de control A/D 1
- AD1CON2: Registro de control A/D 2
- AD1CON3: Registro de control A/D 3
- AD1CHS: A/D Registro para Seleccionar el Canal de entrada
- AD1PCFG (L) y AD1PCFGH: Registros de configuración de puertos A/D
- AD1CSSL y AD1CSSH: Reg. de selección de escaneo de entrada A/D

Los registros AD1CON1, AD1CON2 y AD1CON3 controlan el funcionamiento general del módulo A/D. Esto incluye habilitar el módulo, configurar el reloj de conversión y las fuentes de referencia de tensión, seleccionar los disparadores de muestreo y conversión y controlar manualmente las secuencias de muestreo o conversión.

El registro AD1CHS selecciona los canales de entrada que se van a conectar al amplificador S/H. También permite la elección de multiplexores de entrada y la selección de una fuente de referencia para el muestreo diferencial.

El registro AD1PCFG (AD1PCFGL en dispositivos selectos) configura los pines de E/S como entradas analógicas o E/S digitales. Para los dispositivos PIC24F con los canales de referencia internos, los bits PCFG <17:16> en el registro AD1PCFGH permiten que estos canales se incluyan en la exploración secuencial.

El registro AD1CSSL selecciona los canales que se van a incluir para la exploración secuencial. Para los dispositivos PIC24F con los canales de referencia internos, el registro AD1CSSH selecciona estos canales para su inclusión en exploración secuencial.

1.7.5.4 Buffers de resultados A/D

El módulo incorpora una RAM de 16 páginas, de doble puerto, llamada ADC1BUF, para almacenar los resultados A/D. Cada una de las ubicaciones se asigna al espacio de memoria de datos y es direccionable por separado. Las 16 ubicaciones de tampón se denominan ADC1BUF0 hasta ADC1BUFF. Los búferes de resultado A/D son sólo de lectura.

1.7.5.5 Configuración del módulo A/D

Todos los registros descritos en la sección anterior deben configurarse para que la operación del módulo esté totalmente definida. Un enfoque eficaz es describir primero las señales y secuencias para la aplicación particular. Típicamente, es un proceso iterativo asignar señales a pines de puerto, establecer métodos de temporización y organizar un esquema de exploración, así como integrar todo el proceso con el diseño de software.

Las diversas funciones de configuración y control del módulo se distribuyen a través de los seis (u ocho) registros de control del módulo. Las funciones de control pueden clasificarse ampliamente en cuatro grupos: entrada, temporización, conversión y salida. La Tabla 5 muestra la ubicación del registro de los bits de control o estado por registro.

Tabla 5 Funciones del módulo A/D por registros y bits

A/D Function	Register(s)	Specific Bits
Entrada	AD1CON2	VCFG<2:0>, CSCNA, ALTS
	AD1CHS	CH0NB, CH0SB<4:0>, CH0NA, CH0SA<4:0>
	AD1PCFG(H/L)	PCFG<17:16> ⁽¹⁾ , PCFG<15:0>
	AD1CSS(H/L)	CSSL<17:16> ⁽¹⁾ , CSSL<15:0>
Conversion	AD1CON1	ADON, ADSIDL, SSRC<2:0>, ASAM, SAMP, DONE
	AD1CON2	SMPI<3:0>
Temporización	AD1CON3	ADRC, SAMC<4:0>, ADCS<7:0>
Salida	AD1CON1	FORM<1:0>
	AD1CON2	BUFS, BUFM

Nota: No escribir los bits SSRC, ASAM, BUFS, SMPI, BUFM y ALTS o los registros AD1CON3 y AD1CSSL, mientras que ADON = 1; De lo contrario, pueden producirse datos de conversión indeterminados.

Se deben seguir los siguientes pasos para realizar una conversión A/D.

1. Configurar el módulo A/D:
 - Seleccionar la fuente de referencia de voltaje para que coincida con el rango esperado en las entradas analógicas
 - Seleccionar el reloj de conversión analógica para que coincida con la velocidad de datos deseada con el reloj del procesador
 - Determinar cómo se producirá el muestreo
 - Ajustar las asignaciones de entrada del multiplexor
 - Seleccionar la secuencia de muestra / conversión deseada
 - Seleccionar el formato de datos de salida
 - Seleccionar el número de lecturas por interrupción
2. Configurar la interrupción A/D (si es necesario):
 - Borrar bit AD1IF
 - Seleccionar la prioridad de interrupción A/D
3. Activar el módulo A/D.

Las opciones para cada paso de configuración se describen en las secciones siguientes.

Selección del reloj de conversión A/D

El convertidor A/D tiene una velocidad máxima a la que se pueden completar las conversiones. Un reloj de módulo analógico, T_{AD} , controla el tiempo de conversión. La conversión A/D requiere 12 períodos de reloj ($12 T_{AD}$). El reloj A/D se deriva del reloj de instrucciones del dispositivo.

El período del reloj de conversión A/D se selecciona mediante software utilizando un contador de 6 bits. Existen 64 opciones posibles para T_{AD} , especificadas por los bits ADCS en el registro AD1CON3. La ecuación de la Figura 70 da el valor T_{AD} como una función de los bits de control ADCS y el periodo de reloj del ciclo de instrucción del dispositivo, T_{CY} . **Para las conversiones A/D correctas, el reloj de conversión A/D (T_{AD}) debe seleccionarse para garantizar un tiempo T_{AD} mínimo de 75ns.**

$$T_{AD} = T_{CY} (ADCS + 1)$$

$$ADCS = \frac{T_{AD}}{T_{CY}} - 1$$

Nota: Basándose en $T_{CY} = 2/F_{osc}$, el modo Doze y PLL están deshabilitados.

Fig. 70 Período de reloj de conversión A/D

El convertidor A/D también tiene su propia fuente dedicada de reloj RC que se puede utilizar para realizar conversiones. La fuente de reloj A/D RC debe utilizarse cuando las conversiones se realizan mientras el dispositivo está en modo de suspensión. El oscilador RC se selecciona ajustando el bit ADRC (AD1CON3 <15>). Cuando se establece el bit ADRC, los bits ADCS no tienen ningún efecto en la operación A/D.

Activación del módulo

Cuando se configura el bit ADON a '1' (AD1CON1 <15>), el módulo está totalmente alimentado y funcional. Cuando ADON es '0', el módulo está deshabilitado. Las partes digitales y analógicas del circuito se desactivan para un ahorro máximo de corriente. Como los registros ADC1BUF también forman parte del módulo A/D, borrar ADON también puede resultar en una pérdida de datos de conversión. Al activar el módulo configurando el bit ADON, el usuario debe esperar a que se establezcan las etapas analógicas.

1.7.5.6 Control del proceso de muestreo

Muestreo manual

Ajustar el bit SAMP (AD1CON1 <1>) mientras el bit ASAM (AD1CON1 <2>) está limpio hace que el A/D comience el muestreo. El borrado del bit SAMP termina el muestreo y comienza automáticamente la conversión. Sin embargo, debe haber un retardo suficiente entre el establecimiento y el borrado de SAMP para el inicio del proceso de muestreo (t_{PSS} , parámetro AD61). El muestreo no se reanuda hasta que se vuelva a configurar el bit SAMP. En la Figura 71 se muestra el inicio de la muestra manual y el inicio de la conversión manual.

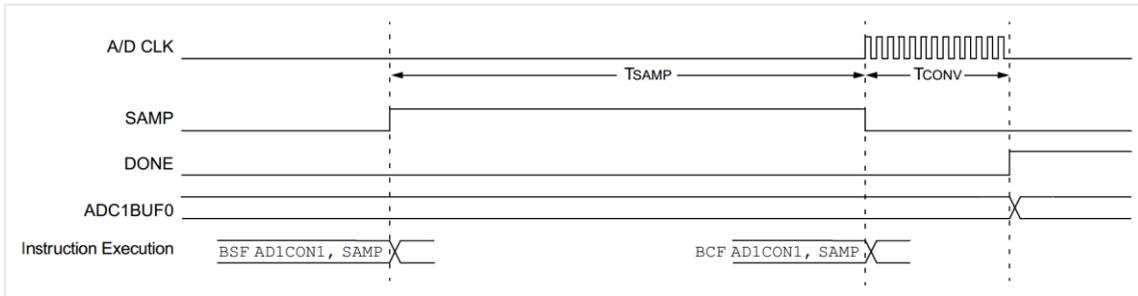


Fig. 71 Conversión de un canal A/D

Muestreo Automático

Al configurar el bit ASAM, el A/D comenzará automáticamente el muestreo una vez que se haya completado la conversión. Una de varias opciones puede ser usada para terminar el muestreo y completar las conversiones. El muestreo continuará en el siguiente canal seleccionado una vez finalizada la conversión en progreso.

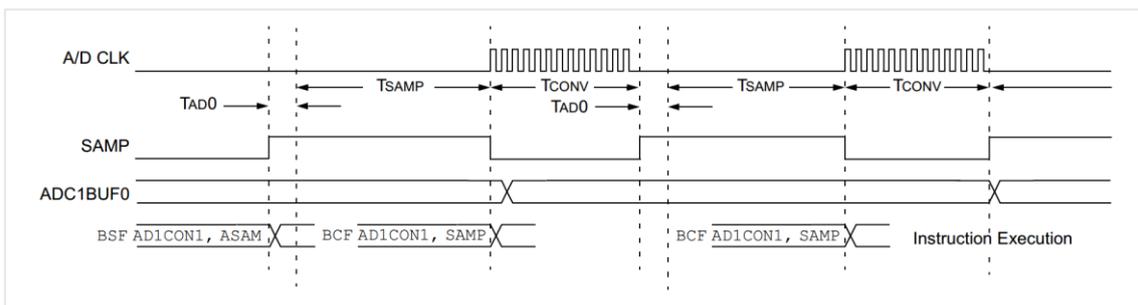


Fig. 72 Conversión de un canal, muestra automática, conversión manual

Supervisión del estado de la muestra

El bit SAMP indica el estado de muestreo de la A/D. Generalmente, cuando se borra el bit SAMP, indicando el final del muestreo, el bit DONE se borra

automáticamente para indicar el inicio de la conversión. Si SAMP es '0' mientras que DONE es '1', el A/D está en estado inactivo.

Abortar una muestra

Mientras está en el modo de muestreo manual, el borrado del bit SAMP terminará el muestreo. Si SSRC <2:0> = 000, también puede iniciar una conversión automáticamente.

Al borrar el bit ASAMP mientras está en el modo de muestreo automático, no finalizará una secuencia continua de muestreo/conversión. Sin embargo, el muestreo no se reanuda automáticamente después de una conversión posterior.

1.7.5.7 Control del proceso de conversión

La fuente de disparo de conversión finalizará el muestreo e iniciará una secuencia seleccionada de conversiones. Los bits SSRC <2:0> (AD1CON1 <7:5>) seleccionan la fuente del disparador de conversión.

Nota: Los bits de selección de SSRC no se deben cambiar cuando el módulo A/D está habilitado. Si el usuario desea cambiar la fuente de disparo de conversión, el módulo A/D debe desactivarse primero borrando el bit ADON (AD1CON1 <15>).

Disparador de conversión con reloj

Cuando SSRC <2:0> = 111, el desencadenador de conversión está bajo control de reloj A/D. Los bits SAMC (AD1CON3 <12:8>) seleccionan el número de ciclos de reloj T_{AD} entre el inicio del muestreo y el inicio de la conversión. Después del inicio del muestreo, el módulo contará una serie de relojes T_{AD} especificados por los bits SAMC. Los bits SAMC deben estar siempre programados para al menos 1 ciclo de reloj para asegurar que se cumplan los requisitos de muestreo.

$$T_{SMP} = SAMC_{<4:0>} * T_{AD}$$

Fig. 73 Tiempo de disparo de conversión con reloj

La Figura 74 muestra cómo usar el disparador de conversión sincronizado con el muestreo iniciado por el software del usuario.

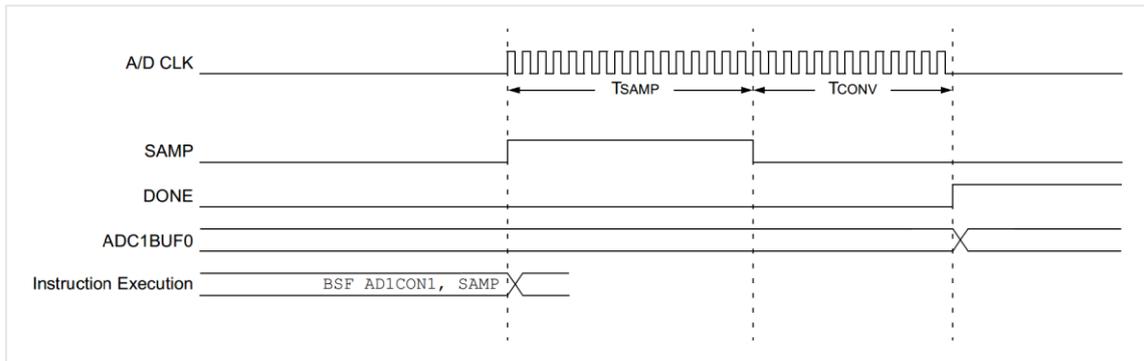


Fig. 74 Conversión de un canal, inicio de muestra manual, inicio de conversión basado en T_{AD}

Utilizando el modo de disparo de conversión automática (SSRC $\langle 2:0 \rangle = 111$), en combinación con el modo de Auto-Sample Start (ASAM = 1), permite al módulo A/D programar secuencias de muestra/conversión sin intervención del usuario u otros recursos del dispositivo. Este modo "Reloj", mostrado en la Figura 75, permite la recolección continua de datos después de la inicialización del módulo.

Hay que tener en cuenta que todas las temporizaciones en este modo varían con T_{AD} , ya sea desde el reloj interno de A/D o desde T_{CY} . En ambos casos, los bits SAMC $\langle 4:0 \rangle$ establecen el número de relojes T_{AD} en T_{SAMP} . T_{CONV} se fija en $12T_{AD}$.

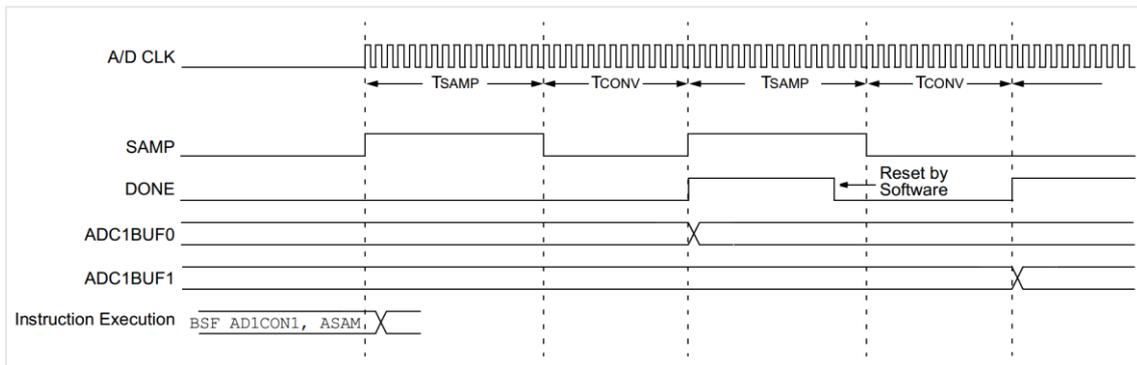


Fig. 75 Conversión de un canal, inicio de muestra automática, inicio de conversión basado en T_{AD}

1.7.5.8 Búfer de resultados A/D

A medida que se completan las conversiones, el módulo escribe los resultados de las conversiones en el búfer de resultados A/D. Este buffer es una matriz RAM de dieciséis palabras, a las que se accede a través del espacio SFR.

El software del usuario puede intentar leer cada resultado de conversión A/D a medida que se genera. Sin embargo, esto podría consumir demasiado tiempo de CPU. **Generalmente, para minimizar la sobrecarga del software, el módulo llenará el búfer con los resultados y luego generará una interrupción cuando se llene el búfer.**

1.7.5.9 Ejemplos de la secuencia de conversión

Los siguientes ejemplos de configuración muestran el funcionamiento A/D en diferentes configuraciones de muestreo y almacenamiento en búfer. En cada ejemplo, el ajuste del bit ASAM inicia el muestreo automático. Un desencadenador de conversión termina el muestreo y comienza la conversión.

Muestreo y conversión de un solo canal múltiples veces

La Figura 76 ilustra una configuración básica del A/D. En este caso, una entrada A/D, AN0, será muestreada y convertida. Los resultados se almacenan en el buffer ADC1BUF. Este proceso se repite 16 veces hasta que el búfer esté lleno y entonces el módulo genera una interrupción. Todo el proceso se repetirá nuevamente.

Con ALTS claro, sólo las entradas MUX A están activas. Los bits CH0SA y el bit CH0NA se especifican (AN0- V_{R-}) como las entradas al canal de muestreo/retención. Todos los demás bits de selección de entrada no se utilizan.

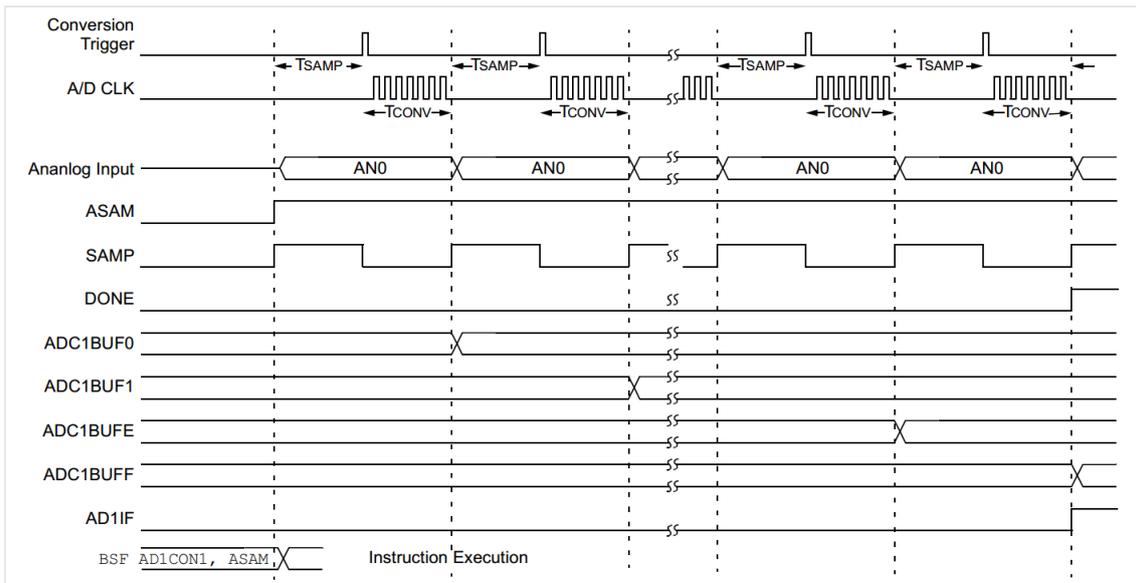


Fig. 76 Conversión de un canal 16 veces por interrupción

1.7.5.10 Requisitos de Muestreo A/D

El modelo de entrada analógica del Convertidor A/D de 10 bits se muestra en la Figura 77. El tiempo de muestreo total para el A/D es una función del tiempo de carga del condensador de retención.

Para que el convertidor A/D cumpla su precisión especificada, se debe permitir que el condensador de retención de carga (C_{HOLD}) se cargue completamente al nivel de voltaje en el pin de entrada analógica. La impedancia de la fuente (R_s), la impedancia de interconexión (R_{IC}) y la impedancia del interruptor de muestreo interno (R_{SS}) se combinan para afectar directamente al tiempo requerido para cargar C_{HOLD} . La impedancia combinada de las fuentes analógicas debe, por tanto, ser lo suficientemente pequeña para cargar completamente el condensador de retención dentro del tiempo de muestra elegido. Para minimizar los efectos de las corrientes de fuga de pines en la precisión del convertidor A/D, la impedancia máxima recomendada de la fuente, R_s , es 2,5 k Ω . Después de seleccionar el canal de entrada analógica (cambiado), esta función de muestreo debe completarse antes de iniciar la conversión. El condensador de retención interno estará en un estado descargado antes de cada operación de muestreo.

Se debe permitir al menos un período de T_{AD} entre conversiones para el tiempo de muestreo.

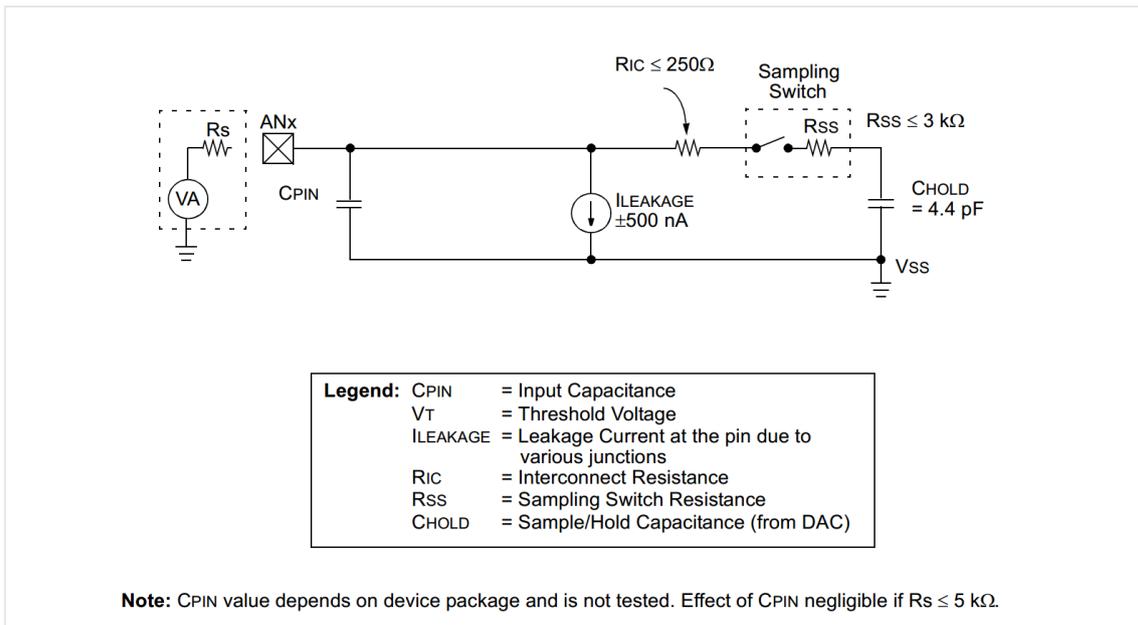


Fig. 77 Modelo de entrada analógica del Convertidor A/D de 10 bits

1.7.5.11 Función de Transferencia

La función de transferencia del Convertidor A/D se muestra en la Figura 78. La diferencia de las tensiones de entrada, $(V_{INH} - V_{INL})$, se compara con la referencia, $((V_{R+}) - (V_{R-}))$.

La primera transición de código ocurre cuando la tensión de entrada es $((V_{R+}) - (V_{R-})) / 1024$ o 1.0 LSB.

El código 00 00 000 0001 está centrado en $V_{R-} + (1,5 \cdot ((V_{R+}) - (V_{R-})) / 1024)$.

El código 10 0000 0000 está centrado en $V_{REFL} + (512,5 \cdot ((V_{R+}) - (V_{R-})) / 1024)$.

Un voltaje de entrada menor que $V_{R-} + (((V_{R-}) - (V_{R-})) / 1024)$ se convierte como 00 0000 0000.

Una tensión de entrada mayor que $(V_{R-}) + (1023 \cdot ((V_{R+}) - (V_{R-})) / 1024)$ se convierte como 11 1111 1111.

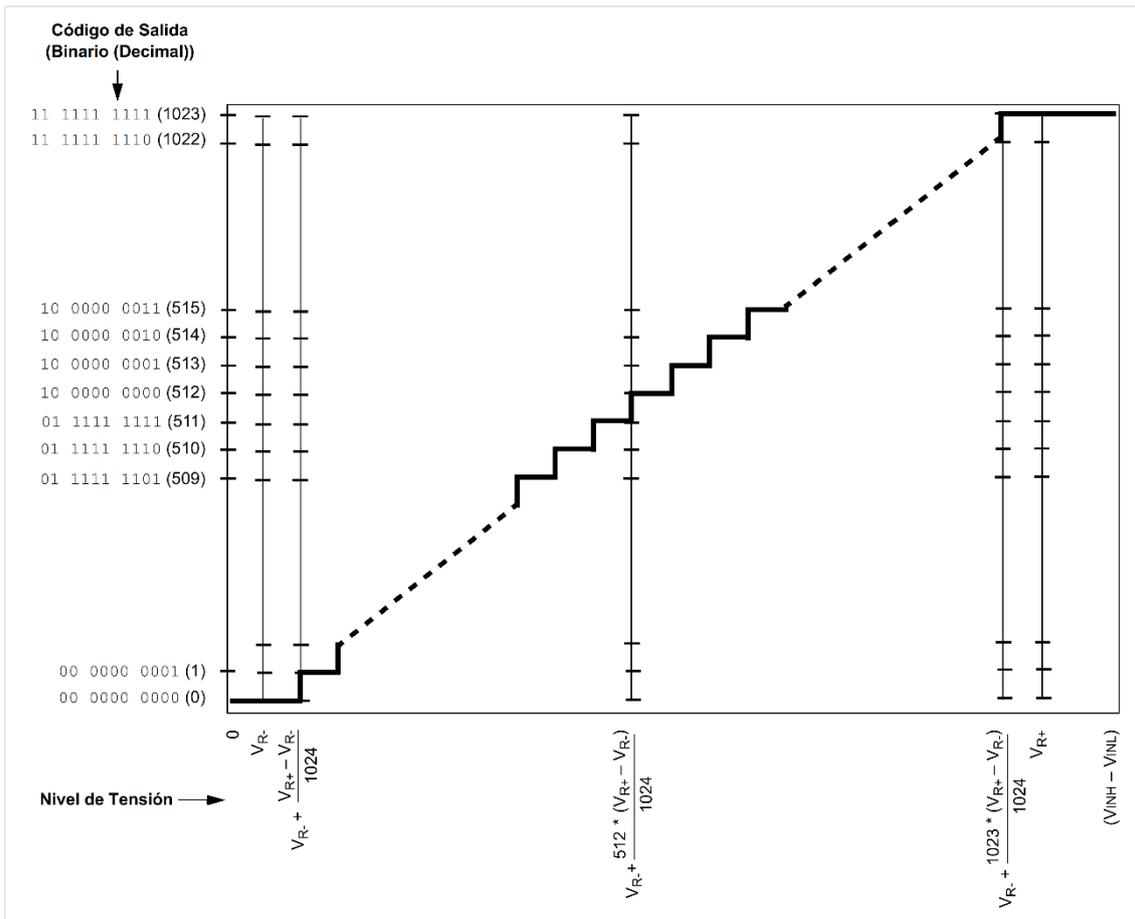


Fig. 78 Función de Transferencia A/D

1.7.5.12 Funcionamiento durante modo de Sueño e Inactivo

Los modos de sueño y de reposo son útiles para minimizar el ruido de conversión porque se minimiza la actividad digital de la CPU, los buses y otros periféricos.

Modo de reposo de la CPU sin reloj RC A/D

Cuando el dispositivo entra en el modo de reposo, todas las fuentes de reloj del módulo se cierran y permanecen en la lógica '0'.

Si el modo de suspensión se produce en medio de una conversión, la conversión se interrumpe a menos que el A/D se registre desde su generador de reloj RC interno. El convertidor no reanudará una conversión parcialmente completada al salir del modo de suspensión.

El contenido del registro no se ve afectado por el dispositivo que entra o sale del modo de reposo.

Modo de reposo de la CPU con reloj RC A/D

El módulo A/D puede funcionar durante el modo de suspensión si la fuente de reloj A/D está ajustada en el oscilador RC A/D interno ($ADRC = 1$). Esto elimina el ruido de conmutación digital de la conversión. Cuando se completa la conversión, se establecerá el bit DONE y se cargará el resultado en el búfer de resultados A/D, ADC1BUF.

Si la interrupción A/D está activada ($AD1IE = 1$), el dispositivo se activará desde el modo de suspensión cuando se produzca la interrupción A/D. La ejecución del programa se reanudará en la rutina de servicio de interrupción A/D si la interrupción A/D es mayor que la prioridad actual de la CPU. De lo contrario, la ejecución continuará desde la instrucción después de la instrucción PWRSAV que colocó el dispositivo en modo de suspensión.

Si la interrupción A/D no está habilitada, el módulo A/D se apagará, aunque el bit ADON permanecerá ajustado.

Para minimizar los efectos del ruido digital en la operación del módulo A/D, el usuario debe seleccionar una fuente de disparo de conversión que asegure que la conversión A/D ocurra en el modo Suspensión. La opción de disparo de conversión automática puede usarse para muestreo y conversión en Sleep ($SSRC \langle 2:0 \rangle = 111$). Para utilizar la opción de conversión automática, el bit ADON debe ajustarse en la instrucción anterior a la instrucción PWRSAV.

Nota: Para que el módulo A/D funcione en modo de reposo, la fuente de reloj A/D debe ajustarse a RC ($ADRC = 1$).

Funcionamiento A/D durante el modo inactivo de la CPU

El bit ADSIDL ($AD1CON1 \langle 13 \rangle$) determina si el módulo se detiene o continúa la operación en reposo. Si $ADSIDL = 0$, el módulo continuará con el funcionamiento normal cuando el dispositivo entre en modo inactivo. Si la interrupción A/D está activada ($AD1IE = 1$), el dispositivo se activará desde el modo inactivo cuando se produzca la interrupción A/D. La ejecución del programa se reanudará en la rutina de servicio de interrupción A/D si la interrupción A/D es mayor que la prioridad actual de la CPU. De lo contrario, la ejecución continuará desde la instrucción después de la instrucción PWRSAV que colocó el dispositivo en modo inactivo.

Si $ADSIDL = 1$, el módulo se detendrá en el modo Inactivo. Si el dispositivo entra en el modo inactivo en medio de una conversión, la conversión se interrumpe. El convertidor no reanudará una conversión parcialmente completada al salir del modo inactivo.

Registro Desactivación del Módulo Periférico (PMD)

Los registros de Deshabilitación de Módulos Periféricos (PMD) proporcionan un método para desactivar el módulo A/D deteniendo todas las fuentes de reloj suministradas a ese módulo. Cuando un periférico se desactiva mediante el bit de control PMD apropiado, el periférico se encuentra en un estado de consumo de energía mínimo. Los registros de control y de estado asociados con el periférico también se desactivarán, por lo que las escrituras en esos registros no tendrán efecto y los valores de lectura no serán válidos. El módulo ADC sólo se habilita cuando se borra el bit ADC1MD en el registro PMDx.

Nota: Deshabilitar el módulo A/D a través del registro PMD también deshabilita los registros AD1PCFG, lo que a su vez afecta el estado de cualquier pin de puerto con entradas analógicas. Los usuarios deben considerar el efecto en puertos de E/S y otros periféricos digitales en esos puertos cuando ADC1MD se utiliza para la conservación de energía.

Efectos de un Reset

Un dispositivo Reset obliga a todos los registros a su estado Reset. Esto obliga a que el módulo A/D se apague y que cualquier conversión en curso sea abortada. Todos los pines que se multiplexen con entradas analógicas se configuran como entradas analógicas. Se establecerán los bits TRIS correspondientes.

Los valores en los registros ADC1BUF no se inicializan durante un restablecimiento de encendido. Contendrán datos desconocidos.

Especificaciones eléctricas

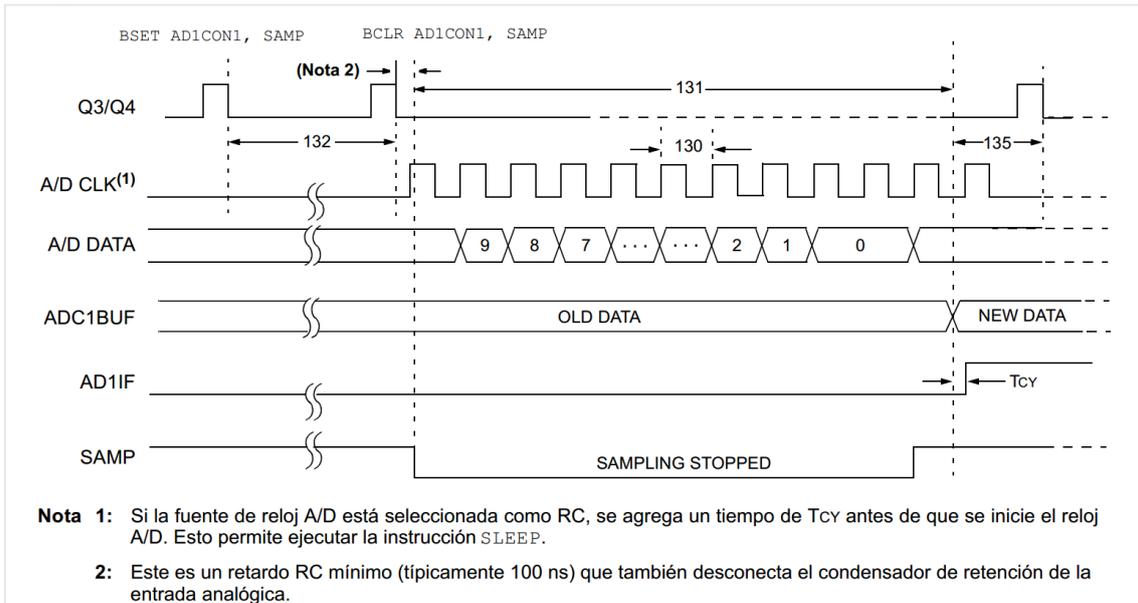


Fig. 79 Tiempo de conversión A/D

1.7.5.13 Efectos de la resistencia de la fuente de entrada

En la nota de aplicación “AN246 - Driving the Analog Inputs of a SAR A/D Converter”, el autor, Bonnie C. Baker, proporciona la siguiente información respecto a la resistencia de la fuente de entrada. La nota se refiere al módulo MCP3201, pero es aplicable a cualquier dispositivo ADC.

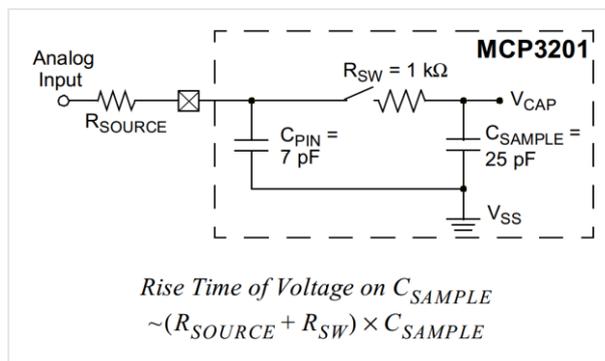


Fig. 80 El modelo de la etapa de entrada del ADC MCP320X puede reducirse a una resistencia de conmutación y condensador de muestra.

Un modelo detallado del mecanismo interno de muestreo de entrada de un ADC SAR se muestra en la Figura 80. La resistencia de conmutación interna se combina con la resistencia de fuente externa y el condensador de muestra para

formar un par R/C. Este par R/C requiere aproximadamente 9,5 constantes de tiempo para cambiar completamente a 12-bits.

Para el convertidor A/D de 12 bits MCP3201, se requieren 938ns para muestrear completamente la señal de entrada suponiendo $R_s \ll R_{SWITCH}$.

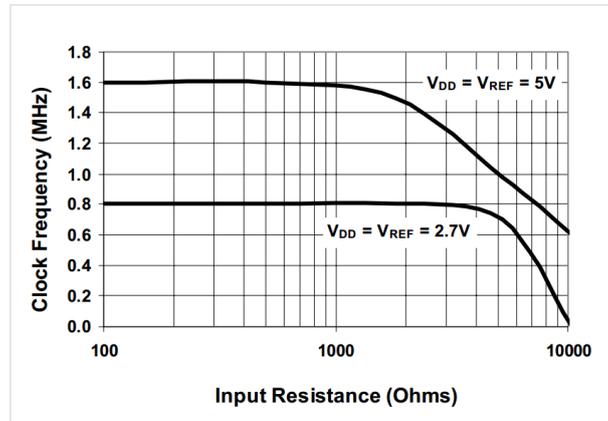


Fig. 81 Funcionamiento del MCP3201 con precisión en 0.1 LSb.

La precisión de un ADC SAR, como el MCP3201 de 12 bits, puede verse comprometida si el dispositivo no tiene suficiente tiempo para muestrear. En la gráfica de la Figura 81, el eje Y es la frecuencia de reloj en MHz y el eje X es la resistencia de entrada (fuente) en ohmios. El tiempo de muestreo del convertidor para estas frecuencias de reloj es igual a 1,5 relojes. Por ejemplo, una velocidad de reloj de 1,6 MHz se traduciría en un tiempo de muestreo de $(1,5 / 1,6 \text{ MHz})$ o 937,5ns.

Para mantener la resistencia de la fuente baja, se recomienda que el convertidor sea accionado por un elemento activo, tal como un amplificador operacional. En esta situación, la señal de entrada podría ser AC, DC o ambas. El amplificador operacional puede utilizarse para ganancia, filtrado, aislamiento de impedancia y su capacidad de accionamiento. Cuando se acciona la entrada de un ADC con un amplificador operacional, ya sea una celda de ganancia, una celda de filtro o ambas, el amplificador puede añadir ruido, errores de ganancia y distorsión a la señal anterior al ADC. La investigación de estas cuestiones en relación con el proceso de conversión sigue.

La Figura 81 ilustra cómo la resistencia de entrada al ADC puede causar errores de conversión. Hay dos soluciones obvias al problema. Uno sería reducir la resistencia de la fuente, mientras que el segundo sería aumentar el tiempo de muestreo.

CAPÍTULO 2. CÁLCULOS

2.1 Motor asíncrono

2.1.1 Par resistente

En el caso que se está estudiando, hablar de la carga del motor es lo mismo que hablar del peso de la persiana. Aunque también existen las fuerzas de rozamiento entre la persiana y la guía fija, son de menor magnitud.

En el mercado actual, existen diferentes tipos de materiales en uso para la fabricación de las persianas y se disputan el liderazgo entre el aluminio y el PVC cada uno con sus pros y contras. En las webs de los fabricantes se puede encontrar el peso por unidad de superficie en función del material empleado para las lamas. En la tabla podemos observar que, por cada metro cuadrado, el motor ha de mover entre 3 y 15kg/m² según el material de fabricación y sus características mecánicas. A la masa hay que sumar la fuerza de fricción viscosa producida entre la parte móvil y la guía estática por donde se desliza.

Tabla 6. Índice de peso para según material de lamas

Material	IP [kg/m ²]
Aluminio de alta densidad con espuma poliuretano	3 - 6
PVC	4 - 8
Aluminio para persianas	5 - 8
Aluminio extruido con poliuretano	7 - 9
Aluminio extruido	8 - 10
Acero	8 - 12
Madera	10 - 11
Acero con espuma de poliuretano	10 - 12
Acero blindado	15 - 18

Realmente la estimación de la carga del motor es uno de los puntos conflictivos porque durante la vida útil de la ventana el rozamiento cambia en función del tiempo debido al desgaste sufrido, cambios de temperatura y/o suciedad acumulada en la ranura de contacto. Para ser capaces de superar este obstáculo y mejorar el mantenimiento de la instalación, se prevé un “**ciclo de aprendizaje**” para el controlador que sea fácil de configurar y ajustar a lo largo del tiempo. Si durante la vida útil se observan anomalías en el funcionamiento se vuelve a aprender el recorrido con los nuevos esfuerzos para que el sistema siga funcionando.

2.1.2 Necesidades básicas

El motor de inducción se alimenta de la red eléctrica y para ponerlo en funcionamiento solamente es precisa una toma de corriente alterna a 230V por cada devanado. Es decir, para el giro en un sentido se alimenta un devanado, y para invertirlo, se deja de alimentar el primero y se alimenta el otro.

Para frenar el movimiento, aunque hay diferentes métodos para hacerlo, en este caso es suficiente con cortar la alimentación del motor. El par resistente de la reductora detiene el movimiento de giro caso al instante.

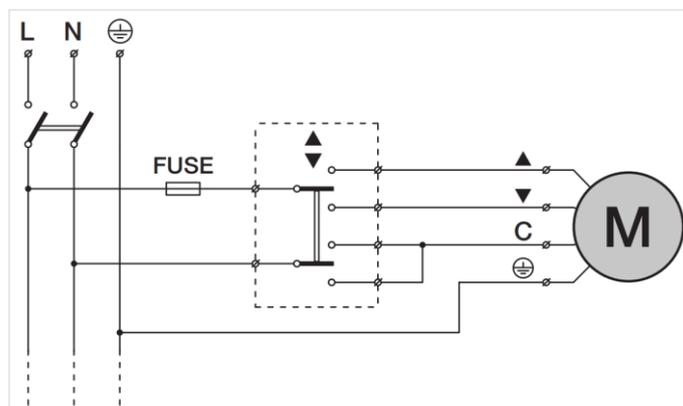


Fig. 82 Necesidades de conexión del motor con cambio de giro

Tabla 7 Necesidades de conexión del motor inversión de giro

Descripción	Señal conectada	Color de hilo
Devanado A	~230V _{AC}	Negro
Devanado B	~230V _{AC}	Marrón
Neutro	N	Azul
Tierra	⊕	Verde/Amarillo

2.1.3 Cálculo carga mecánica

2.1.3.1 Materiales de las persianas

Los materiales que predominan en el sector de las persianas para ventanas son el PVC y el aluminio quedando la madera reducida a una modesta presencia. El dato relevante es el peso por metro cuadrado. Aunque en menor medida, también influye el coeficiente de fricción viscosa que dependerá del material.

Indistintamente del tipo de lámina empleado, la carga mecánica del motor tiene forma de parábola como se puede comprobar en el Gráfico 3 del ejemplo numérico. Los dos extremos laterales toman un valor nulo y coinciden con las situaciones de persiana totalmente cerrada y abierta, el pico es el instante de mayor esfuerzo y se da cuando la persiana está bajada casi por completo y no a media altura, de ahí que la curva no tenga simetría.

La evolución de la carga es función de dos variables: el radio de giro y la carga suspendida, de tal modo que el radio aumenta a la vez que la carga suspendida disminuye. El ejemplo numérico muestra un caso concreto que se puede extrapolar a un aspecto genérico.

2.1.3.2 Evolución de la carga

Imagine el movimiento de recogida de una persiana desde que está bajada hasta estar completamente recogida. El largo de persiana suspendida es la carga que tiene que mover el motor y varía mientras el motor esté en movimiento con lo cual el par resistente que ofrece al giro tiene un comportamiento dinámico.

Cuando empieza a girar, el motor apenas encuentra resistencia ya que las lamas están reposando una encima de otra. Pocos instantes después, cuando la persiana está suspendida completamente del eje, la carga ha aumentado drásticamente y a partir de ese momento disminuye continuamente hasta que llega al punto más alto cuando idealmente la carga es nula.

Por otro lado, la persiana recogida se va enrollando alrededor del eje que está girando el motor, con lo cual el radio de apoyo del resto de la persiana colgada aumenta a la vez que disminuye el peso suspendido.

La corriente consumida por el motor es proporcional al par resistente que ha de vencer, y el par se calcula como producto de la carga por la distancia de apoyo desde el centro de giro. Desde el punto bajo hasta arriba, el radio de apoyo va aumentando, mientras el peso suspendido va disminuyendo. Mentalmente se puede intuir que si el par inicial y final son prácticamente nulos (o muy bajos) y en los puntos intermedios son de valor no nulo y presentan en algún punto un máximo, lo más probable es que describa una campana de Gauss con mayor o menor simetría o una parábola. Para dar una justificación numérica a la argumentación anterior, se presenta el siguiente ejemplo.

2.1.3.3 Ejemplo numérico

Se analizan los valores de peso suspendido y el par motor.

Supongamos una ventana típica, con dimensiones $1300 \times 1100 \text{ mm}$. La lama que conforma la persiana es de PVC que según la Tabla 6, pesa, digamos 4.1 kg/m^2 , por ejemplo. Con la sencilla cuenta (3) se halla que el peso máximo que tendrá que mover el motor será de 6.66 kg teniendo en cuenta que la persiana, siempre es 15 cm más larga que la propia altura de la ventana que son el segmento de continuidad hasta el eje, y aunque no sea visible, sí que influye en los cálculos.

$$1.3 \text{ m} \times (1.1 + 0.15) \text{ m} \times 4.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 6.66 \text{ kg} \quad (3)$$

Supongamos que el tubo de alojamiento del motor es de 40 mm de diámetro, el valor más común encontrado en los catálogos. En la primera vuelta el motor va a recoger πD del largo de la persiana, es decir 126 mm . En la segunda vuelta el radio aumenta con 2 veces el espesor de la lama que suponemos es de 10 mm , con lo cual recoge 189 mm . En la tercera, cuarta y quinta vuelta recoge 251 , 314 y 377 mm respectivamente como queda reflejado en los cálculos de la Tabla 8.

Tabla 8. Evolución de la carga por vuelta

Vuelta	Longitud reducida por vuelta	Masa suspendida por vuelta
	$L_i = \pi D \text{ [m]}$	$m = a \times A \times IP \text{ [kg]}$
1	$L_1 = \pi \times 0.04 = 0.1256 \text{ m}$	$1.3 \times 1.25 \times 4.1 = 6.6625$
2	$L_2 = \pi \times 0.06 = 0.1884 \text{ m}$	$1.3 \times 1.1244 \times 4.1 = 5.993052$
3	$L_3 = \pi \times 0.08 = 0.2512 \text{ m}$	$1.3 \times 0.9360 \times 4.1 = 4.988880$
4	$L_4 = \pi \times 0.10 = 0.3140 \text{ m}$	$1.3 \times 0.6848 \times 4.1 = 3.649984$
5	$L_5 = \pi \times 0.12 = 0.3768 \text{ m}$	$1.3 \times 0.3708 \times 4.1 = 1.976364$

La interpretación visual de estos datos se puede ver en las Figuras 83 y 84.

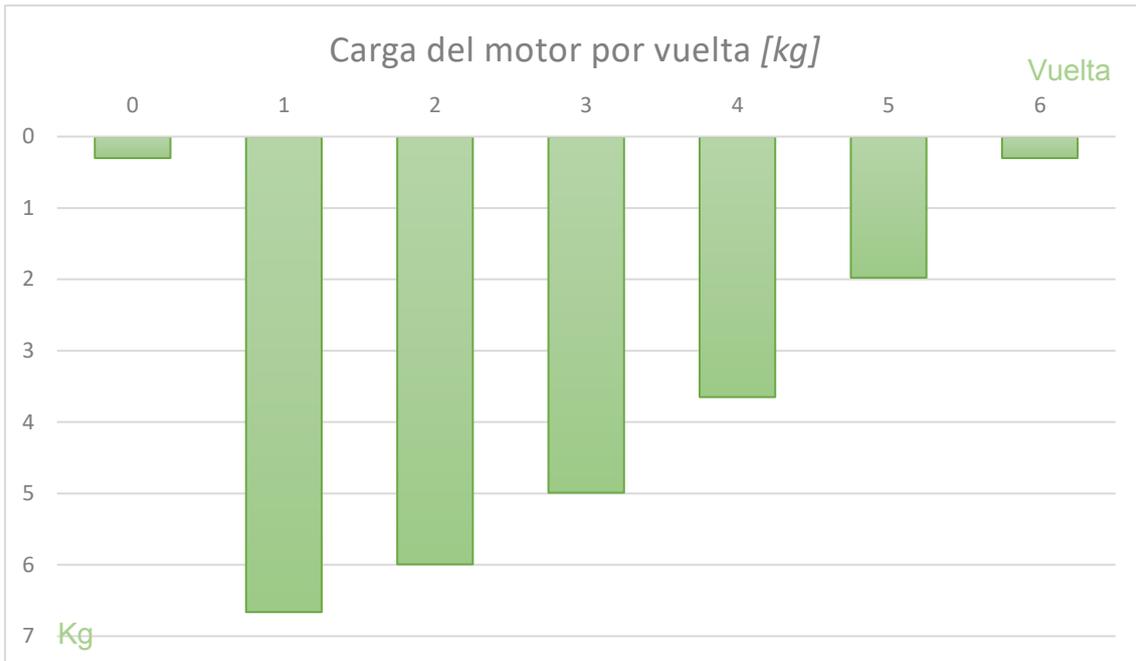


Fig. 83 Evolución de la carga suspendida por vuelta completa del motor

Realmente, las representaciones de las Figuras 83 y 84 son idénticas dado que la masa suspendida es directamente proporcional a la longitud de persiana suspendida.

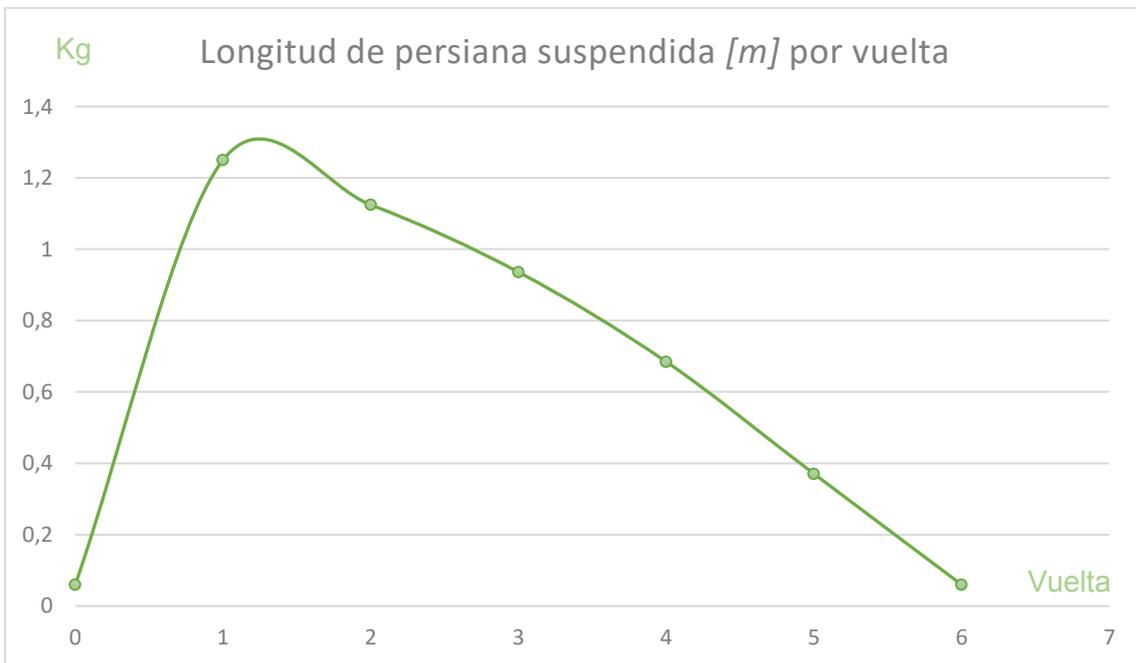


Fig. 84 Evolución de la longitud de persiana suspendida por vuelta

Se observa que en cada vuelta se recoge mayor longitud que en la anterior debido al aumento del radio y como consecuencia, aumenta el perímetro de apoyo de la siguiente vuelta. Eso tiene influencia en la carga dinámica del motor dado que, manteniendo la velocidad angular constante, la velocidad de la persiana aumenta y la fricción viscosa varía en consecuencia.

2.1.3.4 Par motor

El par motor o torque, por definición, es la fuerza por la distancia de aplicación medido en Nm . En la Tabla 9 se muestran los cálculos para la curva a lo largo del tiempo.

Tabla 9. Nomenclatura para los cálculos

Símbolo	Nombre	Unidades
M	Par	$[N \cdot m]$
F	Fuerza	$[N]$
r	Radio	$[m]$
g	Gravedad	$[m/s^2]$
m	Masa	$[kg]$

Para hallar la fuerza debida a la gravedad, se toma el valor de la masa obtenido en la Tabla 8. El aumento del radio se produce en el momento de solape de dos capas alrededor del eje, que consideraremos se da al completar la vuelta.

$$M = F \times r \tag{4}$$

$$F = m \cdot g = m \cdot 9.81 \tag{5}$$

Tabla 10. Evolución del par motor.

Vuelta	Radio [m]	Fuerza [N]	Par [N · m]
0			0
1	0.04	65.359	2.614
2	0.06	58.792	3.527
3	0.08	48.941	3.915
4	0.10	35.806	3.581
5	0.12	19.388	2.327

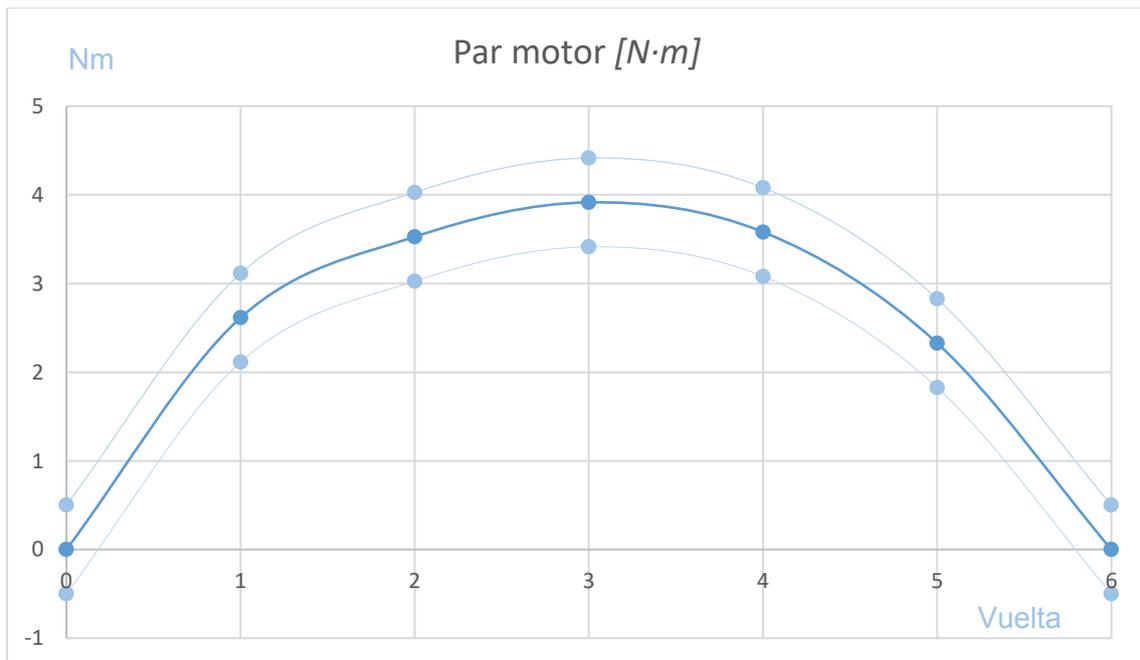


Fig. 85 Evolución del par resistente debido a la carga suspendida

Se observa que el par tiene forma de parábola casi simétrica interpretando, a grandes rasgos, que el par máximo se da a media altura de la persiana y que las pendientes de los dos laterales son similares y de sentidos opuestos, en otras palabras, presenta cierta simetría.

En este instante, ya se puede intuir que la corriente consumida por el motor tendrá una forma similar debido a que es directamente proporcional al par resistente. Si el par presenta una evolución con forma de parábola, la corriente consumida debe tener el mismo aspecto, pero de amplitud diferente.

La estrategia de control consiste en realizar un ciclo inicial de aprendizaje y memorizar esa curva de lecturas. Después, se toma un rango de histéresis alrededor de la curva real. Si el valor leído en el funcionamiento normal está fuera del rango permitido, actúa en consecuencia cortando la alimentación al motor.

2.1.4 Lectura inicial de corriente

En el momento de planteamiento de la idea de este proyecto, existen serias incertidumbres en cuanto a la posibilidad de realización técnica dado que no se puede saber a priori el comportamiento de la curva de consumo del motor. Si la corriente consumida no tiene una variación suficiente para que se pueda discriminar un funcionamiento “correcto” de casos “anómalos”, la investigación puede llegar a un punto desde el cual no se pueda seguir. Con el fin de disipar las dudas, se procede a hacer pruebas que indiquen con claridad este hecho.

La idea es alimentar el motor directamente a la red midiendo la corriente absorbida. Una vez en marcha y después de tomar nota de la corriente consumida en vacío, se aplica una carga al motor y se comprueba que haya un cambio esperado en el consumo. De esta manera se podrá ver la variación de la intensidad según el estado de carga del motor y apreciar si el comportamiento es el deseado.

Se dispone del siguiente material para la prueba: motor para el ensayo de la marca Nice® con una potencia de $170W$; toma de corriente a $230Vac$; polímetro; cables de conexión y cinta aislante. Ver placa de características del motor en la Figura 23.

2.1.4.1 Medida directa

¡ATENCIÓN! Se advierte que, para medir corriente, el amperímetro se debe conectar en serie. Se realiza la conexión de la siguiente manera: uno de los terminales del polímetro va al enchufe, el otro se conecta a uno de los bobinados del motor y el neutro vuelve al enchufe. El cable del motor dispone también del hilo de tierra y el segundo bobinado (para el giro en el sentido contrario). Para la prueba, los dos hilos sobrantes se aíslan para evitar descargas y se procede a tomar la medida cerrando el circuito para leer los datos en la pantalla del polímetro.

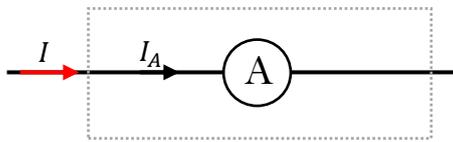


Fig. 86 Circuito para la medida directa de corriente

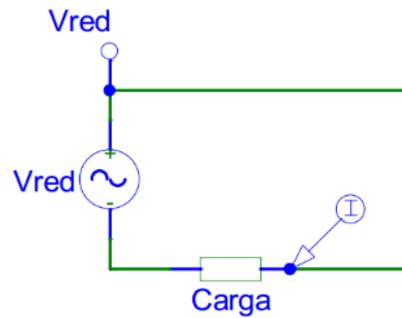


Fig. 87 Medida directa de intensidad

Después del cierre del circuito, se observa una lectura de $0.9A$ en el instante inicial e inmediatamente después se muestra el valor nulo en la pantalla del amperímetro. Resulta que el aparato de medición no es capaz de soportar en el canal habitual la corriente consumida por el motor y se ha fundido el fusible de $200mA$ como medida de protección. El pico inicial observado ha superado la potencia del elemento de seguridad por lo cual se debe cambiar el cable de medida en la posición de medida de corriente, concretamente para medidas de hasta $10A$. Con la lección aprendida, se pasa a tomar la segunda medida después de la sustitución del fusible.

En esta ocasión, se repite el mismo procedimiento y la lectura obtenida se muestra estable desde el primer instante alrededor de $0.78-0.8A$, en función de la carga aplicada. Como carga, en este caso se ofrece resistencia al giro intentando frenar el eje con la mano directamente.

2.1.5 Conclusión inicial

Con el breve ensayo del comportamiento del motor en diferentes situaciones de carga, se ha comprobado que la respuesta en vacío a las condiciones de carga cumple satisfactoriamente con las necesidades de variación del nivel de corriente consumida de una situación a otra. Aparte, la carga aplicada en el eje del motor ha sido muy pequeña en comparación con su potencia máxima, lo que asegura la viabilidad del proyecto.

Para el rango de lecturas previstas, se va a emplear en la conexión SERIE, para obtener la mejor calidad de lectura. Uniendo los pines 2 y 6 y los pines 3 y 5 a su vez quedando unidas las bobinas una detrás de la otra.

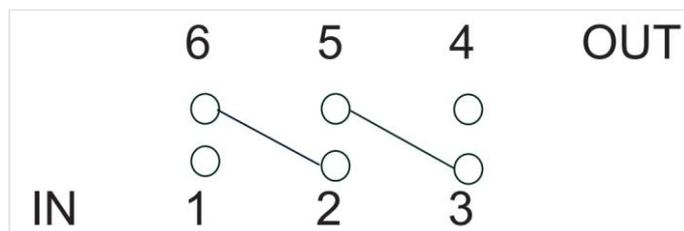


Fig. 89 Configuración serie del transductor de corriente LEM® LTS 6-NP

2.2.2 Necesidades básicas

Para el funcionamiento del sensor de corriente, se debe realizar la unión de los tres transductores internos según la corriente que se mide (serie/paralelo/mixto) que corresponde con las patillas laterales enfrentadas tres a tres y alimentar el módulo a 5V_{DC} de corriente continua. La patilla sobrante es la que proporciona una tensión variable según la entrada.

Datos Eléctricos

I_{PN}	Corriente eficaz nominal primaria	6	At
I_{PM}	Rango de medición de corriente primaria	0 .. ± 19.2	At
I_P	Capacidad de sobrecarga	250	At
V_{out}	Tensión de salida (Analógica) @ I_P	$2.5 \pm (0.625 \cdot I_P / I_{PN})$ V	
	$I_P = 0$	2.5 ¹⁾	V
G	Sensibilidad	104.16	mV/A
N_S	Número de espiras del secundario (± 0.1 %)	2000	
R_L	Resistencia de carga	≥ 2	kΩ
R_{IM}	Medición de la resistencia interna (± 0.5 %)	208.33	Ω
TCR_{IM}	Coefficiente de temperatura de R_{IM}	< 50	ppm/K
U_C	Tensión de alimentación (± 5 %)	5	V
I_C	Consumo de corriente @ $U_C = 5$ V	Typ	$28 + I_S^2 + (V_{out} / R_L)$ mA

Fig. 90 Datos eléctricos del transductor de corriente LTS 6-NP

En la Tabla 11 se presenta el resumen para las patillas de conexionado del módulo de medición de corriente.

Tabla 11 Necesidades de conexión del transductor de corriente

Patillas	Señal conectada
1	5V _{DC}
2	GND
3	V _{IN}

2.3 Divisor de Tensión

El divisor de tensión es un sencillo circuito que reparte la tensión entre diferentes impedancias. En este caso se construye un divisor resistivo para adaptar el nivel de la salida del transductor al aceptado por el micro.

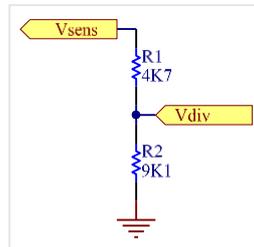


Fig. 91 Divisor de Tensión

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

En este caso hay que determinar el valor de las resistencias para evitar distorsión por encima de los 3.3V. Despejamos la resistencia equivalente.

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = R_{EQ} \quad (7)$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = R_{EQ} = \frac{3.3}{5} = 0.66 \quad (8)$$

Casualmente, los valores normalizados R15=4k7 y R16=9k1 satisfacen la relación deseada entre tensión de entrada y salida.

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \cdot \frac{9100}{4700 + 9100} = 3.29V \quad (9)$$

Con esto la salida no va superar el límite de tensión de entrada en el pin del micro.

2.4 Filtro activo para la señal de corriente

Los filtros son la herramienta necesaria para mantener en las condiciones óptimas la señal que se desea tratar, sin ruido procedente de cables cercanos o cualquier interferencia que se pueda captar.

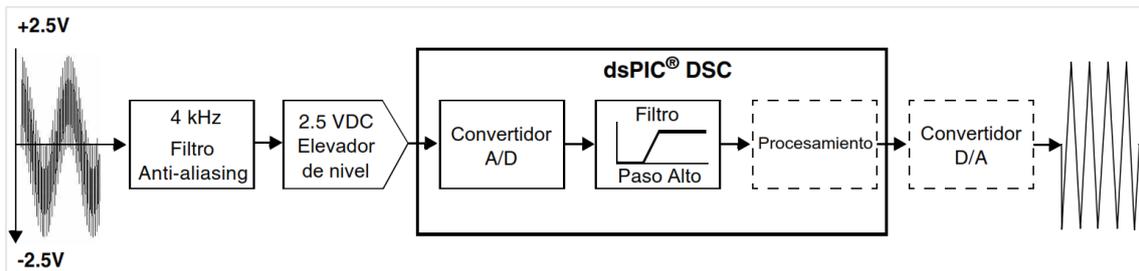


Fig. 92 Filtro pasabajo

Se debe controlar la señal de lectura de la corriente que pasa por el motor porque es vital para las etapas posteriores que no presente anomalías que provoquen tomar decisiones equivocadas debido a una señal en mal estado.

En segundo lugar, la salida del transductor de corriente que se está usando, el LTS-6-NP de la marca LEM®, convierte la variación de la corriente por el motor en una débil variación de tensión en la salida con lo cual es preciso ampliarlo.

Por los motivos descritos, se debe emplear un filtro activo que consiga eliminar señales superpuestas no deseadas y además tener una ganancia que permita una interpretación fiable de los resultados de lectura.

Aunque se desconoce el aspecto de la señal, se sabe que es una onda senoidal que tiene la misma frecuencia de la red de suministro, es decir 50Hz para la zona europea. La amplitud dependerá del esfuerzo que deba vencer el motor, a mayor par resistente, mayor amplitud. Pero ese valor también está limitado por las características del sensor de efecto Hall, que en sus características podemos ver que tiene una variación de $2.5 \pm 0.625 \cdot (I_P / I_{PN})$ voltios. Entonces, se parte de un valor constante de 2.5V para oscilar a razón de 0.625/6V por amperio en el primario por encima y por debajo. Para un valor nulo de la corriente, la salida será de 2.5V con una tolerancia de 0.25V a 20°C. Ciertamente es que el fabricante informa que el sensor tiene una capacidad de sobrecarga de hasta $250A_P$, pero la medición recomendada es 0 a $\pm 19A_P$. Se obtiene el rango máximo de variación de la lectura de $(0.52 - 4.48)V_P$, información que corrobora la

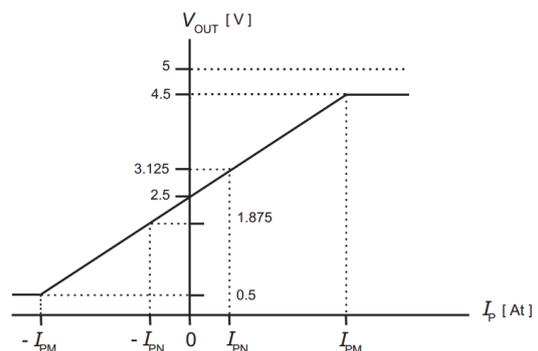


Fig. 93 Variación de la tensión de salida en función de la corriente

Figura 93. El rango nominal queda de $(0.185 - 3.125)V_P$ que es lo que vamos a interpretar en el funcionamiento normal. En el arranque, los motores de inducción presentan un pico de consumo por lo cual se deberá tratar especialmente.

2.4.1 Filtro pasabajo con $f_c = 50\text{Hz}$

El filtro de paso bajo, como su propio nombre indica, atenúa las ondas de la señal de entrada con una frecuencia por encima a la frecuencia de corte que se diseña y deja pasar las ondas de baja frecuencia como se ha visto en la asignatura MHDE¹⁷. El esquema electrónico que se muestra en la Figura 94 incluye las resistencias de ganancia (R_A y R_F), el filtro pasivo (R y C) y el amplificador operacional (A.O.) del filtro paso bajo de primer orden. En los filtros activos, se consigue aislar el filtro de la resistencia de carga y se puede ampliar la señal.

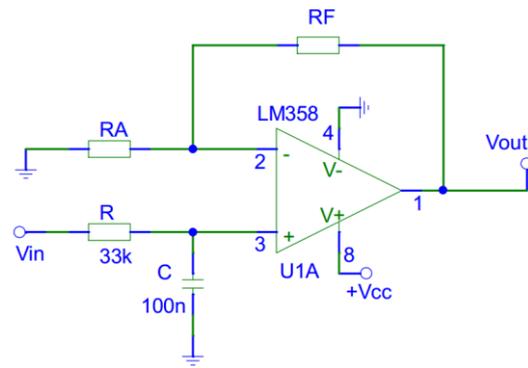


Fig. 94 Filtro activo pasabajo de primer orden

En este caso, el codo la curva de ganancia, es decir, la frecuencia de corte, se establece en 50Hz ya que es la única señal interesada.

2.4.1.1 Cálculo del filtro

Para el diseño de la etapa de filtrado es ineludible calcular los valores de los elementos pasivos que se van a emplear en el montaje real. La resistencia y el condensador del filtro son dependientes uno del otro y se calculan conocido el valor de la frecuencia de corte. Despejando RC de la ecuación (6), se establece el condensador de 100nF y después se resuelve la resistencia de 32.8k según la ecuación (9). Para la implementación en la PCB¹⁸ se usará el valor normalizado más próximo que es de 33k.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 50\text{Hz} \quad (10)$$

$$RC = \frac{1}{2\pi \cdot 50} = \frac{1}{100\pi} \quad (11)$$

$$C = 100\text{nF} \quad (12)$$

$$R = \frac{1}{100\pi \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 32831\Omega \approx 33\text{k}\Omega \quad (13)$$

2.4.2 Filtro pasabajo con $f_c = 3\text{kHz}$

El segundo filtro se implementa para atenuar ruido de la subbanda de 3kHz generada por la frecuencia de comunicación de los servicios de suministro eléctrico.

Se pretende prevenir la posibilidad de tener influencia en la lectura debido a banda de comunicación. Esta etapa se coloca en serie con la anterior y se proyecta como una mejora, no siendo obligatorio incluirla. El coste es mínimo ya

¹⁷ Métodos y Herramientas de Diseño Electrónico – asignatura del 6º cuatrimestre de EIA

¹⁸ Printed Circuit Board – Placa de Circuito Impreso

que, por un lado, aprovecho el segundo AO del encapsulado, y por otro, solo se añaden tres resistencias y un condensador.

Se repiten los cálculos del filtro anterior porque sigue siendo un filtro pasabajo, lo único que cambian son los valores de las resistencias porque el condensador se mantiene el mismo.

En este caso, la frecuencia de corte se establece en 3kHz.

2.4.2.1 Cálculo del filtro

Para el diseño de la etapa de filtrado es ineludible calcular los valores de los elementos pasivos que se van a emplear en el montaje real. La resistencia y el condensador del filtro son dependientes uno del otro y se calculan conocido el valor de la frecuencia de corte. Despejando RC de la ecuación (9), se establece el condensador de 100nF y después se resuelve la resistencia según la ecuación (13).

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 3000\text{Hz} \quad (14)$$

$$RC = \frac{1}{2\pi \cdot 3000} = \frac{1}{6000\pi} \quad (15)$$

$$C = 100\text{nF} \quad (16)$$

$$R = \frac{1}{6000\pi \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 530.52\Omega \quad (17)$$

Para la implementación en la PCB se usará el valor normalizado más próximo pudiendo ser por arriba o por abajo, 560Ω o 510Ω.

2.5 Detección de paso por cero

La detección del momento cuando la onda pasa por el nivel nulo es muy importante, y eso ocurre 100 veces por segundo a frecuencia de 50Hz.

Instalar un circuito capaz de detectar esta circunstancia, mejora sustancialmente la calidad de la instalación, pues la interpretación del momento de paso por cero es cuando empieza el contador hasta el momento de muestrear la intensidad consumida por el motor.

La estrategia de muestreo es que el canal ADC esté funcionando en modo automático (*Autosample*), pero se toman los datos del buffer solo en la parte alta de la onda senoidal, es decir, un cuarto de periodo después del valor nulo. Otro detalle digno de mencionar, es que debido al umbral de tensión de los diodos del optotransistor ZCD, el pulso de paso por cero se inicia antes del evento y se termina después. Se ha de tener en cuenta este hecho a la hora de medir los tiempos de lectura del buffer de datos para evitar la toma de datos distorsionados. Cabe la posibilidad de iniciar el contador con el flanco positivo (que es lo más normal), o el negativo. Cualquier estrategia es válida, siempre que se tenga en cuenta.

Para el proyecto actual, se cuenta el tiempo con el flanco positivo, descartando las lecturas del hemicycle negativo.

2.6 El microcontrolador

2.6.1 PIC24FJ256DA210

Después de tomar una de las decisiones más difíciles, empieza el arduo trabajo de análisis de necesidades y configuración. Por una parte, se configura el hardware, pensando en alimentaciones, condensadores de desacoplo, limitaciones de corriente, apantallamiento de señales, etc. Por otra parte, se prepara el software, creando librerías, funciones y procedimientos de cálculos.

La información necesaria se encuentra libremente en la página del proveedor, siendo el archivo de cabecera el *datasheet*¹⁹ del propio micro disponible en los anexos o directamente en el [enlace](#).

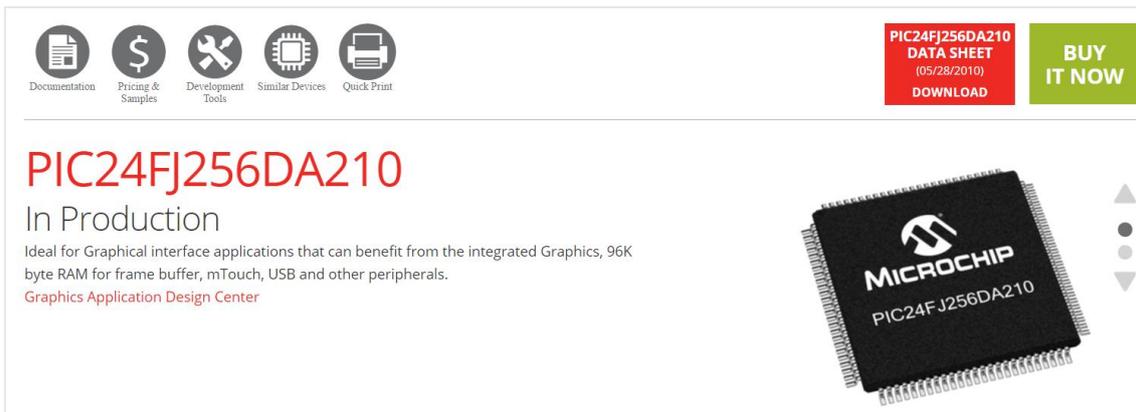


Fig. 95 Página web del micro seleccionado, PIC24FJ256DA210

Se describe a continuación el contenido de mayor relevancia tenido en cuenta para el desarrollo de esta tarea haciendo referencia a las secciones del propio manual de usuario del micro.

2.6.2 Necesidades básicas

En el manual del microcontrolador escogido se describen las necesidades mínimas de conexión para el funcionamiento. En la Figura 96 se observa la presencia de los condensadores de desacoplo entre las patillas de alimentación y neutro acompañada de los valores recomendados para resistencias y condensadores.

Se debe prestar atención al rutado de los condensadores de desacoplamiento, se recomiendan pistas inferiores de 6mm de longitud y colocar los componentes en la misma cara de la PCB que el micro si fuera posible.

Para mejorar el comportamiento ante la posibilidad de captar ruido por la fuente conmutada empleada, se añaden otros dos condensadores por cada punto de alimentación del micro. Los valores escogidos son 10 y 100 veces menores de la capacidad recomendada para los elementos C₁-C₆, formando un filtro una y dos décadas más abajo, suavizando el rizado de la tensión con un mínimo cambio en el diseño.

¹⁹ Término inglés que significa «hoja de datos» / «ficha técnica».

Valores recomendados:

- C₁-C₆: 0.1μF, 20V, cerámicos
- C₇: 10μF, ≥6.3V tántalo o cerámicos.
- R₁: 10kΩ
- R₂: 100-470Ω

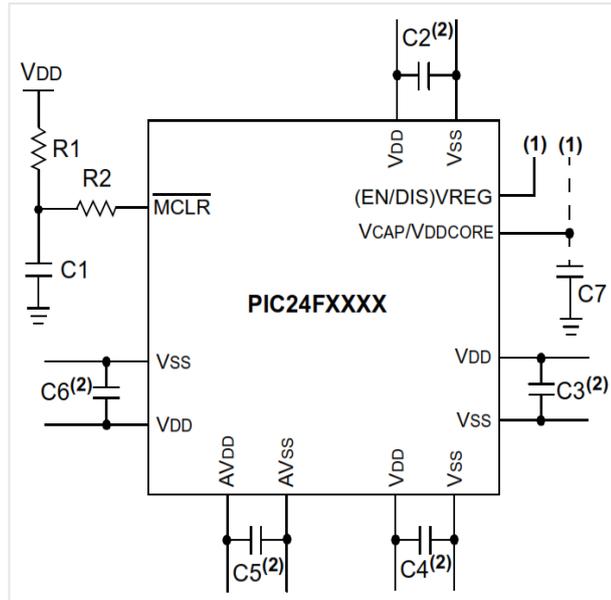


Fig. 96 Necesidades de alimentación del micro

La recomendación para el circuito del Master Clear se ve en la Figura 97 y los valores recomendados son $R_1 \leq 10k$ y $R_2 \leq 470R$.

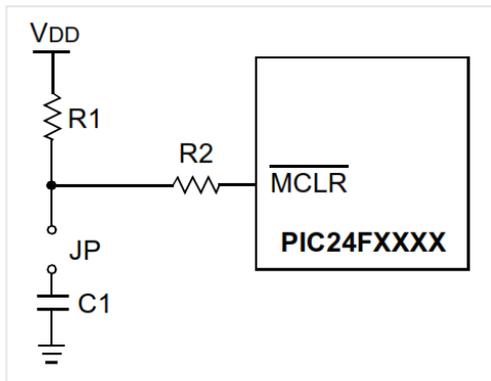


Fig. 97 Configuración hardware del pin Master Clear (MCLR)

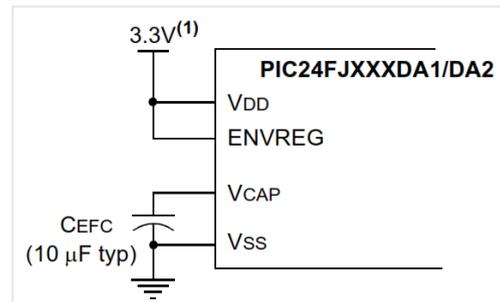


Fig. 98 Regulador interno de tensión habilitado

Internamente, el micro funciona a un nivel de tensión de 1.8V, inferior a los 3.3V de alimentación, por ello dispone de un regulador de tensión interno que se puede habilitar o no según la alimentación externa. En la sección 27.2 del manual se detalla la funcionalidad de los pines ENVREG (Habilitación del Regulador de Tensión) y VCAP como se ve en la Figura 98. Se debe habilitar porque se usa alimentación externa de 3.3V.

Los pines PGECx y PGEDx sirven para la programación serie en circuito y para fines de depuración. En los procesos de fabricación de volúmenes muy altos el programa está preinstalado en el/los micro/s y se evita el conector de depuración con el fin de proteger la configuración interna del copiado ilegal de la información. En la PCB se coloca el conector de programación/depuración con la circuitería necesaria.

Para la disposición del oscilador, el fabricante nos da unas recomendaciones importantes para asegurar un buen funcionamiento y evitar ruido en la frecuencia de reloj. En caso de diseñar placa a una sola cara (típico para prototipos) el cristal

se coloca muy cerca de las patillas OSCI y OSCO y acompañado de los condensadores cerámicos del orden de 22-27pF según Figura 100, con pistas muy cortas, menos de 12mm entre pin y componentes. Si es posible, se recomienda rodear los pines del oscilador con un plano de masa propio. Cuando no hay espacio entre los pines, se debe usar la capa inferior para conectar la isla de cobre con el plano alrededor del oscilador. No dejar islas de cobre sin conectar a masa cerca del cristal.

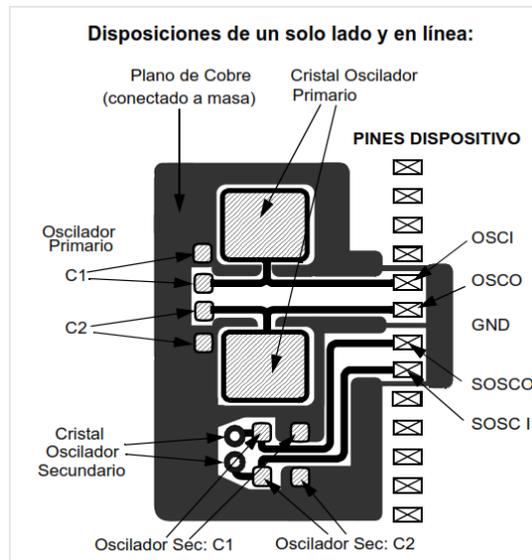


Fig. 99 Recomendación hardware del oscilador, PCB de una capa

Para placas a doble cara se recomienda la misma estrategia con los planos de masa Top y Bottom conectados entre sí.

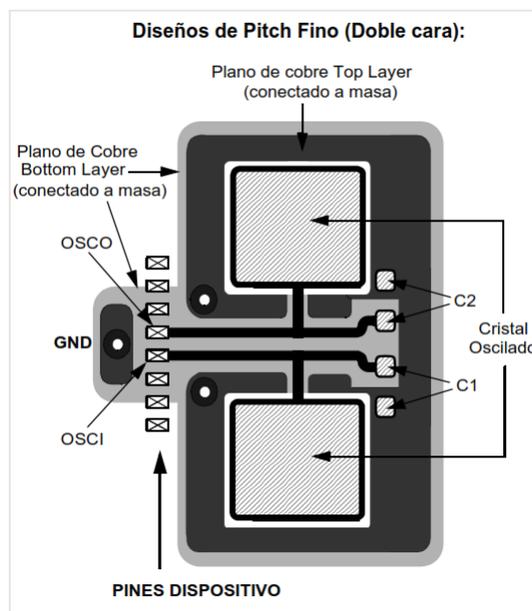


Fig. 100 Recomendación hardware oscilador, PCB doble capa

2.6.3 Estimación del gasto energético máximo.

El microcontrolador, ejecutando las instrucciones a su máxima capacidad, podría gastar hasta 250mA como nos indica el fabricante en el manual.

Absolute Maximum Ratings ^(†)	
Ambient temperature under bias.....	-40°C to +100°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on VDD with respect to VSS	-0.3V to +4.0V
Voltage on any combined analog and digital pin and MCLR, with respect to VSS	-0.3V to (VDD + 0.3V)
Voltage on any digital only pin with respect to VSS when VDD < 3.0V.....	-0.3V to (VDD + 0.3V)
Voltage on any digital only pin with respect to VSS when VDD > 3.0V.....	-0.3V to (+5.5V)
Voltage on VBUS pin with respect to VSS, independent of VDD or VUSB	-0.3V to (+5.5V)
Maximum current out of VSS pin	300 mA
Maximum current into VDD pin (Note 1).....	250 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin	25 mA
Maximum current sunk by all ports	200 mA
Maximum current sourced by all ports (Note 1).....	200 mA

Fig. 101 Datos de consumo del microcontrolador PIC24FJ256DA210

La estimación de consumo del transductor se indica en la tabla de datos eléctricos de la Figura 102 como I_c .

$$I_c = 28 + I_s + V_{out}/R_L \quad (18)$$

Donde I_s es la relación entre la Intensidad primaria nominal y el número de espiras del secundario.

$$I_s = I_p/N_s = 19.2A/2000 = 9.6mA \quad (19)$$

El valor máximo del cociente V_{out}/R_L se da para el valor máximo del nominador y el mínimo del denominador.

$$(V_{out}/R_L)_{max} = V_{out_{max}}/R_{L_{min}} \quad (20)$$

La máxima tensión en la salida del transductor es 4.5V.

$$V_{out_{max}} = 2.5 \pm \left(0.625 \cdot \frac{I_p}{I_{pn}} \right) = 2.5 \pm (0.625 \cdot 19.2/6) = 4.5V \quad (21)$$

$R_{L_{min}}$ es una resistencia muy elevada ya que, aunque se coloca una resistencia de 33k en serie con la resistencia de entrada del amplificador operacional, que se considera idealmente infinita, el paso de corriente es ínfimo, o lo que es lo mismo, presenta una resistencia del orden de MΩ.

$$V_{out}/R_L = 4.5V/1M\Omega = 4.5\mu A \quad (22)$$

I_c	Consumo de corriente @ $U_c = 5V$	Typ	$28 + I_s^2 + (V_{out}/R_L)$ mA
-------	-----------------------------------	-----	---------------------------------

Fig. 102 Consumo de corriente del transductor de corriente

$$I_c = 28mA + 9.6mA + 4.5\mu A = 37.6mA \quad (23)$$

El transductor de corriente, en las condiciones de mayor consumo, gastaría menos de 40mA que junto con los 250mA de máximo consumo del micro suman 290mA.

El amplificador operacional LM358 suma 0.7mA de consumo típico. Las demás resistencias del circuito podrían disipar 500mW que a nivel de 5V serían otros 100mA.

Con todo ello no se superan los 397mA. Es decir, sería suficiente construir una fuente de alimentación de 500mA o 2.5W, pero en realidad se va a diseñar una de mayor potencia, concretamente 10W capaz de suministrar hasta 2000mA.

2.7 Fuente de alimentación

2.7.1 Justificación

En cualquier diseño hay que solucionar el problema de la alimentación del circuito ya que la corriente continua no se suministra y, por otra parte, hay diferentes niveles y exigencias para cada sistema.

En este proyecto, se crea una fuente conmutada, que será el elemento que convierta las ondas alternas de 230Vac en señal continua de 5Vdc. Se decide estudiar este tipo de fuentes en concreto por el alto rendimiento, mayor de 90% (según el punto de trabajo) y por el tamaño reducido. Existe el inconveniente de captar ruido del elemento conmutador que afecte al circuito de control. Ciertamente, pero para solucionar este problema, se toma la precaución de dimensionar un filtro en todos los canales de alimentación del microcontrolador que consiste en añadir condensadores de desacoplo en paralelo con los recomendados, una y dos décadas alejados, así se obtiene una curva de atenuación de 60 decibelios por década.

Para convertir la corriente alterna de la red europea suministrada a 230Vac a las necesidades específicas, se toma la decisión de fabricar un adaptador para la ocasión aprovechando la reciente experiencia, adquirida durante los años de estudio. Primero hay que analizar el gasto energético de todo el conjunto para dimensionar la fuente. Sería interesante emplear una fuente de laboratorio, alimentar el circuito lógico (ya fabricado) y tomar la medida real con un amperímetro (u otro método de medida similar) para medir el gasto en las condiciones de mayor exigencia y diseñar la fuente a medida teniendo en cuenta las pérdidas propias de la fuente.

En este diseño, se pretende montar la fuente de alimentación enfrentada y unida a una segunda placa de circuito impreso que contenga la parte de Control y Potencia. Debido a los plazos de fabricación y para aprovechar el ahorro de fabricar las dos partes a la vez, se va a diseñar una fuente de potencia superior (10W) y de paso podrá servir para diseños de mayor exigencia.

2.7.2 Diagrama de flujo

El funcionamiento de las fuentes conmutadas se describe gráficamente en la Figura 103.

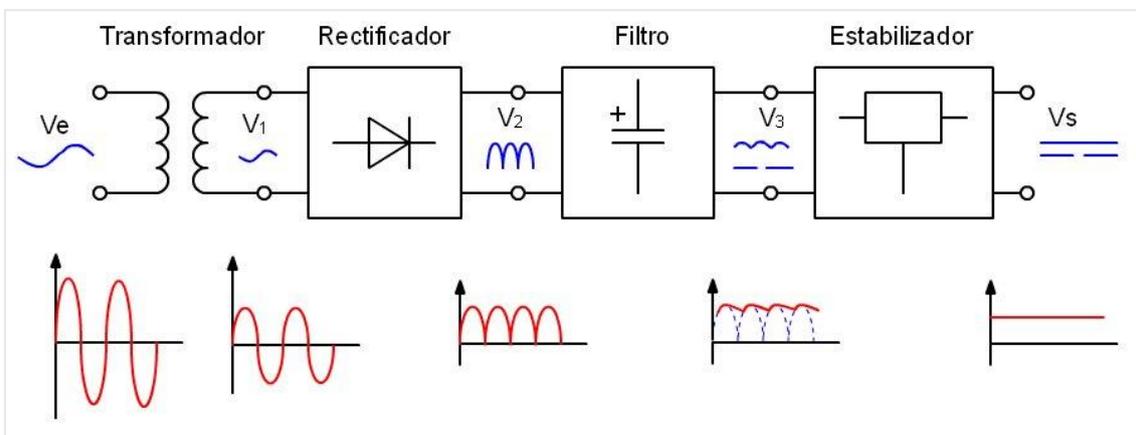


Fig. 103 Diagrama de bloques funcionamiento Fuentes Conmutadas

En el transformador se modifica la amplitud de la onda alterna de entrada, reduciendo. El rectificado invierte el hemicycle negativo y el filtro atenúa el rizado. Finalmente se estabiliza la salida obteniendo la corriente continua buscada.

2.7.3 Niveles de tensión

Dependiendo de las tecnologías de cada componente nos podemos encontrar proyectos que necesitan diferentes niveles de tensión en sus circuitos, como puede ser el caso de un ordenador personal debido a diferentes razones. Esta situación se pretende evitar en la medida de lo posible, ya que por un lado puede suponer un incremento del coste a la hora de añadir elementos para conseguir los diferentes niveles y, por otro lado, simplemente complicaría el trabajo de diseño. Las puertas lógicas tienen un límite inferior y superior para poder distinguir entre nivel alto y bajo, con lo cual ese va a ser el tope inferior de la tensión del circuito. Las nuevas puertas lógicas de tecnología CMOS, actualmente necesitan una tensión de entre 1.17 y 1.8V para interpretar un 1 lógico de entrada y ponen la salida entre 1.2 y 1.8V para la salida lógica a nivel alto como se puede comprobar en la Figura 104. A fechas de este trabajo, se está generalizando el nivel de tensión de 3.3V, por lo que se intenta trabajar a ese nivel buscando componentes que lo admitan. Sin embargo, uno de los elementos ya escogidos, el transductor de corriente, necesita alimentación en 5V_{DC} como se puede ver en la Figura 101, por tanto, se da la obligación de trabajar mínimo a dos niveles distintos ya que el micro se alimenta a 3.3V_{DC}. Para cumplir estas necesidades, se usa un regulador de tensión que baje la salida inicial de la fuente de alimentación de 5 a 3.3V_{DC}.

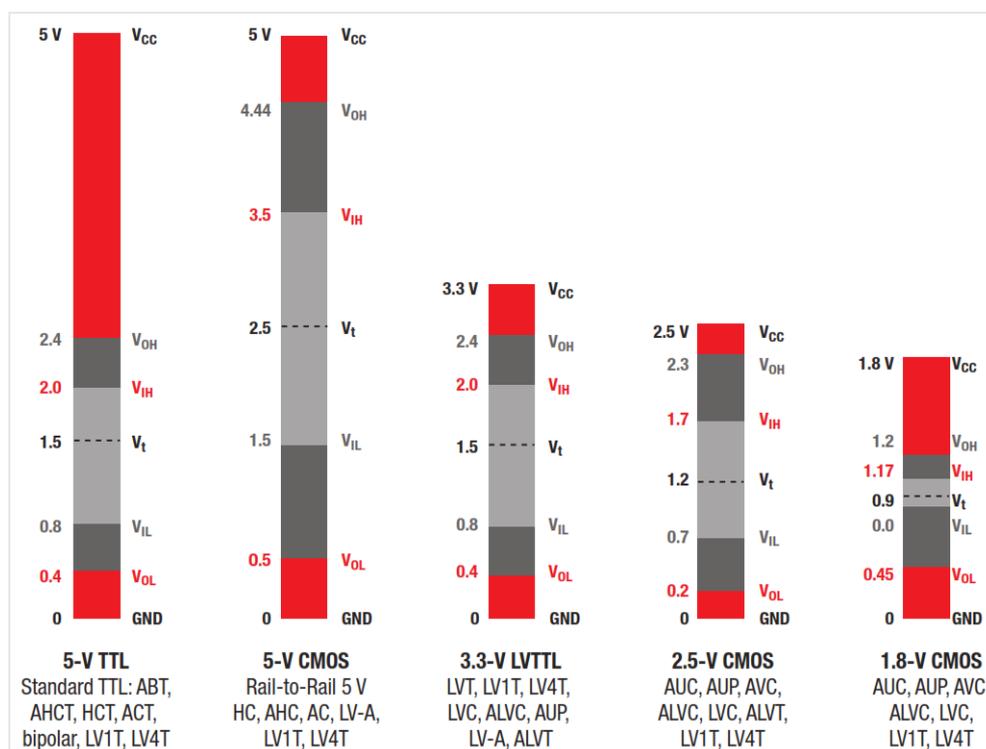


Fig. 104 Niveles lógicos admisibles para las familias CMOS y TLL

2.7.4 Esquema electrónico

La decisión de crear una fuente conmutada viene respaldada por las razones del pequeño espacio que ocupan y el alto rendimiento de las mismas, concretamente un 81.695% de eficiencia del dispositivo en este caso, si se construye cumpliendo las restricciones que Texas Instruments® recomienda en su guía.

Se utiliza precisamente la herramienta de diseño de fuentes de alimentación de este fabricante disponible [en su web](#).



Fig. 105 Datos de la fuente conmutada diseñada, 5.0V@2.0A

La captura del esquema electrónico se muestra en la Figura 106.

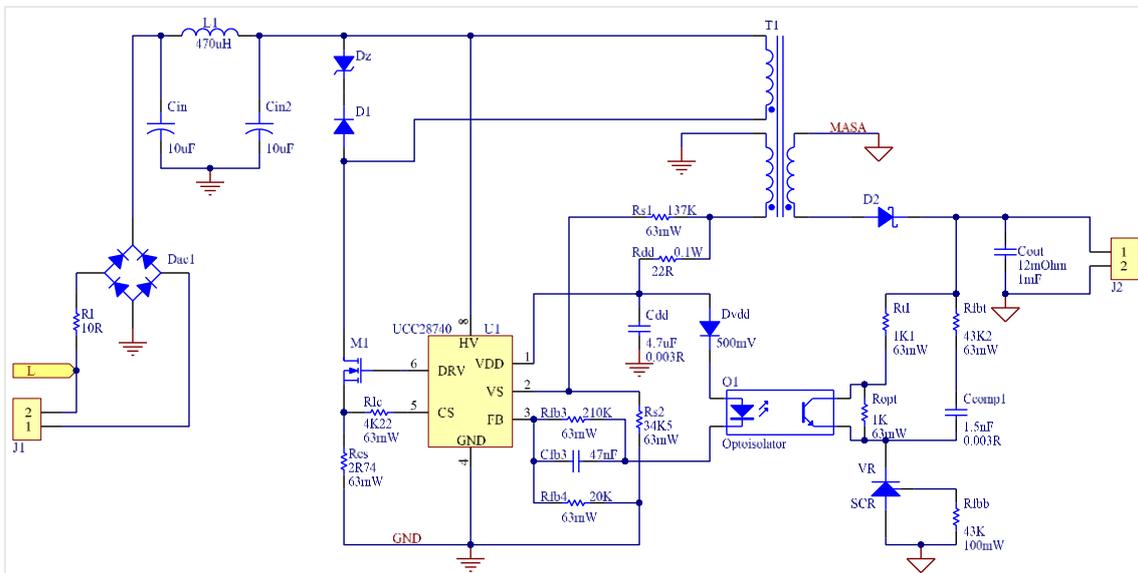


Fig. 106 Esquema electrónico del circuito para la fuente conmutada

CAPÍTULO 3. DISEÑO HARDWARE

Dentro de las tareas de diseño electrónico llevadas a cabo por un ingeniero de desarrollo de producto, una de las actividades que más satisfacción aportan, es dar forma física a la idea surgida hace ya varias etapas atrás. En este apartado se describen los aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de realizar este paso para que la espera y el esfuerzo no se conviertan en decepción. Hay que tener en cuenta muchos detalles por ello se requiere atención.

3.1 Captura de esquemas (Schematics)

Los esquemas electrónicos es la manera simbólica de representar en un plano las uniones entre los componentes electrónicos del diseño. Es una representación abstracta del resultado que se pretende conseguir, pero las potentes herramientas de diseño ofrecen multitud de posibilidades como puede ser la simulación del circuito.

Solamente hay que insertar los elementos que intervienen y representar las uniones entre ellos.

Este proyecto se divide en la parte de **potencia**, **control** y **alimentación**. Sin embargo, a la hora de dar forma a las placas, se unen físicamente la parte de potencia con la de control, construidas en una sola placa de circuito impreso, que se une a la parte de alimentación mediante torretas y los cables correspondientes.

3.1.1 Unidad de Control

En primer lugar, la etapa de lógica o de control, la forma el lector de corriente seguida del amplificador operacional y después directamente a la entrada del micro al pin del convertidor analógico-digital ajustando la entrada con un divisor de tensión.

Como punto de apoyo para esta tarea sirve volver a repasar las subsecciones denominadas «Necesidades básicas»: 3.1.2, 3.2.2 y 3.6.2 de cada elemento clave.

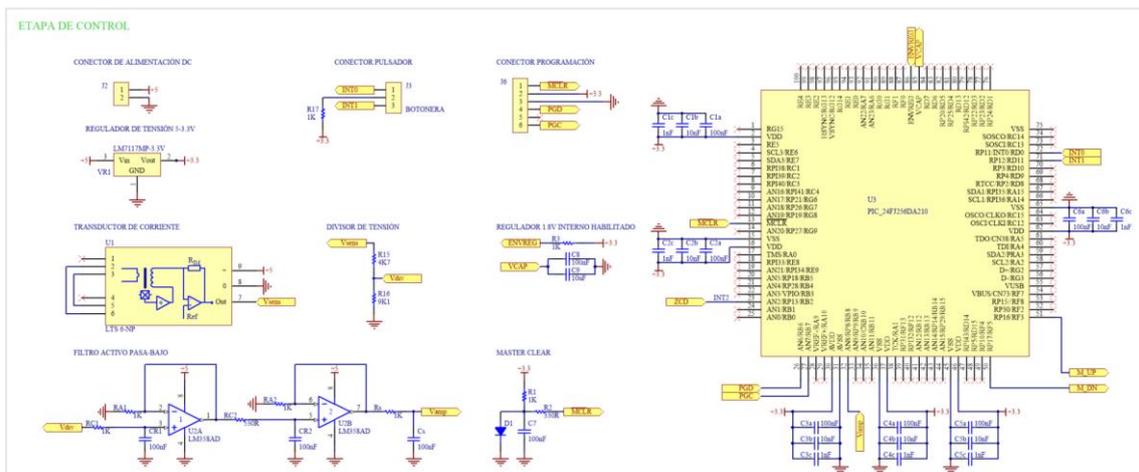


Fig. 107 Captura del Circuito de la Etapa de Control

En el circuito de control se incluye el sensor y el módulo lógico con sus respectivos periféricos, los condensadores de desacoplo para la estabilización de la tensión indicados por el fabricante.

Se incluye un conector para la comunicación con el micro durante el proceso de programación del mismo, lo que facilitará el trabajo de puesta a punto del prototipo, pero también para la actualización del software con alguna posible actualización a lo largo de la vida útil.

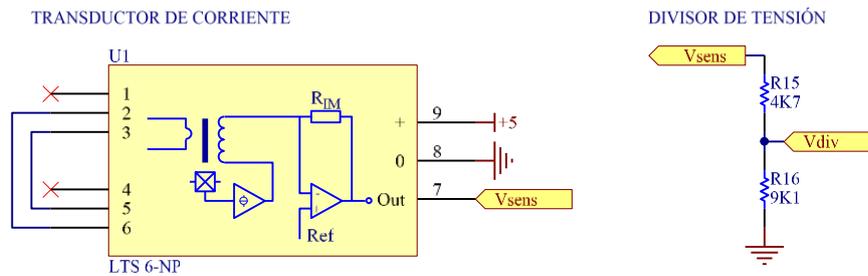


Fig. 108 Captura del Transductor de Corriente y Divisor de Tensión

Uno de los retos a afrontar a la hora de un diseño que incluya cualquier microcontrolador, es cumplir los requisitos mínimos de conexión a la hora del conexionado hardware, ya que un fallo en este punto hace difícil la detección del fallo en el momento de la configuración del firmware, que ya de por sí es un trabajo arduo, sumado a la elevada curva de aprendizaje.

3.1.2 Unidad de Potencia

La etapa de potencia, se refiere a aquellos componentes destinados al pilotado de los interruptores de alta tensión, es decir todo lo que se encuentre aguas abajo desde la salida del micro. Se incluye, para la división de las zonas de alta y baja potencia, sendos optoacopladores, de tal manera que no hay conexión directa entre las dos etapas.

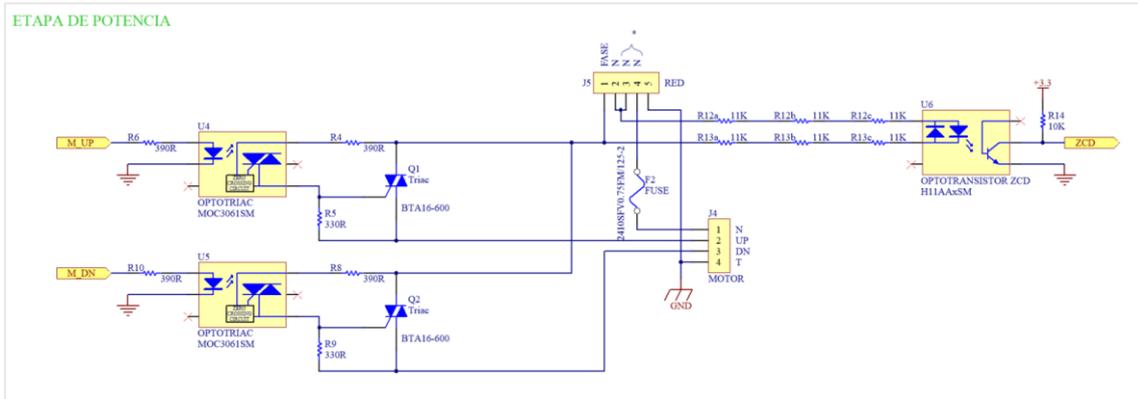


Fig. 109 Captura circuito etapa de potencia

La función del circuito de potencia es pilotar el motor según las necesidades de la lógica implementada. Básicamente se permite o detiene el paso de corriente hacia el motor por uno de los cables que determinan el giro en los dos posibles sentidos.

Se puede observar la presencia de tres resistencias en serie en el lado *caliente* del optotransistor que se justifican por el hecho de dar mayor distancia y evitar posibles arcos de corriente entre las patillas de la propia resistencia.

Se incluye un conector exclusivo para los cuatro hilos del motor y otro conector para la alimentación. Para facilitar la lectura con el transductor, dado que necesita pasar el hilo a través del cuerpo del propio sensor, se deja previsto un puente entre los pines 3 y 4 del conector J5.

3.2 Rutado de las placas de circuito impreso (PCB)

Se denomina rutado al proceso de colocación física de las huellas dentro del área de la PCB y la unión de patillas de los elementos con pistas de cobre, el material conductor por excelencia utilizado en la industria electrónica actual.

Se inicia el proceso con la distribución de cada componente en el lugar físico que va ocupar relativo a los demás. Se ha de hacer pensando en la posibilidad de hacer las uniones, pero también en evitar que se acople ruido, se superpongan partes o que queden accesibles zonas para los puntos de sujeción o prever puntos de testeo, entre otros.

3.2.1 Automático

El rutado en modo automático es la solución idónea para cualquier proyecto sea grande o pequeño. La dificultad consiste en la configuración correcta de las reglas que debe seguir la EDA.

3.2.2 Manual

Las placas aquí expuestas, se han rutado en modo manual porque no es un proyecto demasiado complejo y porque el modo automático acaba trazando pistas de manera incoherente y siempre hay que volver a editar.

3.2.3 Ancho y separación de pistas

Una de las mayores preocupaciones a la hora de rutar es, y debe ser, garantizar la seguridad del producto y de los usuarios una vez se ponga en marcha. El cálculo del ancho de pistas evita calentamiento de la placa debido a una corriente elevada por una pista muy estrecha, esa situación acabaría con el envejecimiento prematuro de la pista en cuestión debido a los repetidos ciclos de calentamiento y enfriamiento que supone pérdida de conductividad del cobre y finalmente la destrucción de la pista en el mejor de los casos.

El dimensionado de la distancia entre pistas y también entre las partes conductoras de los componentes incluidos en el diseño, evita la aparición de arcos eléctricos entre pistas cercanas, o lo que es lo mismo, cortocircuitos. Un cortocircuito en una PCB lo menos que puede provocar, es la destrucción del fusible de protección, si está presente.

ANSI PCB TRACE WIDTH CALCULATOR							
Input Data			Results Data				
Field	Value	Units	Trace Data	Internal Traces		External Traces	
				Value	Units	Value	Units
Current (max. 35A)	50	mA	Required Trace Width	0.49	mil	0.19	mil
Temperature Rise (max. 100°C)	10	°C	Cross-section Area	0.68	mil ²	0.26	mil ²
Cu thickness	35	µm	Resistance	0.62	Ω Ohms	1.62	Ω Ohms
Ambient Temperature	25	°C	Voltage Drop	0.03	Volts	0.08	Volts
Conductor Length	15	mm	Loss	0	Watts	0	Watts
Peak Voltage	325	Volts	Required Track Clearance	88	mil		

Fig. 110 Características de las pistas de entrada, 230V@50mA

Para el cálculo del ancho de las pistas en la placa de circuito impreso se debe seguir la norma IPC-2221A y para facilitar la tarea se utiliza la herramienta diseñada por Nick de Smith disponible en la web. Es interactiva y a partir de los datos aportados como entradas calcula automáticamente la distancia mínima a otras pistas o elementos conductores y el ancho mínimo recomendado por la norma.

Uno de los puntos que merecen atención a la hora del rutado, son las pistas de alimentación. En este caso las pistas de alimentación de la red, ~230V, deben ser de 19 milésimas de ancho y separación de 88 milésimas hacia los elementos colindantes.

Las propiedades para la pista de salida de la fuente conmutada: 30.77 milésimas de ancho y 24 milésimas de separación.

ANSI PCB TRACE WIDTH CALCULATOR							
Input Data			Results Data				
Field	Value	Units	Trace Data	Value	Units	External Traces	Units
Current (max. 35A)	2	Amps	Required Trace Width	80.03	mil	30.77	mil
Temperature Rise (max. 100°C)	10	°C	Cross-section Area	110.28	mil ²	42.39	mil ²
Cu thickness	35	µm	Resistance	0	Ω Ohms	0.01	Ω Ohms
Ambient Temperature	25	°C	Voltage Drop	0.01	Volts	0.02	Volts
Conductor Length	15	mm	Loss	0.02	Watts	0.04	Watts
Peak Voltage	5	Volts	Required Track Clearance	24	mil		

Fig. 111 Características de la pista de salida, 5V@2A

Para el resto de pistas se utiliza la misma técnica y en los casos que se desconocen las propiedades de la señal que circula, se sobredimensiona hasta el ancho máximo de pista (30mil) y el máximo *clearance* (88mil) de las dos situaciones extremas.

3.2.4 Elementos de unión entre PCBs

Uno de los puntos que menos se presta atención a la hora de diseñar una PCB y que se consigue recordar con la experiencia, son los puntos de anclaje de la propia placa al entorno, sea la caja, el chasis u otra placa. Normalmente se dejan previstos varios taladros de las dimensiones deseadas para poder poner un tornillo o un elemento de sujeción.



Fig. 112 Elementos de soporte PCB

En este caso, se usan torretas de plástico, un elemento común para la sujeción de las PCBs. Para crear un agujero en la PCB, se coloca un pad, el tamaño del hueco será de 3mm porque es la dimensión de la parte roscada de la torreta. Como el elemento mecánico elegido es de plástico, se elige que el interior del pad no sea bañado en cobre, no se necesita conductividad ni robustez en la zona. Si se fuera a utilizar un tornillo de metal unido al chasis conectado a su vez a la tierra, interesaría platear el pad y darle una corona generosa de cobre que se conectaría a tierra, pero no es el caso.

3.2.5 Recomendaciones del fabricante de circuitos impresos

La empresa 2CISA, con sede en Barcelona, es una marca referente a nivel nacional en cuanto a fabricación de placas de circuito impreso ofreciendo buenas calidades de placas con acabado en baño de oro de las partes soldables lo que mejora sustancialmente la etapa de fabricación, ya sea en proceso industrial por ola de estaño, ya sea en laboratorio con un soldador habitual. En la web, se puede encontrar información útil a tomar en cuenta para todo tipo de parámetros que bien la herramienta EDA permite imponer, la realidad es bien distinta ya que la precisión tiene un límite. Aparte,

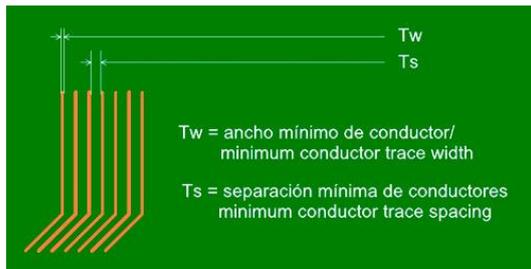


Fig. 113 Separación mínima entre pistas

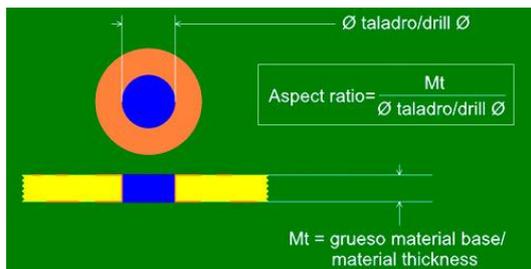


Fig. 114 Taladro mínimo

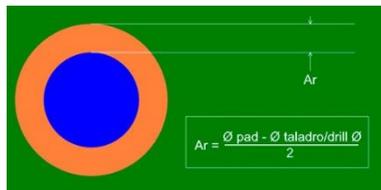


Fig. 115 Corona mínima

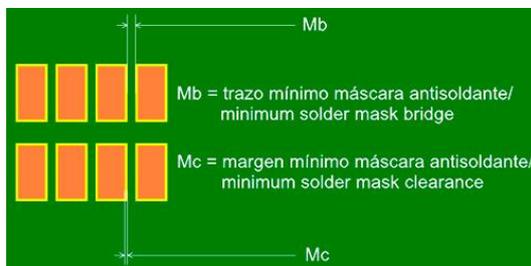


Fig. 116 Máscara antisoldante

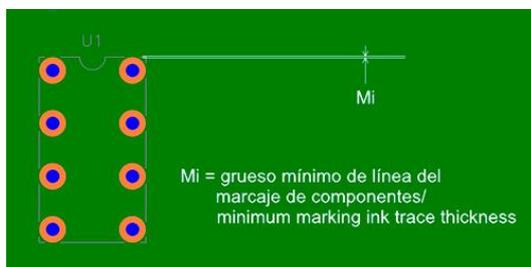


Fig. 117 Marcaje de componentes

Los límites de ancho y separación de conductores dependen del cobre base. Para cobre de 35μ y capas externas, $T_w \geq 0.2\text{mm}$ y $T_s \geq 0.2\text{mm}$.

Las características más importantes de los taladros del circuito son: su diámetro, si son o no metalizados y la altura o profundidad de los mismos.

Aspect ratio ≤ 6 .

$\text{Ø}_{\text{metalizado}} \geq 0.25\text{mm}$

$\text{Ø}_{\text{No metalizado}} \geq 0.35\text{mm}$

La corona es el anillo de metal que queda alrededor del taladro en un pad. Para cobre de 35μ y capas externas, $A_r \geq 0.2\text{mm}$.

La máscara antisoldante es un recubrimiento que se da al circuito impreso para protegerlo, impidiendo que se pueda soldar sobre él y que permite la soldadura solamente en los lugares previstos.

$M_c \geq 0.075\text{mm}$ $M_b \geq 0.1\text{mm}$

Utilizado para referenciar los componentes e indicar su posición y dimensiones en el circuito impreso, también puede incluir logotipos, códigos de circuito, marcas de calidad, y otros.

$M_i \geq 0.125\text{mm}$

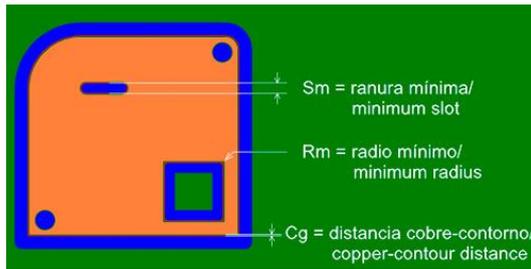


Fig. 118 Fresado

El Fresado CNC es un sistema de corte automático que emplea una herramienta rotativa de corte guiada por un sistema de control numérico. La tolerancia de posición de la punta de la herramienta es de $\pm 0.2\text{mm}$.

$$S_m \geq 0.8\text{mm}, R_m \geq 0.4\text{mm}, C_g \geq 0.2\text{mm}.$$

3.2.6 Exportación de documentación

La continuación del proceso de diseño hacia el producto final, es la etapa de fabricación y suele ser una empresa externa. Por una parte, al tratarse de un diseño propio, se desea conservar la información novedosa alejada de ojos extraños que además pueden tener conocimientos suficientes para plagiar la idea. Por otra parte, es necesario entregar suficiente información para que el fabricante sea capaz de dar forma a la placa tal cual se ha diseñado.

Para resolver este conflicto y evitar el paso de información comprometida al proveedor de circuitos impresos, las EDAs generan unos ficheros que solamente contienen información de fabricación, los llamados «*gerber*». El formato del archivo gerber fue desarrollado por el ingeniero Joseph Gerber (1924-1996). En este caso se trabaja con el software de Altium®, pero el formato está unificado y todas las herramientas electrónicas exportan con la misma codificación, actualmente RS-274X, entrada en vigor desde noviembre 2015. Cada cierto tiempo se revisan las especificaciones con el consiguiente cambio del estándar.

Se debe tener en cuenta el tipo de proceso que va a seguir ya que no se puede exigir la misma precisión a un proceso de revelado en laboratorio con atacado del cobre por ácido que al proceso industrial de una fábrica profesional.

Los *gerber* tienen diferentes extensiones dependiendo de la capa que contienen, es decir, la serigrafía de la cara superior se exporta a extensión ***.GTO** (*Gerber Top Outline*). De esta manera, se pueden enviar al fabricante los ficheros de las capas que se desee.

Otro archivo que no puede faltar es el que contiene las coordenadas en X e Y de los taladros de la placa. La extensión de éste es ***.txt** y contiene la información de los diámetros y las coordenadas.

3.3 Fitolitos

Los fotolitos son las planchas que se usan en el proceso de fabricación de los paneles finales. Según el proceso y la fase, se usan los positivos o los negativos de los mismos para conseguir el resultado final. Por ejemplo, el fabricante 2CI, trabaja el método de soplado de cobre sobre el panel de fibra de vidrio completamente vacío, por ello se fabrica el fotolito en positivo. El proceso de corrosión con ácidos empleado en el laboratorio es el negativo.

En las Figuras 118 y 119 se muestran los fotolitos de fabricación de las dos caras de la fuente de alimentación diseñada (Top y Bottom).

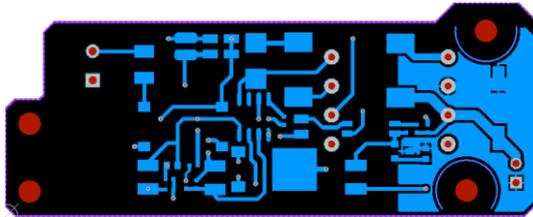


Fig. 119 Capa superior (TOP) fuente de alimentación 5V@2A

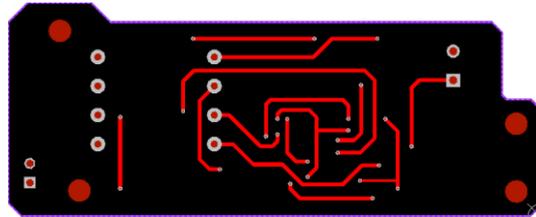


Fig. 120 Cara inferior (BOTTOM) fuente de alimentación 5V@2A

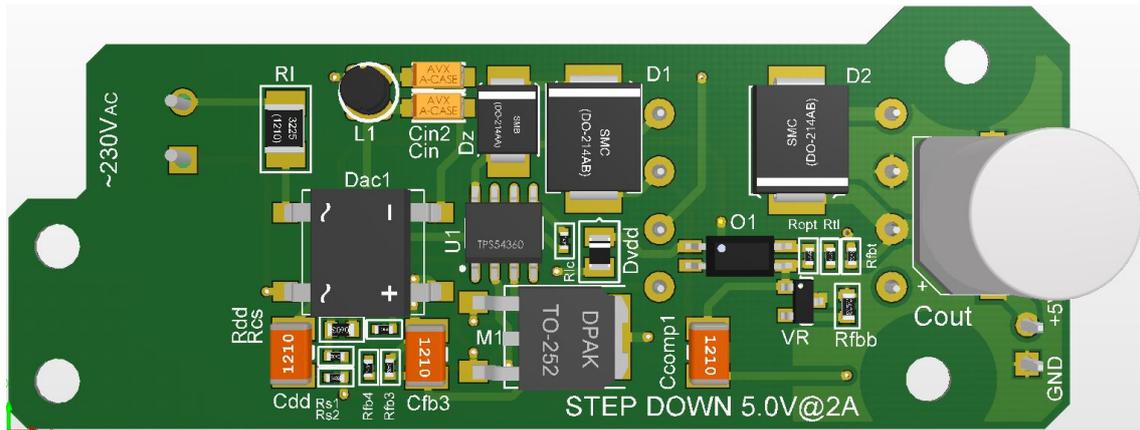


Fig. 121 Vista superior en 3D de la fuente de alimentación

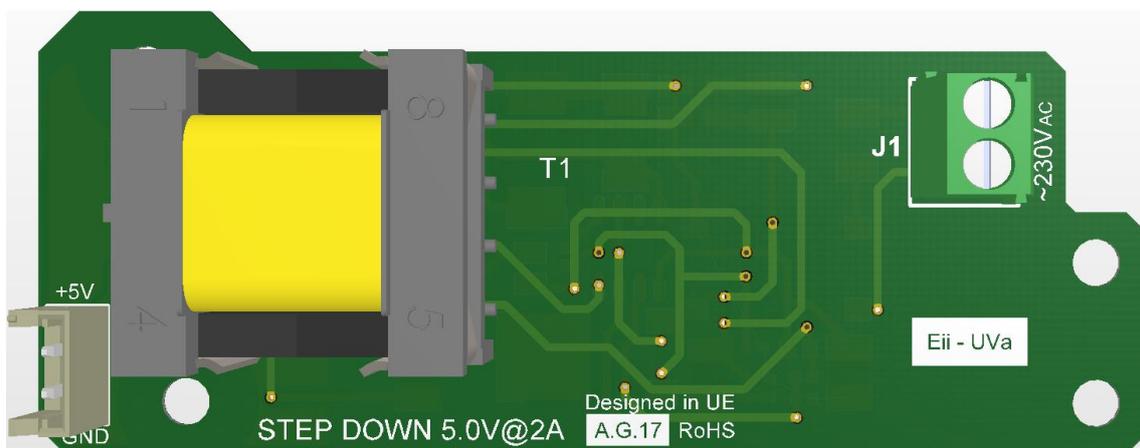


Fig. 122 Vista inferior en 3D de la fuente de alimentación

En las Figuras 122 y 123 se muestran los fotolitos importantes de fabricación de las dos caras (Top y Bottom) de la placa principal. En las figuras 124 y 125 se muestra el aspecto 3D de la misma.

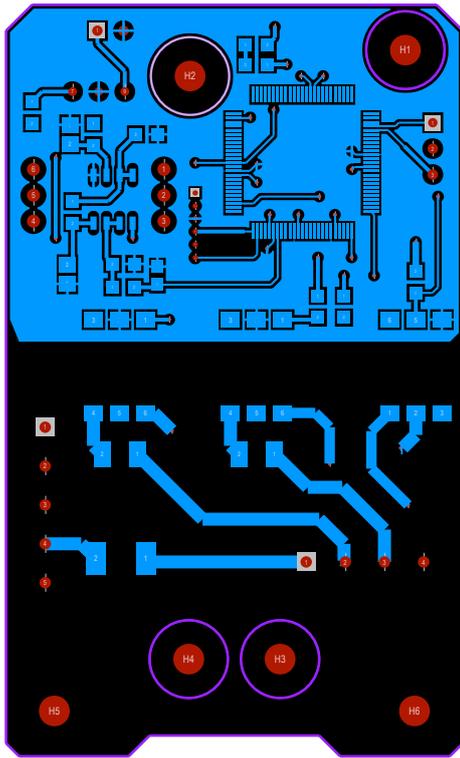


Fig. 123 TOP Layer placa de Control

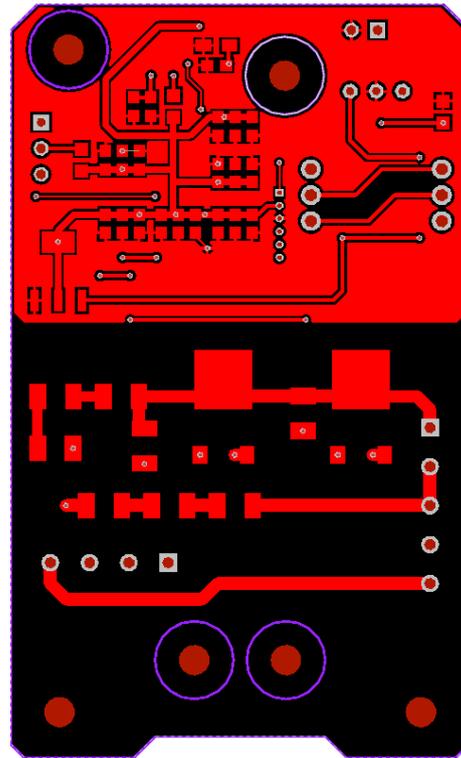


Fig. 124 BOTTOM Layer placa de Control

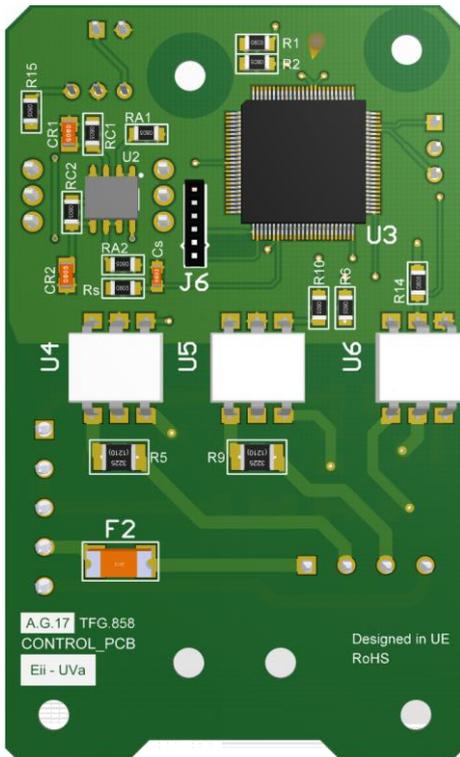


Fig. 125 Vista 3D superior placa de Control

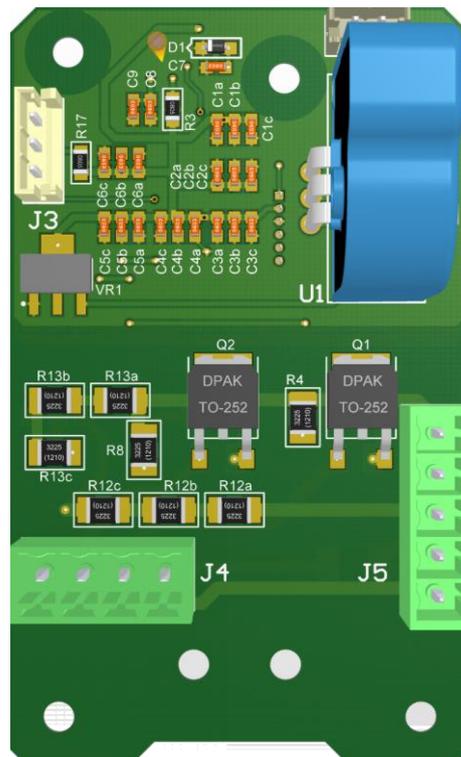


Fig. 126 Vista 3D inferior placa de Control

3.4 Lista de materiales

La lista de los materiales o BOM²⁰ (por sus siglas en inglés) es uno de los archivos que genera la herramienta EDA utilizada en el diseño que contiene los detalles de cada componente. A partir de este archivo es fácil realizar la compra para el prototipo o la producción necesaria. Se suele indicar el nombre, identificación en el esquema/PCB, valor, huella, algún comentario, etc de tal modo que un operario/encargado externo sea capaz de realizar el montaje del panel usando el BOM como guía.

Tabla 12 Lista de materiales (BOM) placa de control y potencia

Comment	Designator	Footprint	Quantity
100nF	C1a, C2a, C3a, C4a, C5a, C6a, C7, Cs	CAPC-0603-1608M	8
10nF	C1b, C2b, C3b, C4b, C5b, C6b	CAPC-0603-1608M	6
1nF	C1c, C2c, C3c, C4c, C5c, C6c	CAPC-0603-1608M	6
Cap Non Polar	C8, C9	CAPC-0603-1608M	2
100nF	CR1, CR2	CAPC-0805-2012M	2
DIODE	D1	SM/D_SOD323	1
FUSE	F2	SM/PTC-PPTC_2410	1
CON2	J2	CON 2 PIN, 2.54mm	1
BOTONERA	J3	CON 3 PIN, 3.81mm DG	1
MOTOR	J4	CON 4 PIN, 3.81mm	1
RED	J5	CON 5 PIN, 3.81mm	1
CON6	J6	CON 6 PIN, 1.27mm - duplicate	1
Triac	Q1, Q2	SM/_DPAK TO252 GDS	2
1K	R1, R3, R17, RA1, RA2, RC1, Rs	SM/RLC_0805-2012	7
330R	R2	SM/RLC_0805-2012	1
390R	R4, R8	SM/RLC_1210-3225	2
330R	R5, R9	SM/RLC_1210-3225	2
390R	R6, R10	SM/RLC_0805-2012	2
11K	R12a, R12b, R12c, R13a, R13b, R13c	SM/RLC_1210-3225	6
10K	R14	SM/RLC_0805-2012	1
4K7	R15	SM/RLC_0805-2012	1
9K1	R16	SM/RLC_0805-2012	1
530R	RC2	SM/RLC_0805-2012	1
LTS 6-NP	U1	LTS xx-NP	1
LM358AD	U2	D008_L	1
PIC_24FJ256DA210	U3	TQFP-100 12x12x2	1
OPTOTRIAC	U4, U5	MOC3061SM	2
OPTOTRANSISTOR ZCD	U6	MOC3061SM	1
LM7117MP-3.3V	VR1	SOT223_L	1
		Total elementos	64

En la tabla 12 se incluye el BOM de la placa de control y potencia.

²⁰ Bill Of Materials

En la tabla 13 se muestra el contenido del BOM de la placa de la fuente.

Tabla 13 Lista de materiales (BOM) de la fuente de alimentación

Comment	Designator	Footprint	Quantity
1.5nF	Ccomp1	CAPC-1210-3225M	1
4.7uF	Cdd	CAPC-1210-3225M	1
47nF	Cfb3	CAPC-1210-3225M	1
10uF	Cin, Cin2	SM/T_A	2
1mF	Cout	CAP_F12	1
DIODE	D1	SM/DO214AB	1
DIODE SCHOTTKY	D2	SM/DO214AB	1
Bridge1	Dac1	SM/D_DFS	1
500mV	Dvdd	SM/D_0805	1
DIODE_ZENER	Dz	SM/DO214AA	1
CON2	J1	CON 2 PIN, 3.81mm DG	1
CON2	J2	CON 2 PIN, 2.54mm	1
470uH	L1	SM/L_SDR0302-xxxL	1
MOSFET-N_1	M1	SM/_DPAK TO252 GDS	1
Optoisolator	O1	SSOP-4 250	1
2R74	Rcs	SM/RLC_0402-1005	1
22R	Rdd	SM/RLC_0603-1608	1
210K	Rfb3	SM/RLC_0402-1005	1
20K	Rfb4	SM/RLC_0402-1005	1
43K	Rfbb	SM/RLC_0603-1608	1
43K2	Rfbt	SM/RLC_0402-1005	1
10R	RI	SM/RLC_1210-3225	1
4K22	Rlc	SM/RLC_0402-1005	1
1K	Ropt	SM/RLC_0402-1005	1
137K	Rs1	SM/RLC_0402-1005	1
34K5	Rs2	SM/RLC_0402-1005	1
1K1	Rtl	SM/RLC_0402-1005	1
Trans3_1	T1	B66308	1
UCC28740	U1	R-PDSO-G8	1
SCR	VR	SM/SOT23_123	1
		Total elementos	31

CAPÍTULO 4. DISEÑO SOFTWARE

4.1 Lenguaje de programación

El lenguaje ampliamente utilizado actualmente para la programación de los microcontroladores es C, pero sigue existiendo la posibilidad de crear el código en lenguaje ensamblador que se viene utilizando desde la expansión del uso de estos dispositivos.

Con el tiempo, las herramientas de desarrollo ofrecidas por los fabricantes de micros han ido evolucionando para facilitar el trabajo y para disminuir la curva de aprendizaje. En el momento actual, el mercado está convergiendo para ofrecer un interfaz que ayude a configurar el micro en pocos golpes de click. Anteriormente, había que conocer a fondo los registros de configuración de un dispositivo para poner en marcha un proyecto muy simple, hoy día, el panorama ha cambiado y Microchip, en este caso, ofrece el plug-in llamado MCC (*MPLAB Code Configurator*). El MCC es un interfaz de alto nivel e intuitivo.

Un paso más allá va la herramienta HARMONY, que, además de generar el código de configurar del micro, crea un autómata de estados directamente (no usada en este caso).



Fig. 127 Lenguajes de programación

4.2 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es una representación gráfica del funcionamiento de un sistema, en este caso el microcontrolador, mostrando las entradas, salidas y sus relaciones.

La rutina general se describe según el diagrama de flujo de la Figura 127.

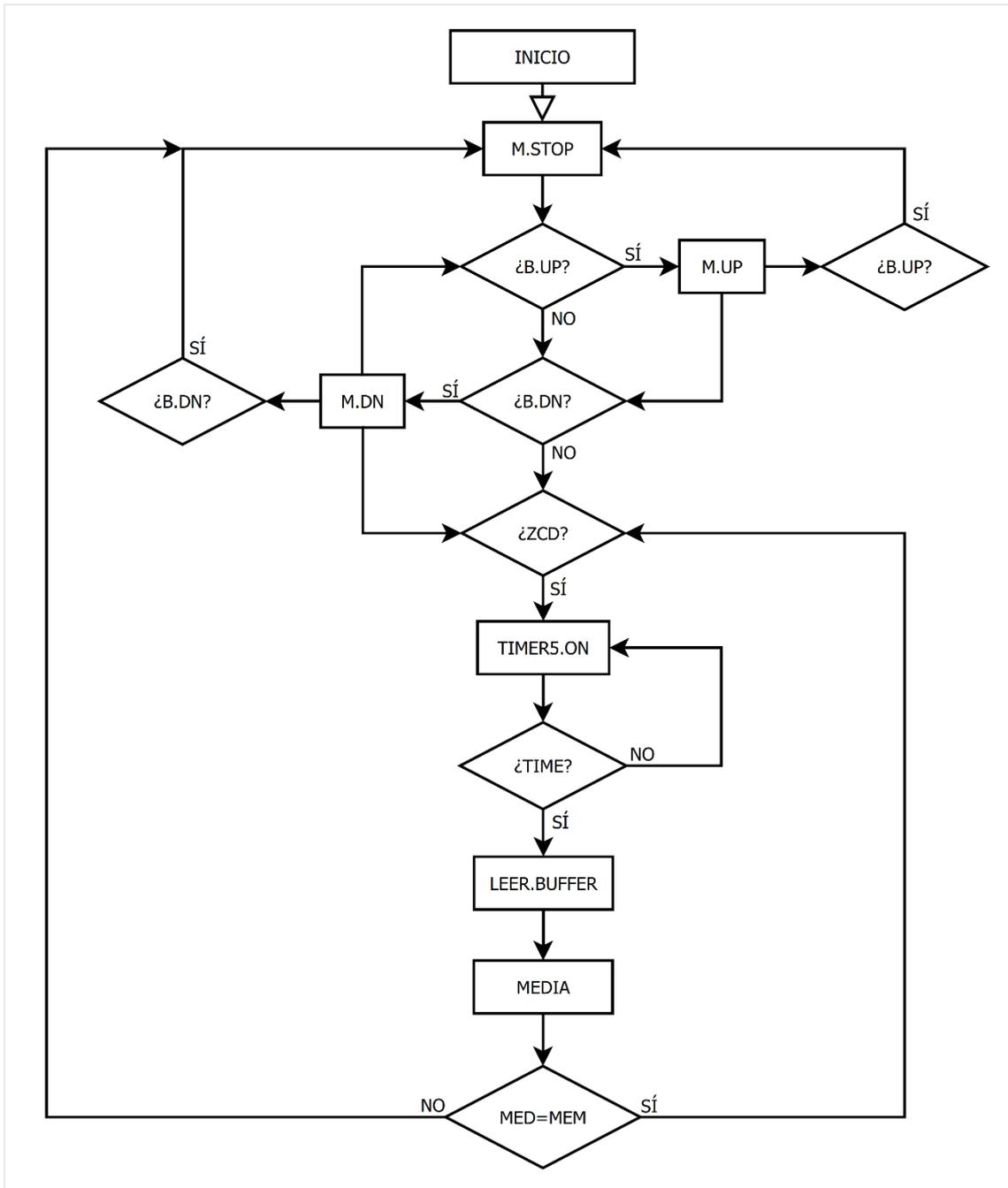


Fig. 128 Diagrama de flujo de la lógica del sistema

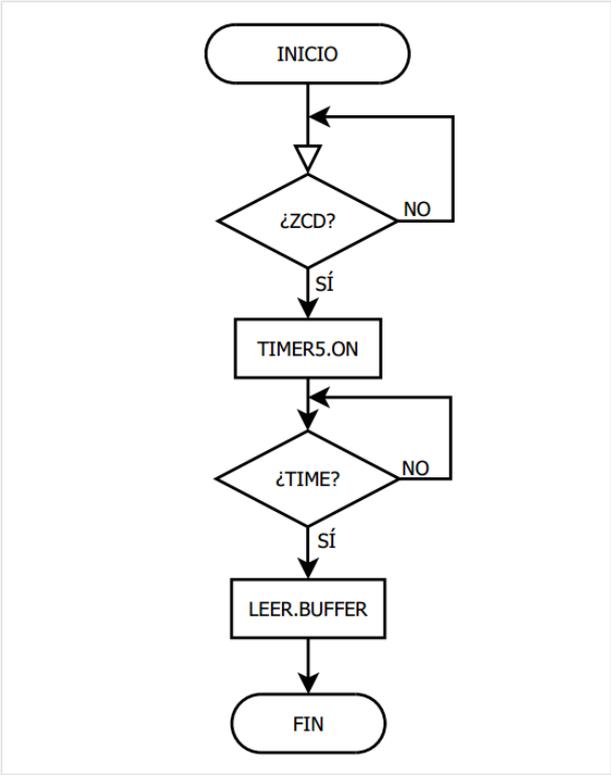


Fig. 129 Diagrama de flujo Interrupción Paso por Cero (ZCD)

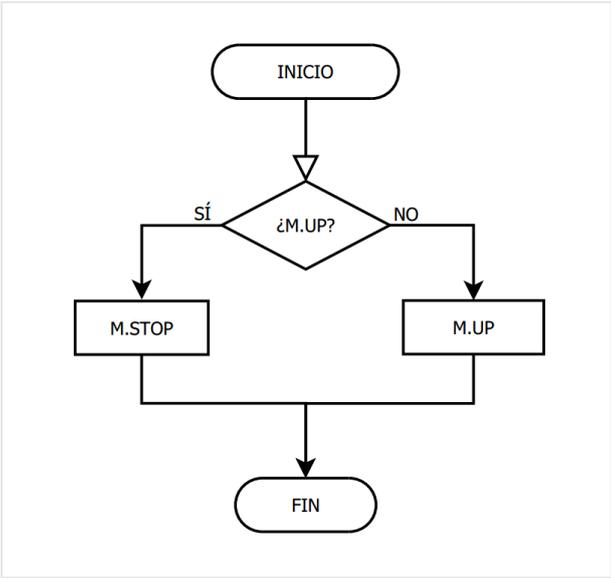


Fig. 130 Diagrama de flujo Interrupción 1, Botón Arriba

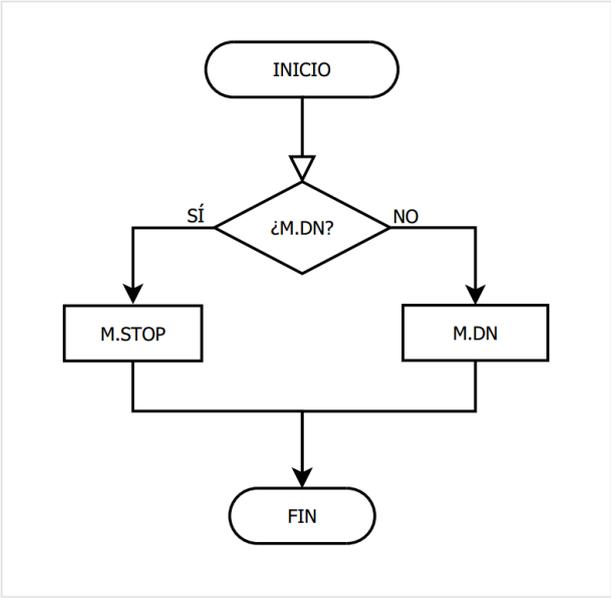


Fig. 131 Diagrama de flujo Interrupción 2, Botón Abajo

4.3 Rutina ADC

La rutina fundamental consiste convertir el valor de tensión a la salida del amplificador operacional (analógico) en un valor finito conocido (digital) hasta 2^{10} valores comprendidos entre 0 y 1023. La conversión ADC (Analógico-Digital) se configura en modo automático, con lo cual es un bucle cerrado que empieza con el accionamiento del motor y rellena continuamente el *Buffer* con datos leídos.

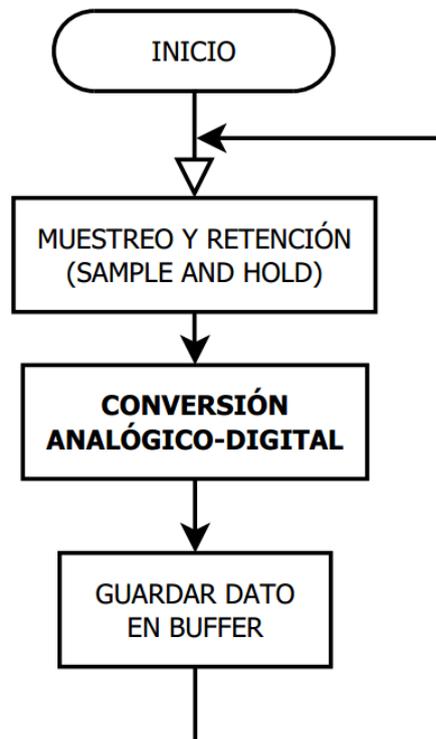


Fig. 132. Diagrama de flujo Convertidor Analógico-Digital (ADC)

4.3.1 Aprendizaje de la curva de consumo

El diseño software, generalmente, se ha de pensar con previsión a futuros cambios y actualizaciones. Es mucho más probable una actualización del programa que una mejora debido a cambios en la estructura hardware. En este caso, se programa una rutina de aprendizaje de la curva de esfuerzo del motor accesible por un patrón de las teclas de control: *Up* y *Down*.

En el ciclo inicial, el programa cede el control al usuario externo y considera los datos fiables. Esos datos pasan a formar parte del programa, se guardan para futuras consultas. Con esta estrategia, se consigue un diseño versátil a instalar en cualquier tipo de instalación independientemente de la potencia del motor, recorrido de la persiana, etc.

Sin embargo, se conoce que los mecanismos en movimiento cambian su comportamiento a lo largo de la vida útil debido a los cambios sufridos en la zona de contacto, es decir, tienen un comportamiento dinámico del coeficiente de rozamiento. Cuando todas las piezas son nuevas, la fricción es elevada; poco tiempo después las partes en contacto se han ajustado y el coeficiente de fricción

disminuye para finalmente volver a aumentar lentamente con el desgaste de los materiales, acumulación de suciedad y sequedad de los lubricantes.

Para responder de forma eficaz al comportamiento dinámico del coeficiente de fricción, la rutina programada debe poder adaptarse a los cambios. Por ello, después del ciclo de aprendizaje, el sistema es capaz de cambiar la curva aprendida por la moda de los últimos n ciclos, dependiendo n de la memoria de datos disponible en el microcontrolador. De esta forma se consigue que la tabla de valores de comparación durante el movimiento esté actualizada en todo momento.

4.4 Rutina de emergencia

En la Figura 128 se muestra el diagrama de flujo de la interrupción en caso de emergencia. En el instante inicial y después de un reinicio del sistema, se inicializan las variables para que el motor esté parado (M.STOP). Cuando se dé la condición de parada por emergencia, el motor se detiene, invierte el giro iniciando un contador de 100 milisegundos y se vuelve a detener. La anterior maniobra se hace con el fin de liberar el objeto atrapado.

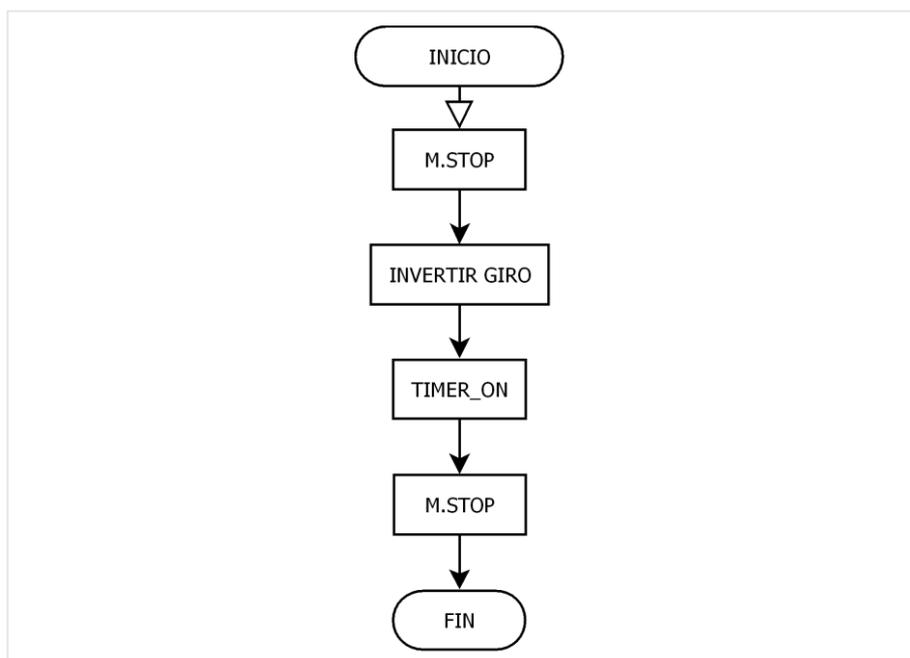


Fig. 133 Diagrama de flujo Interrupción Emergencia

4.5 Configuración del micro

Después del montaje de la parte física del circuito, se debe configurar el microcontrolador conforme a muchas de las decisiones que se han venido tomando. Para la puesta en marcha del dispositivo lógico, hay que establecer los llamados *fusibles* o bits de configuración.

Los fusibles nos permiten configurar las funciones del micro, como por ejemplo el tipo de oscilador, la protección de código, habilitar el perro guardián, habilitar el *Reset* maestro/inicial, habilita el modo depurador, y un largo etcétera.

En el programa utilizado, MPLAB X, es lo primero que se debe hacer después de la generación del proyecto.

4.5.1 MPLAB-X Code Configurator

Dentro de la familia de los microcontroladores de Microchip, la manera fácil es usar el configurador que simplifica el proceso.

MCC, el plugin de MPLAB-X, es un entorno de programación gráfica, que genera código C para insertar en el propio proyecto. Usando una interfaz intuitiva, permite y configura un amplio conjunto de periféricos y funciones específicas para cualquier aplicación.



4.5.1.1 Oscilador

En primera instancia se ha de configurar el **oscilador** para obtener la frecuencia de trabajo del micro. Se seleccionan variables que den la salida de 32MHz para el F_{OSC} . En la Figura 128 se muestran las opciones propias para conseguirlo: *FRC Oscillator*, habilitar el Postscaller, habilitar el PLL.

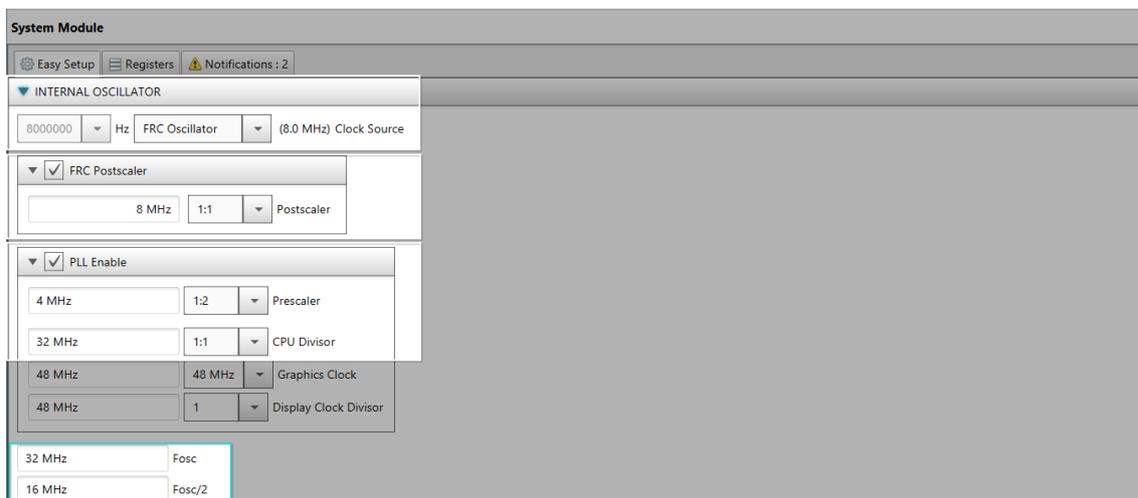


Fig. 134 Configuración del Oscilador Interno Rápido (FRC)

4.5.1.2 Distribución de pines

El *pinout* del micro mostrado en la Figura 129 se forma con la misma disposición hardware de las patillas para que las E/S coincidan. En la pestaña *Pin Manager* del MCC, haciendo click derecha sobre cada patilla, se muestran las opciones

de selección disponibles para el puerto correspondiente. Una vez seleccionada la función, la patilla se marca en verde acompañado del comentario.

Por ejemplo, se establecen los pines de programación en el segundo canal disponible: pines 26 – PGEC2 y 27 – PGED2. En el pin 32 – AN8: se establece la entrada analógica para el convertidor A/D, estratégicamente situada cerca del pin AVss para crear un plano de masa dedicado a analógicas.

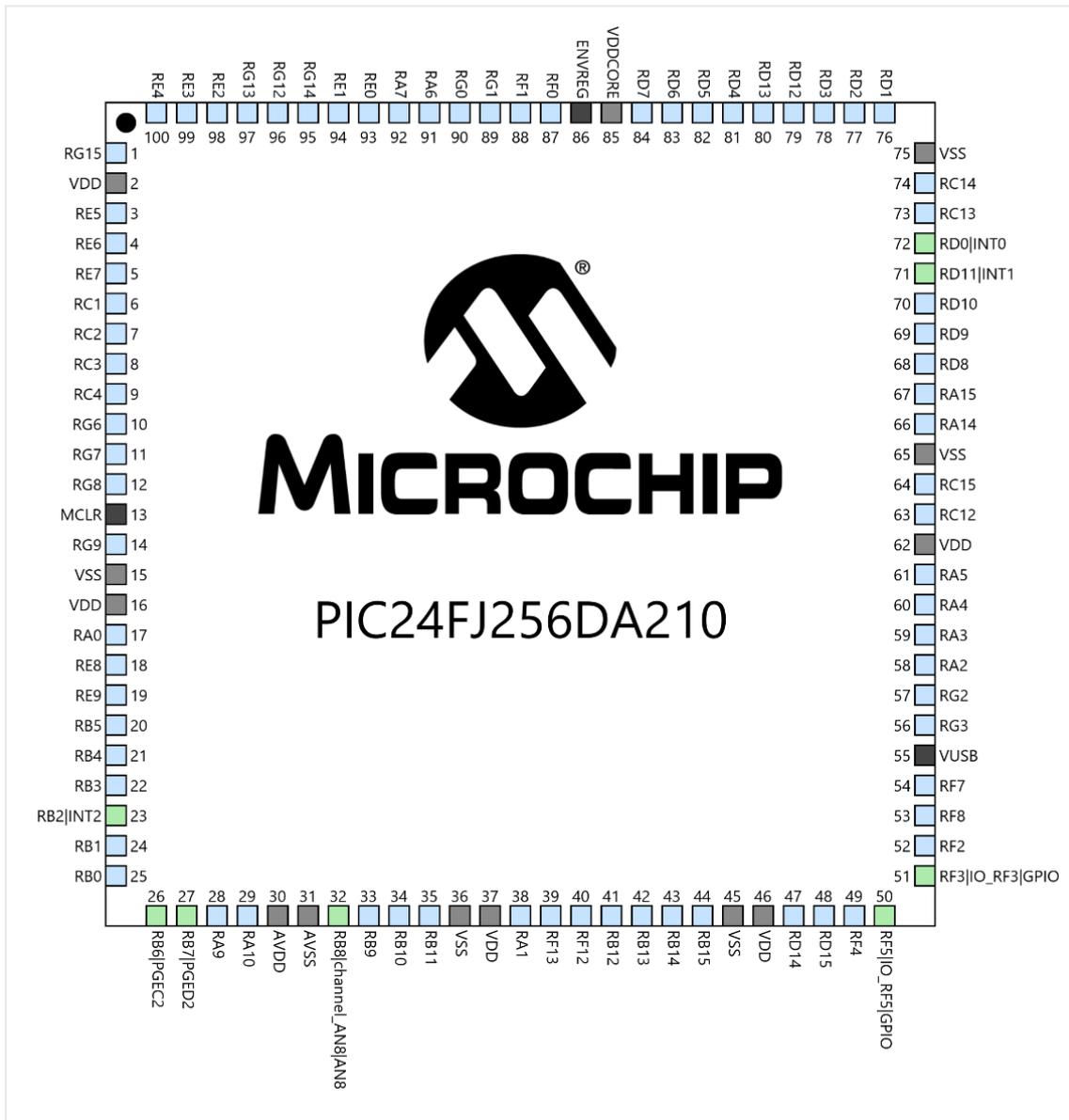


Fig. 135 Pinout del microcontrolador 24FJ256DA210

4.5.1.3 Temporizador

La configuración del **temporizador** es sencilla. Se establece el origen de la frecuencia base ($F_{osc}/2$), se selecciona un *prescaler* para ajustar el rango de temporizado (1:8) y finalmente se edita en el espacio *Time Period* el tiempo que se desea salte el temporizador (5ms). En este caso también se habilita la interrupción del temporizador que activará la lectura del buffer del ADC.

Se utiliza el Timer5 porque es el que activa internamente el convertidor A/D. En la figura 130 se muestran las acciones necesarias para dejarlo activado con la configuración necesaria.

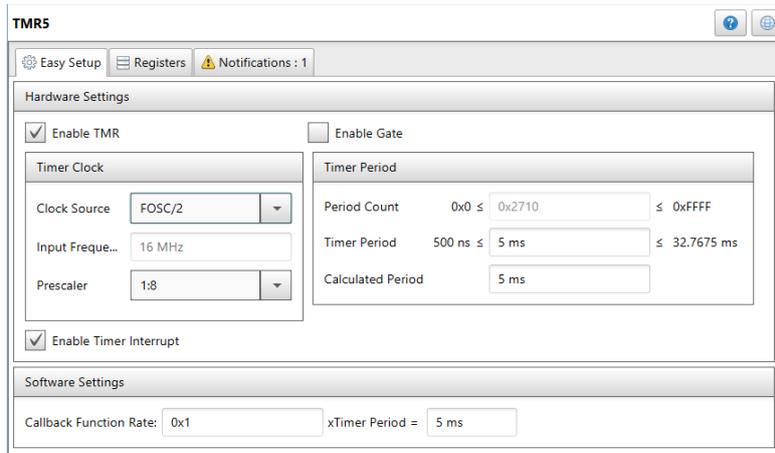


Fig. 136 Configuración del Timer5 con MCC

4.5.1.4 Interrupciones

De forma similar, se configuran las **interrupciones** provenientes de tres fuentes diferentes. Dos de ellas (INT0 e INT1) provienen desde el pulsador de puesta en marcha del motor, hacia arriba o hacia abajo. La interrupción restante (INT2), monitoriza el paso por cero de la onda de corriente alterna que alimenta el propio motor. En la Figura 129 se comprueba que se han dedicado los pines 72, 71 y 23 respectivamente.

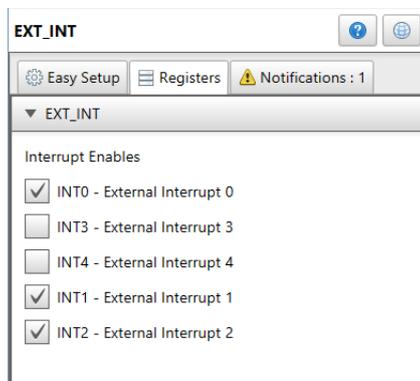


Fig. 137 Interrupciones 0, 1 y 2 habilitadas

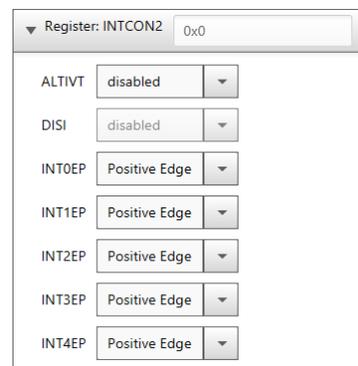


Fig. 138 Activación int. por flanco positivo

Para el uso del convertidos A/D hay que habilitar el ADC, establecer la fuente de reloj ($F_{osc}/2$), el número de ciclos de reloj para que se haga la conversión ($2 \cdot T_{CY}$). Con los datos proporcionados se calcula el T_{AD} , que es el periodo del convertidor. Por cada bit se usa $1T_{AD}$ más dos ciclos de reloj adicionales, es decir, $12T_{AD}$. La conversión se hace comparando con el nivel de masa AV_{SS} y se dispara con el Timer5. La salida se proporciona el formato digital, justificado a la derecha. Como referencias positiva y negativa de tensión se toman los valores de alimentación del micro, AV_{DD} y AV_{SS} . Queda habilitada la interrupción ADC, es decir, una vez esté completado el periodo de conversión, dispara un aviso.

ADC1 ? ⓘ

Easy Setup Registers Notifications : 1

▼ Hardware Settings

Enable ADC
 Enable Auto Sampling

ADC Clock

Conversion Clock Source: FOSC/2 ▼

Conversion Clock: 2 TCY

Acquisition Time: 12 TAD

TAD: 1.25E-7s

Differential Sampling: AVSS ▼

Conversion Trigger: TMR5 ▼

Output Format: Absolute decimal result, unsigned, right-justified ▼

Positive Voltage Ref: AVDD ▼

Negative Voltage Ref: AVSS ▼

Enable ADC Interrupt

Selected Channels

Channel	Custom Name	Scan Enable
	CHANNEL VBG/6	<input type="checkbox"/>
	CHANNEL VBG/2	<input type="checkbox"/>
	CHANNEL VBG	<input type="checkbox"/>
	CHANNEL VCAP	<input type="checkbox"/>
AN8	channel_AN8	<input checked="" type="checkbox"/>
	CHANNEL CTMU	<input type="checkbox"/>

Fig. 139 Configuración del convertidor A/D

CAPÍTULO 5. PROTOTIPO

El sistema, en su conjunto, se compone por la parte **mecánica** (marco y persiana), la **electrónica** (botones y placas de circuito impreso) y la **potencia** (el motor).

La parte mecánica se ha conseguido construir con materiales desechables de una carpintería metálica. Carece de ventana con cristal ya que es prescindible para el fin perseguido.

La parte electrónica, se diseña a propósito para este proyecto, íntegramente con unidades elementales. Se distinguen dos módulos, fabricados de manera que se monten superpuestos, unidos por torretas de plástico. De esta manera queda separado el circuito de potencia y control de la fuente de alimentación. Por un lado, se gana flexibilidad en mantenimiento y sustitución, y por otro, ocupa menos espacio en el lugar de alojamiento, típicamente reducido.

El trabajo personal se ha centrado en el desarrollo de los esquemas electrónicos, generación de las huellas de los componentes y rutado de las placas. Se pretende aumentar la experiencia con las herramientas EDA, conocer los límites personales y seguir las inquietudes de aprender y alcanzar nuevos horizontes.

5.1 Montaje

Una vez fabricados los paneles, se sigue con la etapa de montaje. Para el proceso de soldadura se emplea estaño libre de plomo con el fin de generar un producto más respetuoso con el medio ambiente y respetar el sello de cumplimiento de la normativa RoHS²¹ puesto en las PCBs.

La regla general es empezar montando los componentes de montaje superficial (SMD²²) pequeños y con cierto orden para evitar ángulos imposibles y terminar con los componentes de Agujero Pasante (TH²³) y de mayor volumen. También es recomendable montar bloques funcionales por separado para comprobar el correcto funcionamiento de cada parte y descartar fallos.

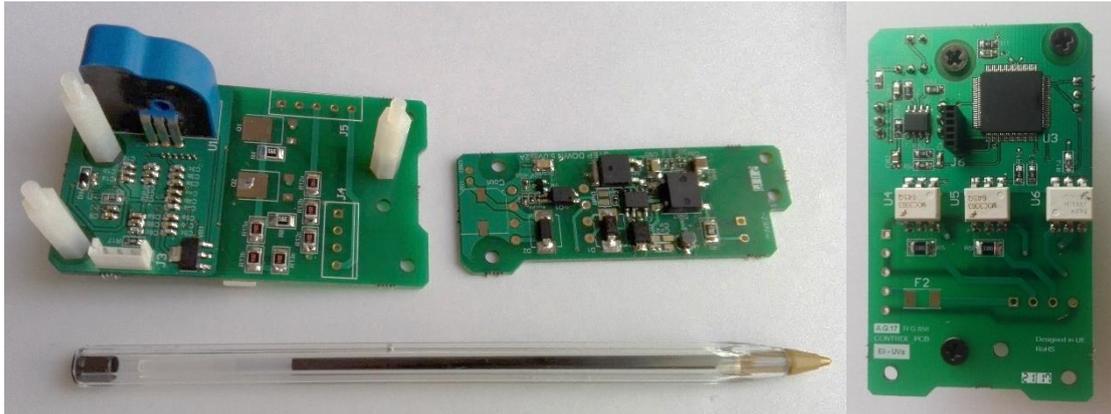


Fig. 140 Resultado parcial soldadura prototipo

En las Figura 139 se muestra un resultado parcial del trabajo de soldadura y montaje de los paneles.

En el proceso de montaje se debe hacer un puente con un cable entre los pines 3 y 4 del conector J5 pasándolo a través del túnel de medición del transductor de corriente. (Ver nota Anexo 1).

²¹ RoHS – *Restriction of Hazardous Substances* – Restricción de Sustancias Peligrosas

²² SMD – *Surface Mount Device* – Componentes de Montaje en Superficie.

²³ TH – *Trough Hole* – Agujero Pasante.

5.2 Resultados

En el montaje se han detectado varios fallos en el proyecto que imposibilitan la puesta en marcha del prototipo actual y el consiguiente testeo. A continuación, se nombran los problemas detectados.

- Huella errónea de los condensadores de entrada: C_{in} y C_{in2} . Un despiste a la hora de seleccionar el *footprint* en el esquemático.
- Rotura de stock del fusible F2 escogido en cualquiera de los almacenes de componentes electrónicos consultados.
- Falta del transformador T1. A consecuencia de necesitar un trabajo minucioso debido al hilo fino que hay que enrollar y el elevado número de vueltas, se decide abortar este paso. En un montaje industrial el fabricante entregaría el transformador bobinado según las especificaciones requeridas.

Como consecuencia el prototipo descrito queda sin probar.

CAPÍTULO 6. PRESUPUESTO

El cálculo del presupuesto es tarea difícil de realizar con precisión, ya que es casi imposible desglosar los gastos indirectos como los costes de investigación, alquiler de local, adquisición de herramienta, etc. En todo caso, el gasto directo, como el material tangible sí es posible cuantificar.

Se realiza valoración económica de los gastos directos ocasionados por este proyecto. En este concepto se incluye el BOM, estaño para soldadura, energía gastada en el proceso y mano de obra de desarrollo y montaje.

Partiendo del BOM del apartado [3.4 Lista de Materiales](#), en la Tabla 14 se detalla el gasto implícito para la fabricación de la placa de control por unidad.

Tabla 14 Desglose de gasto en materiales Placa de Control

Designator	Footprint	Quantity	PVP/ud	PVP
C1a, C2a, C3a, C4a, C5a, C6a, C7, C8, C9, Cs	CAPC-0603-1608M	10	0,005 €	0,05 €
C1b, C2b, C3b, C4b, C5b, C6b	CAPC-0603-1608M	6	0,015 €	0,09 €
C1c, C2c, C3c, C4c, C5c, C6c	CAPC-0603-1608M	6	0,018 €	0,11 €
CR1, CR2	CAPC-0805-2012M	2	0,024 €	0,05 €
D1	SM/D_SOD323	1	0,795 €	0,80 €
F2	SM/PTC-PPTC_2410	1	0,346 €	0,35 €
J2	CON 2 PIN, 2.54mm	1	0,136 €	0,14 €
J3	CON 3 PIN, 3.81mm DG	1	0,681 €	0,68 €
J4	CON 4 PIN, 3.81mm	1	0,832 €	0,83 €
J5	CON 5 PIN, 3.81mm	1	1,046 €	1,05 €
J6	CON 6 PIN, 1.27mm	1	0,770 €	0,77 €
Q1, Q2	SM/_DPAK TO252 GDS	2	1,860 €	3,72 €
R1, R3, R17, RA1, RA2, RC1, Rs	SM/RLC_0805-2012	7	0,014 €	0,10 €
R2	SM/RLC_0805-2012	1	0,007 €	0,01 €
R4, R8	SM/RLC_1210-3225	2	0,148 €	0,30 €
R5, R9	SM/RLC_1210-3225	2	0,140 €	0,28 €
R6, R10	SM/RLC_0805-2012	2	0,017 €	0,03 €
R12a, R12b, R12c, R13a, R13b, R13c	SM/RLC_1210-3225	6	0,203 €	1,22 €
R14	SM/RLC_0805-2012	1	0,006 €	0,01 €
R15	SM/RLC_0805-2012	1	0,007 €	0,01 €
R16	SM/RLC_0805-2012	1	0,019 €	0,02 €
RC2	SM/RLC_0805-2012	1	0,030 €	0,03 €
U1	LTS xx-NP	1	13,440 €	13,44 €
U2	D008_L	1	0,210 €	0,21 €
U3	TQFP-100 12x12x2	1	8,660 €	8,66 €
U4, U5	MOC3061SM	2	1,010 €	2,02 €
U6	MOC3061SM	1	0,438 €	0,44 €
VR1	SOT223_L	1	0,906 €	0,91 €
	TOTAL	64		36,29 €

En la Tabla 15 se muestran los precios por cada componente de la placa de la fuente conmutada a fecha 21/05/2017. El proveedor principal es Farnell/element14 debido a los precios más ajustados. En algún caso, por falta de producto/existencias, se proporciona precio de DigiKey (Cin, Cin2) y Mouser (T1-Ferrita).

Tabla 15 BOM Fuente de Alimentación valorado

Designator	Footprint	Quantity	PVP/UD	PVP
Ccomp1	CAPC-1210-3225M	1	0,069 €	0,07 €
Cdd	CAPC-1210-3225M	1	0,457 €	0,46 €
Cfb3	CAPC-1210-3225M	1	0,026 €	0,03 €
Cin, Cin2	SM/T_A	2	1,200 €	2,40 €
Cout	CAP_F12	1	1,000 €	1,00 €
D1	SM/DO214AB	1	0,305 €	0,31 €
D2	SM/DO214AC	1	0,401 €	0,40 €
Dac1	SM/D_DFS	1	0,613 €	0,61 €
Dvdd	SM/D_0805	1	0,146 €	0,15 €
Dz	SM/DO214AA	1	0,306 €	0,31 €
J1	CON 2 PIN, 3.81mm DG	1	0,428 €	0,43 €
J2	CON 2 PIN, 2.54mm	1	0,136 €	0,14 €
L1	SM/L_SDR0302-xxxL	1	0,403 €	0,40 €
M1	SM/_DPAK TO252 GDS	1	0,755 €	0,76 €
O1	SSOP-4 250	1	1,890 €	1,89 €
Rcs	SM/RLC_0402-1005	1	0,042 €	0,04 €
Rdd	SM/RLC_0603-1608	1	0,009 €	0,01 €
Rfb3	SM/RLC_0402-1005	1	0,010 €	0,01 €
Rfb4	SM/RLC_0402-1005	1	0,009 €	0,01 €
Rfbb	SM/RLC_0603-1608	1	0,022 €	0,02 €
Rfbt	SM/RLC_0402-1005	1	0,023 €	0,02 €
RI	SM/RLC_1210-3225	1	0,010 €	0,01 €
Rlc	SM/RLC_0402-1005	1	0,023 €	0,02 €
Ropt	SM/RLC_0402-1005	1	0,017 €	0,02 €
Rs1	SM/RLC_0402-1005	1	0,023 €	0,02 €
Rs2	SM/RLC_0402-1005	1	0,025 €	0,03 €
Rtl	SM/RLC_0402-1005	1	0,003 €	0,00 €
T1	B66308	1	0,321 €	0,32 €
		1	1,050 €	1,05 €
U1	R-PDSO-G8	1	1,030 €	1,03 €
VR	SM/SOT23_123	1	0,037 €	0,04 €
	TOTAL	32		11,99 €

El montante de los componentes que hay que soldar en la PCB de la fuente ascienden a 11.99€/Ud. y los de la placa de control ascienden a 36.29€/Ud. El

actual valor se puede mejorar para compras de producción elevada con una estimación de reducción de al menos un 25-30%.

Los gastos directos implícitos del proyecto se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16 Desglose honorarios profesionales

CONCEPTO	CANTIDAD	PVP/Ud	PVP
Desarrollo	190h	7.80€ ²⁴	1482.00€
Fabricación	80h	7.80€	624.00€
	Suma		2106.00€
	I.V.A.	21%	442.26€
	TOTAL		2548.26€

Tabla 17 Desglose gastos directos

CONCEPTO	CANTIDAD	PVP/Ud	PVP
Componentes fuente	1	11.99€	11.99€
Componentes control	1	36.29€	36.29€
	Suma		48.28€
	I.V.A.	21%	10.14€
	TOTAL		58.54€

Nota: El actual presupuesto no incluye gastos indirectos propios de un proceso de fabricación dado que se han de calcular según una infraestructura conocida.

²⁴ Coste por hora fijado según convenio de ingeniería industrial. Diplomados y titulados 1^{er} ciclo universitario - 17.544,24€/año según BOE-A-2017-542.

CAPÍTULO 7. MANUAL DE USUARIO

7.1 Contenido de la caja

Gracia por confiar en nuestro producto.

Esta caja contiene los siguientes elementos necesarios para la automatización de una persiana o toldo:

- ✓ Automatismo de control para motores de persianas/toldos con función de **detección de obstáculos**.
- ✓ Tornillos de sujeción

No está incluida la persiana/toldo, botonera de accionamiento ni el motor eléctrico.

7.2 Advertencias y precauciones de seguridad

7.2.1 Advertencias de seguridad

¡ATENCIÓN! – Es importante respetar estas instrucciones para garantizar la seguridad de las personas. Una instalación incorrecta puede provocar heridas graves a las personas. Por lo tanto, antes de comenzar a trabajar es necesario leer detenidamente todas las partes del manual y, si tuviera dudas, solicitar explicaciones al Servicio Técnico especializado.

¡ATENCIÓN! – Instrucciones importantes para la seguridad; conserve estas instrucciones. Guarde este manual para cuando deba llevar a cabo los trabajos de mantenimiento o cuando deba eliminar el producto.



Atención riesgo eléctrico. Asegure la desconexión del aparato de la red eléctrica antes de su manipulación

No golpear.



No perforar.

No forzar.

Mantenga alejado de la humedad o fuentes de agua.

Todas las operaciones de instalación, conexión, programación y mantenimiento del producto deben ser llevadas a cabo exclusivamente por un técnico cualificado y competente, respetando las leyes, normativas y reglas locales y las instrucciones dadas en este manual.

Todas las operaciones de instalación y mantenimiento del producto deben ser llevadas a cabo con el automatismo desconectado de la alimentación eléctrica. Por motivos de precaución, cuelgue del dispositivo de desconexión un cartel que indique “¡ATENCIÓN! MANTENIMIENTO EJECUTÁNDOSE”.

Durante la instalación manipule con cuidado el producto: trate de evitar aplastamientos, golpes, caídas o contactos con cualquier líquido; no introduzca objetos puntiagudos en la envolvente; no coloque el producto cerca de fuentes de calor y no lo exponga al fuego. Esto podría averiar el producto y provocar desperfectos de funcionamiento o situaciones peligrosas.

Desmonte el producto únicamente como indicado en este manual.

No realice modificaciones en ninguna pieza del producto, salvo aquellas indicadas en este manual. Las operaciones no permitidas pueden provocar desperfectos de funcionamiento. El fabricante no se asumirá ninguna responsabilidad por daños originados por modificaciones arbitrarias hechas al producto.

El producto está preparado para ser instalado en interiores. Si se va a instalar en exteriores, asegure que el producto no quedará expuesto a la lluvia o a la humedad.

Si el cable de alimentación estuviera averiado, el producto no podrá ser utilizado hasta que el cable sea sustituido.

Durante la instalación, mantenga las personas lejos de la persiana cuando esté en movimiento.

El material de embalaje del producto debe eliminarse respetando la normativa local.

7.2.2 Advertencias para el uso

No permita que los niños jueguen con los dispositivos de mando fijos.

Tenga cuidado con el elemento enrollable mientras se mueve y manténgase alejado hasta que concluya su movimiento.

Cuando limpie los vidrios cerca del automatismo, no accione los dispositivos de mando; si dichos dispositivos son automáticos, desconecte la alimentación eléctrica.

Examine a menudo el automatismo para comprobar si está desequilibrado o desgastado o si los cables están dañados. No utilice el automatismo si necesitara ser regulado o reparado; contacte exclusivamente con personal especializado para solucionar estos problemas.

7.3 Descripción del producto y uso previsto

El producto es un dispositivo de control destinado a la automatización de una persiana o un toldo solar. La lógica programada está pensada para encender o apagar un motor tubular de inducción debidamente conectado. ¡Cualquier otro uso está prohibido! El fabricante no responde de los daños que pudieran surgir por un uso inadecuado del producto y diferente de aquel previsto en este manual.

Las características del producto son las siguientes:

- la alimentación es mediante la red eléctrica de 230V;
- los movimientos de Subida y Bajada de la persiana/toldo se activan con botones de pared (no incluidos en este producto);

- el automatismo de control se instala en el interior del bastidor de la persiana quedando protegido de filtraciones de agua desde el exterior y alejado de los elementos móviles. Se recomienda colocar el producto cerca de los botones de mando.
- El producto puede fijarse a una superficie con los tornillos de sujeción incluidos.
- El producto se puede utilizar con cualquier motor de alterna con un máximo de 16 Amperios de consumo nominal.
- el producto ha sido diseñado para uso residencial y, por lo tanto, para un uso discontinuo. Consulte el tiempo continuado máximo de uso del motor.
- Incorpora un circuito lógico que almacena las variables de funcionamiento normal del mecanismo (persiana o toldo) y detiene el movimiento en caso de un funcionamiento anómalo.
- Cuando un obstáculo (un objeto, una persona etc.) o una fricción fuerte (formación de hielo, dilatación de los materiales, etc.) frena la carrera de la persiana, el automatismo detecta el sobreconsumo del motor y bloquea de inmediato la maniobra y ejecuta una breve inversión. Cuando interviene dicha función se recomienda hacer las siguientes maniobras:
 - si la interrupción de la maniobra ha sido causada por la presencia de un obstáculo concreto y detectable, quite el obstáculo y accione una maniobra contraria a aquella en ejecución;
 - Si la interrupción de la maniobra no ha sido causada por ningún obstáculo aparente, accione de nuevo la misma maniobra que se estaba ejecutando.
- Respetando estas indicaciones la función se regulará automáticamente y se activará sólo en las situaciones peligrosas reales.

7.4 Instalación del producto

7.4.1 Instalación del motor tubular

Realizar la instalación del motor tubular siguiendo las instrucciones que aporte el fabricante. Tenga en cuenta que la instalación incorrecta del motor puede provocar heridas graves.

7.4.2 Instalación del controlador

La envolvente del mecanismo de control se debe sujetar con elementos de sujeción de manera segura. Puede utilizar los tornillos proporcionados aptos para superficie de madera o PVC, o emplear otros adecuados a la superficie de apoyo.

- Sitúe el producto en el lado de la persiana enrollable donde se encuentran el cable eléctrico del motor tubular y el cable de alimentación que proviene de la red eléctrica.
- Sitúe el producto en un lugar cercano a la botonera.

7.5 Conexiones eléctricas

Realice las conexiones según las siguientes indicaciones.

7.5.1 Botonera de pared – Control

Advertencias:

- Sitúe la botonera de manera que se vea en la persiana enrollable pero lejos de sus partes en movimiento.
- Sitúe la botonera en el lado de la persiana enrollable donde se encuentran el cable eléctrico del motor tubular y el cable de alimentación que proviene de la red eléctrica.
- Sitúe los pulsadores a una altura de más de 1,5 m desde el suelo.

Conecte los hilos de la botonera al conector **J3** llamado “**BOTONERA**”. Hacer coincidir los hilos con las indicaciones siguientes:

- **UP** – botón hacia arriba.
- **C** – hilo común de alimentación.
- **DN** – botón hacia abajo.

7.5.2 Motor – Control

Conecte los hilos del motor al conector **J4** llamado “**MOTOR**” haciendo coincidir las indicaciones con los hilos correspondientes. Compruebe el código de colores utilizado por el fabricante del motor.

- **N** = Neutro.
- **UP** = Fase eléctrica de subida.
- **DN** = Fase eléctrica de bajada.
- **T** = Tierra (conexión equipotencial de protección).

7.5.3 Control – Red eléctrica

¡Atención!

- Una conexión incorrecta puede provocar averías o situaciones de peligro; por tanto, respete rigurosamente las instrucciones recogidas en esta sección.
- Recuerde trabajar sin tensión en los hilos.

Por último, conecte los hilos de alimentación al conector **J5** llamado “**RED**”. Hacer coincidir los hilos con las indicaciones siguientes:

- **T** – Tierra (conexión equipotencial de protección).
- **N** – Neutro.
- **F** – Fase.
- **P** – Extremo A del puente.
- **P** – Extremo B del puente.

Entre los dos contactos llamados ‘**P**’ y ‘**P**’ hay que conectar un hilo que se hace pasar por el aro del elemento sensor incluido en la propia placa. Se trata de un puente eléctrico que, si no está conectado, el circuito no está alimentado y no puede funcionar. También es el hilo en el que se monitoriza el gasto de energía del sistema.

7.6 Puesta en marcha

Para la puesta en marcha, asegurar que las uniones eléctricas están debidamente aisladas.

Conectar las alimentaciones eléctricas.

Presionar los pulsadores para comprobar que el sentido de giro es el correcto.

7.6.1 Combinación de los movimientos de Subida y Bajada

Al concluir las conexiones, alimente el motor y controle si los movimientos de Subida y Bajada están combinados correctamente con los botones de mando respectivos. Si así no fuera, cambiar los hilos UP y DN del conector J4.

7.6.2 Maniobra de aprendizaje

Inmediatamente después de comprobar el correcto funcionamiento del motor, se debe efectuar el siguiente proceso de aprendizaje del recorrido.

- 1) Desplace la persiana/toldo hasta uno de los extremos del recorrido, hacia abajo, por ejemplo. El motor se parará por el accionamiento del final de carrera inferior.
- 2) Presione el botón hacia abajo durante más de 5 segundos estando en el extremo inferior.
- 3) A continuación, presione brevemente el botón hacia arriba y espere a concluir el movimiento hasta detectar el final de carrera superior. Tenga en cuenta que el sistema no podrá detectar una situación de riesgo en este estado.
- 4) Pulse el botón hacia arriba durante más de 5 segundos estando en el extremo superior.
- 5) Presione brevemente el botón hacia abajo y espere a alcanzar la posición inferior. Tenga en cuenta que el sistema no podrá detectar una situación de riesgo en este estado.

Con estos simples pasos la lógica ha aprendido la curva de esfuerzos en sentido ascendente y descendente. Vuelva a repetir el proceso si la persiana presenta comportamiento anómalo después de un tiempo prolongado sin uso. Puede usar una configuración parcial usando solamente los pasos 2) y 3) para sentido ascendente o 4) y 5) para sentido descendente.

7.6.3 Maniobra habitual

Presione brevemente el botón hacia arriba para iniciar el desplazamiento ascendente del cerramiento.

Detenga el movimiento presionando nuevamente el mismo botón.

Invierta el movimiento presionando el botón contrario.

Tabla 18 Resumen de comandos y acciones asociadas

Estado inicial	Comando	Acción
STOP	▲	Mover hacia arriba
▲	▲	Detener movimiento ascendente
STOP	▼	Mover hacia abajo
▼	▼	Detener movimiento descendente
▲	▼	Invertir movimiento ascendente
▼	▲	Invertir movimiento descendente

7.7 Eliminación del producto

Este producto forma parte integrante del automatismo y, por consiguiente, deberá ser eliminado junto con éste.

Al igual que para las operaciones de instalación, también al final de la vida útil de este producto las operaciones de desguace deberán ser llevadas a cabo por personal experto. Este producto está formado de varios tipos de materiales: algunos podrán ser reciclados y otros deberán ser eliminados. Infórmese sobre los sistemas de reciclaje o de eliminación previstos por las normativas vigentes locales para esta categoría de producto.

¡Atención! – algunas piezas del producto pueden contener sustancias contaminantes o peligrosas que, si se las abandonara en el medio ambiente, podrían provocar efectos perjudiciales para el mismo medio ambiente y para la salud humana. Tal como indicado por el símbolo, está prohibido arrojar este producto en los residuos urbanos. Realice la “recogida selectiva” para la eliminación, según los métodos previstos por las normativas vigentes locales, o bien entregue el producto al vendedor cuando compre un nuevo producto equivalente.



¡Atención! – las normas locales vigentes pueden prever sanciones importantes en el caso de eliminación abusiva de este producto.

7.8 Guía para solucionar problemas

El motor no se mueve a pesar de que esté alimentada una fase de Subida o Bajada:

- 1) podría haberse desconectado la protección térmica; en dicho caso hay que esperar a que el motor se enfríe.
- 2) controle que haya tensión de red y si ésta corresponde a los valores indicados en la placa de características del motor;
- 3) controle si los dos fines de carrera se activan contemporáneamente debido a una regulación incorrecta; en este caso, gire los dos tornillos de regulación algunas vueltas hacia la dirección del signo “+”. Si después de estos controles el motor no se mueve, contacte con un técnico cualificado.

7.9 Características técnicas

- Tensión de alimentación: 230Vac
- Frecuencia: 50
- Grado de protección: IP 30.
- Temperatura de funcionamiento: - 20°C a +85°C.

CAPÍTULO 8. RESPONSABILIDAD SOCIAL

En el apartado de Responsabilidad Social, se intenta proyectar la imagen del efecto que tiene la fabricación industrial sobre las personas; el personal en contacto de manera directa o indirecta con el producto final y nombrar brevemente las problemáticas derivadas de la industria electrónica.

8.1 Extracción

El primer problema social de envergadura ligado a la fabricación de aparatos electrónicos ocurre en la etapa de extracción. En países subdesarrollados productores del mineral, el trabajo infantil, la explotación laboral y las violaciones de mujeres, niños y niñas, están directamente vinculados con los componentes incluidos en la gran mayoría de placas, con seguridad la diseñada aquí, en este proyecto, también. Hablo de la República del Congo. Un gigante exportador africano para una de las industrias más lucrativas que existen, no es capaz de salir de la pobreza ni de resolver sus problemas surgidos en el preciso instante cuando se empezaron a explotar los recursos subterráneos de la zona. Décadas de guerra que se ha cobrado más vidas que la segunda guerra mundial, alimentada por un único interés, el coltan. La situación se repite en la extracción del cobre, metal usado para las pistas y cables de conexión.

8.2 Transporte

El transporte de los recursos es uno de los motivos del encarecimiento del producto final. En la industria electrónica, esta etapa puede suponer menor impacto que en la metalurgia, pero la connotación social es muy importante. La globalización de los procesos industriales de fabricación ha conseguido desplazar los recursos desde las minas de África a plantas de procesamiento en Asia y Europa con un planteamiento masivamente erróneo, alejando el beneficio de los lugares más desfavorecidos impidiendo el desarrollo equitativo de las naciones. Por otro lado, transportar los materiales de un mercado a otro, posibilita a unos pocos intermediarios a revalorar la mercancía, generando un beneficio desorbitado que en ningún caso beneficia al conjunto.

Finalmente, los contenedores cargados de materia prima saliendo de las zonas mineras, vuelven cargados de productos inutilizables que se convierten en desechos tóxicos de los que nadie se responsabiliza.

8.3 Fabricación

En los procesos de fabricación de los componentes electrónicos es necesaria una limpieza absoluta. Actualmente, la tecnología permite fabricación de puertas lógicas del orden de decenas de nanómetros de tamaño, con lo cual cualquier mota de polvo estropearía el producto. Si bien la limpieza de las instalaciones es muy importante para estas empresas, la salud de sus trabajadores no parece lo mismo ya que los trajes protegen a los procesos, pero no al obrero de los químicos corrosivos y gases emitidos.

La fabricación de las placas de circuito impreso requiere ataques ácidos fuertes y los productos secundarios son muy contaminantes, pero las empresas se

trasladan a países con legislaciones laxas para ahorrarse costes de tratamiento, a cambio de poder seguir contaminando y destruir la calidad de vida de los habitantes locales.

8.4 Montaje

Son conocidas las condiciones laborales en las líneas de montaje de los móviles en países como China, Camboya, Tailandia, etc. Jornadas infinitas respirando gases nocivos del proceso reciente de fabricación en una postura incómoda y en las pocas declaraciones, los encargados de las instalaciones afirman que los trabajadores prefieren trabajar a descansar. Estas empresas aceptarían un encargo para realizar el montaje de mi placa a un precio muy por debajo del que pediría una empresa local o europea.

8.5 Servicio

En la etapa de servicio, el aparato que acabamos de fabricar y montar, llega a las casas de los compradores, realizan la instalación y mejoran su seguridad y confort. Se podría decir que es la etapa que menos afecta a la seguridad de las personas, pero no está exenta. Las posturas incómodas han surgido con la tecnología ...

8.6 Desuso

Una vez que el aparato se estropea, la mayoría de las veces se convierte en un incordio, ya que hay que llevarlo al punto limpio autorizado. Si bien el viaje a la tienda no se cuestiona, al punto limpio parece una inversión prescindible y muchos de los aparatos acaban rodando alrededor de los cubos de basura convencionales.

8.7 Reutilización

El paso de reutilizar un artículo hoy en día, en la sociedad europea en general y española en particular, parece un hábito del pasado no visto con buenos ojos por la mayoría debido a varios factores. Por un lado, posiblemente el diseño específico del aparato no permita darle otros usos razonables. Por otro lado, el mercado, seguramente, ya no ofrezca piezas de repuesto para un posible fallo o simplemente ya esté “pasado de moda” como para seguir teniéndolo a la vista.

8.8 Reciclado

Es el trabajo de deshacer el proceso de montaje y fabricación, pero con el agravante económico, puesto que, para hacerlo de la mejor forma posible, sería más caro que la fabricación. La solución más recurrida es declarar la mercancía desechable como material de segunda mano y exportarla a campos abiertos en países alejados, paradójicamente los mismos que sufren los estragos de la extracción o fabricación.

8.9 Legislación

Debido al gran interés por parte de las compañías implicadas de que las cosas sigan igual, no hay ninguna legislación con suficiente fuerza como para poder influir en decisiones organizativas o que puedan cesar cualquiera de los procedimientos descritos anteriormente. Vivimos en la época de la destrucción continua de los ecosistemas a cambio de ceros en las cuentas de unos pocos.

La responsabilidad social es, a mi entender, seleccionar los componentes procedentes de fuentes que no usen mano de obra infantil en las minas y que proporcione seguridad a sus empleados, que no vengan de una zona de conflicto bélico provocado por las explotaciones, que no se hayan hecho en una fábrica que vierte sus residuos en ríos colindantes, pero... Si la única herramienta que está en mis manos es el precio del componente ¿debería seleccionar el barato como siempre lo he hecho o es que hay otra alternativa que desconozco?

La frívola respuesta es que no hay alternativa de momento. Todas las marcas visten el mismo color de chaqueta y no es fácil diferenciarlas sin un trabajo exhaustivo de investigación que lo destape. Echo en falta un organismo mundial imparcial que avale la procedencia de la materia prima, que se clausuren esas fuentes en situación de conflicto, que se corten las vías de escape del mineral de sangre que pasado por países asiáticos llegan a occidente en paños de oro. Echo en falta una responsabilidad por parte de todas las empresas implicadas de ofrecer un producto a sus hijos que respete a esos niños, sean de Congo, sean de Vietnam o sean de España.

CAPÍTULO 9. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Se decide incluir una valoración ambiental de este proyecto solo de tipo orientativo ya que no se ha tomado ninguna medida y se desconoce el alcance real de las acciones de fabricación de esta unidad en concreto. Sin embargo, insisto en proporcionar una idea de los aspectos negativos del uso de los productos necesarios para convertir en realidad esta placa y las posibles repeticiones en un hipotético caso de conversión en un producto comercial.

Aunque la electrónica se ve, generalmente, como una industria limpia, en parte por la proyección dada al público por parte de las grandes empresas del sector, siempre ha estado escondiendo graves fallos en contra del medio ambiente. Actualmente, el esfuerzo de reducir la cantidad de desechos tóxicos se ve dificultada por otros conceptos como la obsolescencia programada. La problemática es compleja y merece ser estudiada por organismos imparciales que a su vez propongan soluciones que sean capaces de poner en marcha. Siendo sinceros, esfuerzos no faltan, pero sobran intereses por seguir haciendo las cosas como siempre: escurrir el bulto y sacar grandes beneficios.

Sin necesidad de entrar en cuestiones irresolubles desde las páginas de este proyecto de final de carrera, expongo, desde el conocimiento propio, los orígenes del problema y la parte que le corresponde a este proyecto.

La enorme velocidad de cambio de los productos electrónicos (entiéndase teléfonos móviles, ordenadores y televisiones, por reducir al mínimo las ideas) que, sumado a la necesidad imperiosa de llevar un dispositivo de última generación, convierte un equipo nuevo en basura en menos de un año con demasiada frecuencia. El dato que proporciona 'Greenpeace' es que la vida útil de los ordenadores en 1997 era de 6 años, en 2005 solamente 2 años.

Las nuevas tecnologías se han popularizado tanto y el beneficio es innegable. Con la ayuda de drones y sensores de humedad, se aumenta la producción de las cosechas, obteniendo un mayor beneficio determinando de manera precisa el momento de la recolecta. Por otro lado, los contenedores llenos de desperdicios electrónicos llegan a territorios lejanos a pesar de estar prohibido por leyes internacionales la exportación de residuos. Los comerciantes utilizan un truco sencillo, declarar la mercancía como material de segunda mano. El resultado es devastador. Calles llenas de televisores que no funcionan vendidos a precios de ganga en lugares donde falta comida en gran parte de los hogares. La situación empeora cuando jóvenes y niños intentan extraer los metales preciosos de las placas quemando los plásticos de alrededor. Es evidente que el panorama se salda con múltiples cánceres debido a la contaminación de aguas, aire y suelo en un sistema donde la sanidad es casi inexistente (La tragedia electrónica, RTVE, 2014).



Intentando borrar la triste imagen; ¿Qué puedo hacer yo como futuro profesional para mejorar la situación?

Intentando dar respuesta a esta pregunta y sentir que hago algo más que comparar el mejor precio a la hora de comprar en las habituales tiendas on-line, he entendido que es trabajo difícil, pero no imposible.

Los fabricantes anuncian en la hoja de datos el cumplimiento de las normativas vigentes como la RoHS que en el Real Decreto 2003/108 queda prohibido el uso de materiales como Plomo, Mercurio, Cadmio, Cromo hexavalente y otros. Cierto. Si los fabricantes cumplen, yo como simple comprador, confío. Entonces – sigo comparando precios.

La directiva europea 2012/19/CE intenta ayudar. Se titula “sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos” y exige que a partir de 2016 se consiga un índice de recogida del 45% de los RAEE²⁵ y en 2019 el 65%. También pone restricciones a las exportaciones. Se publicó en 2012, en 2017 seguimos leyendo noticias vergonzosas de sobornos en fronteras de China o Ghana (o cualquier punto del mundo) para pasar los contenedores repletos. ¿Qué falla?

El mercado CE (Conformidad Europea) obliga a fabricantes e importadores a cumplir con las directivas comunitarias. Entonces, debería ser imposible encontrar en territorio europeo un producto que haya pasado los controles pertinentes a partir de 1997 que incumpla la normativa. ¿Confiamos?

Los puntos de recogida, llamados “limpios”, cumplen su propósito. Separan los residuos por categorías, los cargan en camiones y se les pierde la pista.

Intuyo una falta de responsabilidad a nivel personal y profesional por parte de los actores de alto nivel; los políticos. No hay más comentarios al respecto.

Por otra parte, conozco de primera mano la falta de responsabilidad por parte de cada usuario de esta tecnología. Es habitual encontrarse con equipos eléctricos y/o electrónicos cerca de los contenedores de basura convencional. Fue mi vecino, mi familia; he sido yo. Pero – reconocer la culpa no soluciona el problema. ¿Sanciones?

En definitiva, es un debate envergadura. Están implicados todos los ciudadanos, incluidos los muy pocos que no usan la tecnología directamente. Hemos de cambiar la forma de pensar. Reducir la inversión en aparatos nuevos, reparar los antiguos, incluso aprender a vivir sin tanto artificio. Imagino que la tecnología sigue siendo la que sirve a la sociedad; ¿o es al revés?

Ciertamente, soluciones se proponen, pero el dinero siempre tiene una ponderación mayor. El ser humano es autodestructivo y lo sigue demostrando. La herencia a futuras generaciones es desalentadora: recursos mineros hiper-explotados, subsuelos contaminados y un amago de pequeñas soluciones.

“No puede haber grandes dificultades cuando abunda la buena voluntad.”

Maquiavelo

Cambiamos.

²⁵ Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

9.1 Aplicaciones prácticas

A continuación, se enumeran algunas prácticas utilizadas con el fin de reducir el impacto ambiental de este producto en concreto: el control de cerramientos sin finales de carrera. Pueden servir, y eso se pretende, para otros iniciados en este campo.

1. Estaño sin plomo. Es uno de los puntos a corregir en la práctica de soldadura manual; sin embargo, es mucho más difícil el proceso y requiero habilidad dado que el estaño puro funde a mayor temperatura mientras las aleaciones con plomo por un lado rebajan la temperatura de fusión, y por otro, mejoran el comportamiento de la gota líquida. El prototipo se ha soldado con estaño con plomo después de iterados intentos en contra.
2. Minerales primarios de origen conocido. Es importante emplear componentes 'libres de sangre' con el fin de perseguir la desaparición de los minerales de conflicto. En este aspecto, no se ha podido encontrar una estrategia para discriminar las fuentes ya que los fabricantes no están obligados a proporcionar esta información.
3. Materiales de calidad. Tanto para lo puramente electrónico como para las partes susceptibles de desgaste (como pueda ser la caja envoltorio) usar materiales de calidad con el fin de combatir la obsolescencia programada o abandono prematuro del producto por un aspecto desgastado. En este caso, el producto está definido para funcionar indefinidamente, sin trampas de fallo después de un número de ciclos. Evidentemente, el fin de vida lo marcará el fallo del primer componente y es obvio que, en el instante inicial (el actual), se desconoce este comportamiento.
4. Diseños compactos. Realizar diseños compactos de los paneles posibilitará usar menos materias por el simple hecho de conseguir un producto reducido. En esta ocasión, se ha conseguido enfrentar las dos placas de circuito impreso, con lo cual se reduce el volumen que ocupan y puede entrar en un menor espacio.
5. Diseñar para reciclar. Con la idea de hacer más fácil la tarea de reciclado, hacer un diseño que haga sencilla la separación de los diferentes tipos de materiales empleados. Por ejemplo, se evita sujetar con tornillos la electrónica a la carcasa, así se ahorra y facilita la separación final del plástico de la parte electrónica. También se puede mecanizar caja y/o placa para que encajen y queden sujetas entre si con un número limitado de elementos.

CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES

Se ha conseguido crear un soporte hardware compacto para el control de cerramientos con alto potencial de adaptación a diferentes motores y cargas mecánicas. El diseño realizado en dos placas facilita el mantenimiento y aumenta la vida útil del producto reduciendo el impacto ambiental de los RAEE. Igualmente posibilita la evolución del prototipo por partes, según necesidades.

Como conclusión general, he de mencionar el gran aporte que supone, a nivel personal, la realización de un proyecto empezando con una simple idea. La búsqueda de soluciones es la mayor fuente de conocimientos. La realización del Trabajo Fin de Grado ha sido una de las experiencias más productivas de los estudios universitarios. Un problema bien definido y la dificultad residía en descubrir la solución óptima de las múltiples posibilidades avalada por el bagaje de conocimientos adquiridos.

He aprendido que no existen problemas sin solución y que, para resolverlos, solo hay que intentarlo.

Este trabajo me ha aportado un aumento de confianza en la capacidad de resolución de problemas de cualquier índole incluida la profesional. He aumentado la experiencia en el campo del diseño electrónico. He podido reforzar la iniciativa de resolución, análisis de situaciones, discriminación de soluciones y puesta en marcha de las ideas.

Sin embargo, no resultó fácil. En el proceso encontré dificultades como la incompatibilidad del microcontrolador inicialmente seleccionado con el MCC lo que me obligó a cambiarlo y volver a empezar el estudio del nuevo. El aprendizaje en el campo de la programación de los dispositivos lógicos ha sido uno de los mayores retos ya que se partía sin conocimientos previos de las asignaturas cursadas. Éste último punto de los objetivos iniciales queda sin resolver.

10.1 Propuestas de mejora

En la fase de prototipado se ha tomado nota de mejoras interesantes para una siguiente versión del control de cerramientos sin finales de carrera que se describen a continuación.

- Actualizar la huella de C_{in} y C_{in2} .
- Cambiar el fusible F2 si vuelve a tener problemas de disponibilidad o se llega a descatalogar.
- Valorar colocar un radiador en los elementos de potencia (Q1 y Q2) y aumentar la distancia de seguridad.

- AMIGO GROUP. [Publicación web]. 2015. *Моторизация жалюзи Amigo®*. [Consulta: 19 de diciembre de 2017]. Disponible en: http://amigo.ru/files/Motory_amigo.pdf
- AUTOMATISMO INSUSTRIAL [sitio web]. El fusible. [Consulta: 22 de Abril de 2017] <https://automatismoindustrial.com/3-1-4-el-fusible/>
- BAKER, B. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2002. AN699 Anti-Aliasing, Analog Filters for Data Acquisition Systems. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00699b.pdf>
- BENINGO J., 10 Steps to Selecting a Microcontroller [en línea]. 2013. [Consulta: 24 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.edn.com/electrical-engineer-community/industry-blog/4411480/1/10-steps-to-selecting-a-microcontroller>
- BLOG IKOR. [Sitio web]. Las normas ambientales que afectan al montaje electrónico [Consulta: 6 de mayo de 2017] <http://blog.ikor.es/es/las-normas-ambientales-que-afectan-al-montaje-electronico/>
- BUENO A. *Electrónica Básica. La Fuente de Alimentación*. [sitio web] http://www.indibaamparooltra.com/Toni/web_electronica_3/electronica_indice.html
- CIRCUITOS IMPRESOS 2CI. [Sitio web]. 2015. Recomendaciones y capacidades técnicas [Consulta: 20 de febrero 2017] <http://www.2cisa.com/recomendaciones-y-capacidades-tecnicas/#mecanizados-especiales>
- CLIMAPLAS [Publicación web]. Catálogo – Guía de compactos y persianas. 2005. [Consulta: 21 de septiembre 2016]. Disponible en: http://www.climaplas.es/productos/alulux_persianas.pdf
- CULTURA Y CONSTUMBRES [Sitio web]. 2009. Esta vez persianas. [Consulta: 8 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://www.spaniards.es/foros/cultura-y-costumbres/esta-vez-persianas>
- DÍEZ MUÑOZ, P.L. (2004) Guía del usuario del microcontrolador PIC 16F87X.
- EEP - Electrical Engineering Portal. [Sitio web]. 2016. 5 Steps to choose best motor for your application. [Consulta: 18 de febrero de 2017] <http://electrical-engineering-portal.com/5-steps-to-choose-best-motor-for-your-application> Autor: Edvard Csanyi. Publicado 3 Dic 2011.
- ENCICLOPEDIA DE CLASIFICACIONES [Sitio web]. 2016. Tipos de persianas. [Consulta: 21 de junio 2016]. Disponible en: <http://www.tiposde.org/cotidianos/706-persianas/>
- JACOTT M. 2005. [Publicación web]. Tóxicos en la industria electrónica. [Consulta: 3 de junio 2017] <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2006/1/el-lado-oscuro-de-la-industria.pdf>
- LOS ESTORES [Sitio web]. 2015. ¿Conoce la historia de las persianas? [Consulta: 9 de septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.losestores.com/blog/conoce-la-historia-las-persianas/>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2010. PIC24FJ256DA210 Family Data Sheet. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39969b.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2009. REFERENCE MANUAL DS39700C: Section 6. Oscillator. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39700c.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2011. REFERENCE MANUAL DS39712D: Section 7. Reset. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39712d.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2006. REFERENCE MANUAL DS39707A: Section 8. Interrupts. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39707a.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2006. REFERENCE MANUAL DS39698A: Section 10. Power-Saving Features. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39698a.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2007. REFERENCE MANUAL DS39711B: Section 12. I/O Ports with PPS. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39711b.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2006. REFERENCE MANUAL DS39704A: Section 14. Timers. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39704a.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2009. REFERENCE MANUAL DS39705B: Section 17. 10-Bit A/D Converter. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39705b.pdf>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [Publicación web]. 2010. PIC24FJ256DA210 Development Board *User's Guide*. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51911A.pdf>
- PERSIANAS ZARAGOZA UNCETA [Sitio web]. 2015. Historia y evolución de la persiana. [Consulta: 9 de septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.persianaszaragoza.es/historia-y-evolucion-de-la-persiana>
- PROMETEC. ZERO CROSSING DETECTION, Detectando el paso por cero de una tensión AC. [Consultado: 9 de diciembre 2016] <http://www.prometec.net/zero-crossing-detection/>
- SMITH, Nick. 2004. ANSI IPC-2221A PCB Trace Width Calculator, Last edited 13th July 2010. <http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>
- TOLHEIM, ROGER L. 1995. Fundamentos de los Microprocesadores. 2ª ed. México: MCGRAW-HILL. ISBN: 0-07-064999-5. Disponible en recursos bibliográficos de la UVA: http://almena.uva.es/record=b1260916~S1*spi

- TORRES PORTERO, M. 1994. Microprocesadores y Microcontroladores aplicados a la Industria. 3ª ed. Madrid: Paraninfo. ISBN: 84-283-1650-3. Disponible en recursos bibliográficos de la UVa: http://almena.uva.es/record=b1307602~S1*spi
- UNIVERSIDAD DE CORDOBA. [Publicación web]. 2003. Medidas de tensión e intensidad. Adaptadores de medida. [Consulta: 27 de septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/practicas/electrotecnia/etprat-1.pdf>

Anexo 1: Esquemático Control y Potencia

Anexo 2: Esquemático Fuente de Alimentación

Anexo 3: Gerber de montaje "Pick and Place"

Anexo 4: Hoja de datos LEM LTS 6-NP (traducción propia)

Anexo 1: Esquemático Control y Potencia

Anexo 2: Esquemático Fuente de Alimentación

Anexo 3: Gerber de montaje "Pick and Place"

Anexo 4: Transductor de corriente LEM LTS 6-NP (traducción propia)

