

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

INGENIERÍA INDUSTRIAL



**“MANEJO DE UNA PANTALLA TÁCTIL
CON EL PIC32 PARA EL CONTROL DE
DISPOSITIVOS EXTERNOS”**

PROYECTO FIN DE CARRERA

Enero – 2010

AUTOR: Jesús Fernández González

DIRECTORA: María Asunción Vicente Ripoll

VISTO BUENO Y CALIFICACIÓN DEL PROYECTO

Título proyecto:

MANEJO DE UNA PANTALLA TÁCTIL CON EL PIC32 PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS EXTERNOS.

Proyectante: Jesús Fernández González

Directora: María Asunción Vicente Ripoll

VºBº directora del proyecto:

Fdo.: María Asunción Vicente Ripoll

Lugar y fecha: _____

CALIFICACIÓN NUMÉRICA

MATRÍCULA DE HONOR

Méritos justificativos en el caso de conceder Matrícula de Honor:

Conforme presidente:

Fdo.:

Conforme secretario:

Fdo.:

Conforme vocal:

Fdo.:

Lugar y fecha: _____



ÍNDICE

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	25
1.1 OBJETIVOS	25
1.2 ESTRUCTURA	26
2. CAPÍTULO 2. EL MICROCONTROLADOR PIC32: HARDWARE	
Y SOFTWARE	29
2.1 INTRODUCCIÓN	29
2.1.1 DIFERENCIAS ENTRE UN MICROCONTROLADOR Y UN MICROPROCESADOR	29
2.1.2 APLICACIONES DE LOS MICROCONTROLADORES.....	30
2.1.3 MODELOS DE MICROCONTROLADORES DE LA MARCA MICROCHIP	32
2.2 MICROCONTROLADOR PIC32	33
2.2.1 ELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	33
2.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR PIC32MXXX	34
2.2.3 NÚCLEO MCU	37
2.2.3.1 <i>Estados pipeline</i>	38
2.2.3.2 <i>Unidad de Ejecución</i>	40
2.2.3.3 <i>MDU: Unidad de Multiplicación y División.....</i>	40
2.2.3.4 <i>Shadow Register Sets</i>	40
2.2.3.5 <i>Register Bypassing</i>	41
2.2.3.6 <i>BITS de estado de la ALU.....</i>	42
2.2.3.7 <i>Mecanismo de Interrupciones y excepciones.</i>	42

ÍNDICE

2.2.4	JUEGO DE INSTRUCCIONES	43
2.2.4.1	<i>Registros de la CPU</i>	49
2.2.4.2	<i>Modos del procesador</i>	49
2.2.4.3	<i>Registros CPO</i>	51
2.2.5	MEMORIA DEL SISTEMA	52
2.2.6	RECURSOS ESPECIALES	53
2.2.6.1	<i>Perro guardián o Watchdog</i>	53
2.2.6.2	<i>Tecnología de ahorro energético</i>	53
2.2.6.3	<i>Osciladores</i>	54
2.2.6.4	<i>Puertos de comunicación</i>	54
2.2.6.5	<i>Conversor A/D</i>	56
3.	CAPÍTULO 3. HERRAMIENTAS SOFTWARE DE DESARROLLO	61
3.1	MPLAB IDE	61
3.1.1	INTRODUCCIÓN	61
3.1.2	CARACTERÍSTICAS GENERALES	62
3.1.3	ESTRUCTURA DE UN PROYECTO	63
3.1.4	CREACIÓN DE UN PROYECTO	64
3.2	SOFTWARE DE GRABACIÓN	71
3.2.1	INTRODUCCIÓN	71
3.2.2	SOFTWARE DE GRABACIÓN	71
3.2.3	GRABAR EN LA EXPLORER16 MEDIANTE ICD3.....	72
4.	CAPÍTULO 4. TARJETA DE EVALUACIÓN PARA EL PIC32:	
	STARTER KIT	77
4.1	INTRODUCCIÓN	77
4.1.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	78
4.1.2	ARQUITECTURA DE LA TARJETA PIC32 STARTER KIT	79
4.2	PROGRAMAS UTILIZADOS PARA VERIFICAR STARTER KIT	82
4.3	PROGRAMAS REALIZADOS PARA EL PIC32 STARTER KIT	85

5. CAPÍTULO 5. SISTEMA DE DESARROLLO EXPLORER16	95
5.1 INTRODUCCIÓN	95
5.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	96
5.1.2 ARQUITECTURA DE LA TARJETA EXPLORER16.....	97
5.2 SOFTWARE DE GRABACIÓN	109
5.3 EJEMPLOS DE PROGRAMAS PARA LA EXPLORER16.....	110
5.3.1 EJEMPLO 1: LEDS	112
5.3.2 EJEMPLO 2: INTERFAZ SPI	114
5.3.3 EJEMPLO 3: INTERFAZ UART	119
5.3.4 EJEMPLO 4: MODULO LCD Y PUERTO PARALELO (PMP)	125
5.3.5 EJEMPLO 5: PULSADORES	128
5.3.6 EJEMPLO 6: ENTRADAS ANALÓGICAS.....	131
6. CAPÍTULO 6. PANTALLA TÁCTIL: HARDWARE Y SOFTWARE	139
6.1 INTRODUCCIÓN	139
6.1.1 IMPORTANCIA DE LAS PANTALLAS TÁCTILES EN APLICACIONES EMBEBIDAS	139
6.2 ARQUITECTURA HARDWARE	140
6.2.1 ARQUITECTURA DE LA PANTALLA TÁCTIL	140
6.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA PATALLA TÁCTIL	142
6.2.3 CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL LCD GRÁFICO	144
6.2.4 CONEXIONADO DE LA PANTALLA TÁCTIL	145
6.3 MICROCHIP GRAPHIC LIBRARY	146
6.3.1 ESTRUCTURA DE LA LIBRERÍA GRÁFICA.....	146
6.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS WIDGETS (OBJETOS).....	147
6.3.3 FUNCIONAMIENTO DE LA LIBRERÍA.....	148
6.3.4 PROGRAMAS EJEMPLO	153

ÍNDICE

7. CAPÍTULO 7. APLICACIONES DESARROLLADAS	163
7.1 INTRODUCCIÓN	163
7.2 PANTALLA TÁCTIL	163
7.2.1 ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA ELABORAR EL PROGRAMA	163
7.2.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	166
7.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....	173
7.3 PANTALLA TÁCTIL Y ACELEROMETRO	177
7.3.1 ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA ELABORAR EL PROGRAMA	177
7.3.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	179
7.3.3 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....	182
8. CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	191
ANEXO A. DISEÑO DE LA MEMORIA DEL PIC32	195
A.1 INTRODUCCIÓN	195
A.1.1 REGISTROS DE CONTROL	195
A.2 DISEÑO DE LA MEMORIA PIC32	197
A.2.1 CÁLCULO DE LA DIRECCIÓN FÍSICA A VIRTUAL Y VICEVERSA	199
A.2.2 PARTICIÓN DE LA MEMORIA FLASH DE PROGRAMA	199
A.2.3 PARTICIÓN DE LA RAM	200
ANEXO B. CONSIDERACIONES PRÁCTICAS PARA PROGRAMAR EL PIC32	205
B.1 INTRODUCCIÓN	205
B.2 VARIABLES	205
B.3 INTERRUPCIONES	209
B.3.1 MÓDULO RTCC	214
B.3.2 OTRAS FUNCIONES ÚTILES	215
B.4 CONFIGURACIÓN DEL PIC32	215

ANEXO C. ACELERÓMETRO ADXL330	.....	223
C.1 INTRODUCCIÓN	.....	223
C.1.1 IMPORTANCIA DE LOS SENSORES EN APLICACIONES EMBEBIDAS	.....	223
C.2 FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR	.....	224
 ACRÓNIMOS	.....	227
 BIBLIOGRAFÍA	.....	229

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Estructura básica de un microcontrolador.	.....	29
2.2	Ejemplos de aplicaciones de microcontroladores.	.....	31
2.3	PIC16F84A, modelo de microcontrolador muy popular en la docencia de PICs.	.....	32
2.4	PIC32MX460512L.	.....	34
2.5	100 pines del PIC32MX3XXL.	.....	36
2.6	Esquema de los estados pipeline de la CPU del PIC32MX.	.....	39
2.7	Esquema de los estados pipeline de la CPU del PIC32MX ante bloqueo hardware slip.	.....	41
2.8	Esquema de los estados pipeline de la CPU del PIC32MX usando el mecanismo bypassing.	.....	42
2.9	Formato de los 3 tipos de instrucciones.	.....	44
2.10	Registros de la CPU.	.....	49
2.11	Modos de operación de la CPU.	.....	50
2.12	Registros CP0.	.....	51
2.13	Primeros 8 bits del registro STATUS.	.....	52
2.14	Diagrama de bloques del módulo ADC de 10 bits.	.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	Proceso de escritura de una aplicación.	61
3.2	Pantalla inicial del MPLAB IDE.	62
3.3	Estructura de un proyecto con el MPLAB IDE.	63
3.4	Creación de un proyecto, selección del dispositivo.	64
3.5	Creación de un proyecto, selección del compilador y el linkado.	65
3.6	Creación de un proyecto, nombrar el proyecto.	66
3.7	Creación de un proyecto, añadir archivos al proyecto.	66
3.8	Añadir archivos al proyecto desde el menú principal.	67
3.9	Resumen de las opciones de configuración, configuration bits.	68
3.10	Construcción del programa, build.	68
3.11	Programar el microcontrolador.	69
3.12	Verificación de la programación en el dispositivo.	69
3.13	Ejecutar el programa en modo debugger.	70
3.14	MPLAB ICD3 In-Circuit Debugger.	71
4.1	Sistema de evaluación PIC32 Starter Kit.	77
4.2	Componentes del sistema de evaluación PIC32 Starter Kit.	78
4.3	PIC32 Starter Kit, Leds encendidos.	80
4.4	Conector para expansión modular de 120 pins y/o alimentación de la tarjeta.	81
4.5	Diagrama de Bloques de la tarjeta de evaluación PIC32 Starter Kit.	81
4.6	Cuadro de diálogo para la introducción de la acción a realizar, programa " <i>Starterkittutorial.c</i> ".	83

ÍNDICE DE FIGURAS

4.7	Ventana de Salida del programa “ <i>StaterKitTutorial.c</i> ”.	83
4.8	Configurations bits para el PIC32 Starter Kit.	85
4.9	Registro T1CON, asociado al Timer1.	86
4.10	Ventana de Salida del programa “ <i>semáforos v2.0.c</i> ”.	92
5.1	Sistema de desarrollo Explorer16.	95
5.2	Componentes del sistema de desarrollo Explorer16.	97
5.3	a) Zócalo de 100 pins. b) Detalle de la esquina para la colocación del PIC.	98
5.4	Selector del procesador, PIC-PIM.	98
5.5	Suministro de energía eléctrica mediante fuente de alimentación externa conectada a: a) Conector J12. b) Patillaje situado en la parte inferior izquierda de la placa.	99
5.6	LEDs presentes en la tarjeta Explorer16.	99
5.7	Pulsadores presentes el sistema de desarrollo Explorer16.	100
5.8	Jumper en modo Interruptor: a) Jumper en modo ON. b) Jumper en modo OFF.	100
5.9	Jumper J7 en modo multiplexor: a) Ubicación del jumper en la placa Explorer16 b) Detalle de los 3 pines. c) Jumper en el lado F4450. d) Jumper en el lado “PIC24”.	101
5.10	Módulo LCD de la placa Explorer16.	102
5.11	Sensor de Temperatura TC1047A.	103
5.12	Potenciómetro R6 de 10K Ω .	103
5.13	Conector para la familia de programadores/depuradores ICD.	103
5.14	Puerto serie RS-232.	104

ÍNDICE DE FIGURAS

5.15	Conector USB.	.....	104
5.16	Memoria EEPROM (25LC256) presente en la Explorer16.	.....	105
5.17	Relojes: a) Oscilador primario 8MHz y secundario 32.768kHz (cilíndrico). b) Oscilador para el PIC18LF4550 20MHz.	.....	105
5.18	Explorer16, PCB para añadir una LCD gráfica.	.....	106
5.19	Explorer16, conector para tarjetas de expansión PICtail Plus.	.....	107
5.20	Explorer16, conector PICkit 2.	.....	107
5.21	Explorer16, conector JTAG.	.....	108
5.22	Diagrama de Bloques de la tarjeta Explorer16.	.....	108
5.23	Adaptador "PIC32 Starter Kit 100L Pim Adaptor".	.....	109
5.24	MPLAB ICD3 In-Circuit Debugger en funcionamiento en la Explorer16.	.....	109
5.25	LEDS encendidos, programa " <i>LED.c</i>".	.....	113
5.26	Diagrama de bloques de la interfaz SPI.	.....	114
5.27	Registro STATUS de la EEPROM serie, 25LC256.	.....	116
5.28	Configuración del Programa Hyperterminal.	.....	122
5.29	Consola del Programa Hyperterminal, ejecución programa " <i>serial.c</i>".	.....	123
5.30	Consola del Programa Hyperterminal, ejecución programa " <i>U2Test.c</i>".	.....	125
5.31	Programa " <i>LCDtest.c</i> " ejecutado en la Explorer16.	.....	127
5.32	Esquema del nuevo carácter a crear en el modulo LCD (0x00).	.....	128
5.33	Programa " <i>ProgressBar.c</i> " ejecutado en la Explorer16.	.....	128
5.34	Rebotes ocasionados por los pulsadores.	.....	129

5.35	Programa “ <i>buttons.c</i> ” ejecutado en la Explorer16.	.....	131
5.36	Programa “ <i>Pot.c</i> ” ejecutado en la Explorer16.	.....	133
5.37	Programa “ <i>POT-MAN.c</i> ” ejecutado en la Explorer16.	.....	135
5.38	Programa “ <i>Temperatura.c</i> ” ejecutado en la Explorer16.	.....	135
6.1	Ejemplos de Aplicaciones con pantallas táctiles.	.....	139
6.2	Graphics PICtail Plus Daughter Board v2.	.....	140
6.3	Diagrama de Bloques del modulo LCD.	.....	141
6.4	Esquema de funcionamiento de un pixel en una pantalla reflectiva.	.....	142
6.5	Esquema de funcionamiento de un pixel en una pantalla reflectiva II.	.....	143
6.6	Esquema de funcionamiento de un pixel en una pantalla transmisiva.	.....	143
6.7	Esquema de funcionamiento de un pixel en una pantalla transmisiva II.	.....	143
6.8	Equipo completo en funcionamiento, sistema de desarrollo Explorer16, MPLAB ICD3 y Graphics PICtail Plus Daughter Board.	.....	145
6.9	Estructura de la librería gráfica v1.6 de microchip.	.....	147
6.10	Librería gráfica, control de los objetos a través de la interfaz de mensaje.	.....	148
6.11	Librería gráfica, estructura GOL_SCHEME aplicada a un botón.	.....	149
6.12	Librería gráfica, parámetros para definir las dimensiones de un botón.	.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

6.13	Diagrama de flujo básico del funcionamiento de la librería gráfica.	.....	152
6.14	Programa Graphics Primitives Layer Demo ejecutado en la pantalla táctil.	.....	153
6.15	Programa “AN1136_v1.0.c” ejecutado en la pantalla táctil.	.....	157
6.16	Programa “AN1136_v2.0.c” ejecutado en la pantalla táctil.	.....	158
6.17	Programa “AN1136Demo.c” ejecutado en la pantalla táctil.	.....	159
7.1	Esquema del Potenciómetro R6 de la tarjeta Explorer16.	.....	165
7.2	Sensor de temperatura TC1047, Voltaje de salida (Vout) respecto temperatura.	.....	166
7.3	Pantalla principal, Programa “Proyecto_1.c”.	.....	173
7.4	Pantalla Secundaria, “Potentiometer”, Programa “Proyecto_1.c”.	.....	174
7.5	Pantalla Secundaria, “Slide Potentiometer”, Programa “Proyecto_1.c”.	.....	174
7.6	Programa “Proyecto_1.c” a) Pantalla Secundaria, “Set Time and Date”, detalle al presionar el menú desplegable para seleccionar el mes. b) Fecha y hora configurada tras pulsar el botón “Show”. c) Pantalla principal tras configurar la hora y la fecha.	.....	175
7.7	Pantalla Secundaria, “Temperature Sensor”, Programa “Proyecto_1.c” a) Pantalla cuando la temperatura es inferior a 24°C. b) Temperatura del sensor entre 24°C y 25°C. c) Temperatura igual o superior a 26°C.	.....	176

ÍNDICE DE FIGURAS

7.8	I/O Expansion Board.	.....	177
7.9	I/O Expansion Board con conector soldado.	.....	178
7.10	Conexión del acelerómetro a la I/O Expansion Board.	.....	178
7.11	Pantalla principal, Programa “APP.c”	.....	183
7.12	Calibración del sensor, Programa “APP.c” a) Primera posición a calibrar. b) Resultados de Calibración.	.....	183
7.13	Lectura de valores, Programa “APP.c”.	.....	184
7.14	Pantalla “display”, Programa “APP.c”.	.....	184
7.15	Pantalla “shock”, Programa “APP.c” a) Esperando a un shock en alguno de los ejes. b) Shock producido en el ejeX.	.....	185
7.16	Lectura de Ángulos, Programa “APP.c”.	.....	186
7.17	Juego de la pelota, Programa “APP.c” a) Mensaje de bienvenida al juego. b) Instrucciones del juego. c) Selección del nivel de dificultad. d) Pantalla del juego. e) Mensaje final con el tiempo en ejecución.	.....	187
8.1	USB PICtail Plus Daughter Board.	.....	191
8.2	Estructura propuesta para la captación de video.	.....	192
A.1	Registros SFRs para configurar la memoria del PIC32.	.....	195
A.2	Registro BMXPUPBA asociado a la memoria flash de programa.	.....	196
A.3	División de la memoria del PIC32, regiones primarias.	.....	197
A.4	Mapeo de la memoria virtual a la física.	.....	198
A.5	Esquema de direcciones para la partición de la memoria RAM.	.....	201

ÍNDICE DE FIGURAS

B.1	Esquema de la configuración del reloj del sistema.	.....	216
C.1	Uso de un acelerómetro en el iPhone.	.....	223
C.2	Acelerómetro ADXL330.	.....	224
C.3	Sensibilidad del sensor ADXL330 en los tres ejes.	.....	224
C.4	Modelo físico de un sensor capacitivo diferencial.	.....	225
C.5	Salida del sensor ADXL330 en función de la orientación del mismo.	.....	225

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Modelos de microcontroladores de la marca Microchip.	.....	32
2.2	Juego de instrucciones completo presente en la familia PIC32MX3XX/4XX.	.....	48
5.1	Juego de caracteres del módulo LCD.	.....	102
5.2	Lista de todos los programas evaluados sobre el sistema Explorer16.	.....	111
5.3	Programas detallados ejecutados en el sistema de desarrollo Explorer16.	.....	112
6.1	Características principales del TFT-G240320UTSW-92W-TP-E.	.....	144
B.1	Comparación de las variables enteras disponibles en el MPLAB C32.	.....	205
B.2	Comparación de las variables fraccionales disponibles en el MPLAB C32.	.....	207
B.3	Análisis temporal de las diferentes variables, multiplicación.	.....	208
B.4	Análisis temporal de las diferentes variables, división.	.....	208
B.5	Análisis temporal de las diferentes instrucciones de optimización de código.	.....	220

Manejo de una pantalla táctil con el PIC32 para el control de dispositivos externos.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. OBJETIVOS

El presente Proyecto Fin de Carrera se centra en el desarrollo de aplicaciones prácticas para la programación de microcontroladores. En concreto, el trabajo ha sido realizado con microcontroladores PIC de gama alta (familia de microcontroladores de 32bits), en particular con los modelos PIC32MX360F512L y el PIC32MX460F512L.

En los últimos años han tenido un gran auge los microcontroladores PIC fabricados por Microchip Technology Inc. Los PIC (Peripheral Interface Controller) son una familia de microcontroladores que ha tenido gran aceptación y desarrollo gracias a que sus buenas características, bajo precio, reducido consumo, pequeño tamaño, gran calidad, fiabilidad y abundancia de información, los convierten en muy fáciles, cómodos y rápidos de utilizar.

El trabajo realizado en este proyecto se puede dividir en 4 tareas básicas:

- Estudio del hardware y software (juego de instrucciones) del PIC32 dada su reciente puesta en el mercado.
- Análisis de programas ejemplo para la placa PIC32 Starter Kit y desarrollo de los primeros programas ejemplo para el PIC32.
- Estudio del sistema de desarrollo Explorer16 y desarrollo de código fuente para este sistema.
- Desarrollo de aplicaciones de control mediante el uso de la pantalla táctil incorporando posteriormente un acelerómetro.

1.2. ESTRUCTURA

El proyecto fin de carrera *Manejo de una pantalla táctil con el PIC32 para el control de dispositivos externos* se divide en ocho capítulos y tres anexos. En este primer capítulo se realiza una breve introducción detallando los objetivos del proyecto y describiendo su estructura.

En el segundo capítulo se realiza una introducción a la arquitectura de los microcontroladores en general, y se describe con detalle la familia de los microcontroladores PIC de 32 bits.

En el tercer capítulo se presentan los distintos programas que se han utilizado a lo largo del proyecto, tanto para la grabación de los programas en los microcontroladores, como para la depuración y simulación del código fuente.

Seguidamente, en el cuarto capítulo se describe la metodología realizada durante la evaluación del PIC32 Starter Kit, desarrollando los primeros programas fuente para el PIC32.

Posteriormente, en el quinto capítulo se analiza el sistema de desarrollo Explorer16, se presenta su arquitectura física y el software necesario para hacer uso de ella. Además se presentan una serie de programas ejemplo desarrollados para esta tarjeta.

En el capítulo sexto se estudia el hardware de la pantalla táctil presente en la placa de expansión “Graphics PICtail Plus Daughter Board (versión 2)” y se analiza el funcionamiento de la librería “Microchip Graphic Library versión 1.6.”.

A continuación, en el capítulo séptimo se detallan las aplicaciones desarrolladas para la tarjeta gráfica “Graphics PICtail Plus Daughter Board (versión 2)” usando tanto el sistema de desarrollo Explorer16 como la tarjeta “I/O Expansion Board” a la cual se ha incorporado el acelerómetro ADXL330.

Finalmente, en el capítulo octavo se hace una recopilación de conclusiones, así como de los posibles trabajos futuros.

Por último, al final del documento se encuentran los Anexos A, B y C. En el anexo A se describe de qué manera se puede configurar la memoria del PIC32. En el anexo B se describen distintos aspectos a tener en cuenta a la hora de programar sobre el PIC32 que no se comentan en profundidad en ninguno de los capítulos del presente proyecto. Mientras que el anexo C se realiza un breve estudio del hardware del acelerómetro ADLX330 para la detección de movimiento en el espacio.