



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO
DIDÁCTICO PARA LA PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE
LOS MICROCONTROLADORES ATMEL DE BAJA Y MEDIA
ESCALA, PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS
DIGITALES DE LA ESPE-EL, MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN
LENGUAJE DE ALTO NIVEL**

AUTOR:

BRIAN DAVID VITERI NARANJO

DIRECTOR: ING. SIXTO REINOSO.

CODIRECTOR: ING. MARCO PILATASIG.

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICADO

Ing. Sixto Reinoso (DIRECTOR)

Ing. Marco Pilatasig (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES ATMEL DE BAJA Y MEDIA ESCALA, PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS DIGITALES DE LA ESPE-EL, MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE DE ALTO NIVEL” realizado por Brian David Viteri Naranjo, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de alto contenido de investigación y que ayuda a la formación profesional y aplicación de conocimientos, si se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de dos documentos empastados y dos discos compactos el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Brian David Viteri Naranjo que lo entregue al Ing. Franklin Silva, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Mayo del 2015.

Ing. Sixto Reinoso.

DIRECTOR

Ing. Marco Pilatasig P.

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

BRIAN DAVID VITERI NARANJO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES ATMEL DE BAJA Y MEDIA ESCALA, PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS DIGITALES DE LA ESPE-EL, MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE DE ALTO NIVEL*”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Mayo del 2015

Brian David Viteri Naranjo

C.C.: 050244938-2

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, *BRIAN DAVID VITERI NARANJO*

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES ATMEL DE BAJA Y MEDIA ESCALA, PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS DIGITALES DE LA ESPE-EL, MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE DE ALTO NIVEL”*, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Mayo del 2015.

Brian David Viteri Naranjo

C.C.: 050244938-2

DEDICATORIA

Nada enseña mejor que el buen ejemplo y nadie aprende más si no haciendo.

Esta tesis está dedicada a la razón de mi vida mis padres Edgar y Cecilia, a mis hermanos Adriana y Andrés quienes constituyeron el pilar fundamental para la culminación y formación profesional.

"Ningún hombre ha llegado a ser grande si no ha sido motivado por cierta inspiración"

Brian Viteri

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos en primer lugar a Dios por permitirme cumplir con uno de mis más anhelados sueños en la vida, en segundo lugar a mis padres y hermanos a quienes reste horas de convivir diario.

A mi querida Alma Mater "Universidad de la Fuerza Armadas" que me abrió las puertas y es sus aulas recibí los sabios conocimientos que cada uno de los maestros me brindo, los mismos que me sirven para enfrentar los retos de la vida.

De manera especial a los directores de tesis los ingenieros Sixto Reinoso y Marco Pilatasig quienes supieron brindar su apoyo y consejos durante la realización de este trabajo.

Brian Viteri

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
 CAPÍTULO I.....	 17
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	17
 1.1 Introducción	 17
1.2 Microcontroladores AVR.....	18
1.2.1 Arquitectura de los microcontroladores AVR.....	18
1.2.2 Memorias de los microcontroladores atmega.....	19
a. Memoria FLASH	19
b. Memoria SRAM.....	20
c. Memoria EEPROM	20
1.2.3 Familia de los microcontroladores AVR	21
a. ATxmega.....	21
b. ATmega.....	21
c. ATtiny	21
1.2.4 Características técnicas de microcontroladores ATmega8, ATmega16	21
a. ATmega8	21
b. ATmega16	22
1.3 Software para la programación de microcontroladores AVR	22
1.3.1 ATMEL Studio 6.2.....	22

1.4	Periféricos de entrada y salida	23
1.4.1	Interruptores.....	23
1.4.2	Pulsadores	23
1.4.3	Teclado matricial.....	24
1.4.4	Potenciómetros	25
1.4.5	Sensores	26
1.4.6	Displays de 7 segmentos.....	26
1.4.7	Leds	27
1.4.8	LCD	28
1.4.9	GLCD	29
1.4.10	Motores DC.....	29
a.	Motores de DC de imán permanente	29
1.4.11	Motores paso a paso unipolares	30
1.4.12	Servomotores	32
1.5	Comunicación	33
1.5.1	Serie.....	33
a.	Simplex	33
b.	Duplex, Half Duplex O Semi-Duplex	33
c.	Full Duplex	33
a.	Comunicación Síncrona.....	34
b.	Comunicación Asíncrona.....	34
1.5.2	I2C.....	35
1.5.3	One Wire	37
1.5.4	Bluetooth	37
1.5.5	Comunicación radio frecuencia RF	39

CAPÍTULO II..... 40

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA TARJETA ENTRENADORA..... 40

2.1.	Distribución de componentes	40
2.1.1.	Programador	40
2.1.2.	Bloque de visualizadores.....	41
2.1.3.	Bloque de actuadores.....	46

2.1.4.	Bloque de comunicaciones.....	49
2.1.5.	Bloque de periféricos de entrada.....	51
2.2.	Diseño de las placas electrónicas	55
2.3.	Impresión de las placas electrónicas.....	57

CAPÍTULO III..... 60

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO 60

3.1.	Pruebas del programador	60
3.2.	Pruebas de los visualizadores	60
3.2.1.	Prueba de los leds	60
3.2.2.	Prueba de la matriz de leds	61
3.2.3.	Prueba de displays de 7 segmentos	62
3.2.4.	Prueba del LCD alfanumérico de 16 x 2.....	62
3.2.5.	Prueba del LCD gráfico GLCD 128 x 64	62
3.2.6.	Prueba del TFT LCD gráfico.....	63
3.3.	Pruebas de los actuadores	66
3.3.1.	Prueba de motor DC	66
3.3.2.	Prueba de motor a pasos unipolar	66
3.3.3.	Prueba de servomotor	67
3.3.4.	Prueba de conversor digital analógico	68
3.3.5.	Prueba de zumbador	69
3.4.	Pruebas de las comunicaciones en la tarjeta	69
3.4.1.	Prueba comunicación serie RS 232	69
3.4.2.	Prueba comunicación serie I2C.....	70
3.4.3.	Prueba comunicación 1 WIRE.....	71
3.4.4.	Prueba comunicación BLUETOOTH	72
3.4.5.	Prueba comunicación RF	73
3.5.	Prueba de periféricos de entrada	74
3.5.1.	Prueba de interruptores, pulsadores y teclado matricial	74
3.5.2.	Prueba de potenciómetros.....	74
3.5.3.	Prueba de módulo encoder	74

3.6.	Prueba de los algoritmos de control implementados con la tarjeta entrenadora.....	75
3.6.1.	Prueba del control PID discreto	75
3.6.2.	Prueba del control FUZZY LOGIC.....	77
3.6.3.	Comparación entre el control PID discreto y el control difuso	79
CAPÍTULO IV		81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		81
4.1.	Conclusiones	81
4.2.	Recomendaciones	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		85
ANEXOS.....		¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1:	Diagrama de Bloques de la arquitectura de un microcontrolador AVR.....	19
Figura 1. 2:	Distribución de memoria SRAM de un microcontrolador AVR.....	20
Figura 1. 3:	Interruptor de 2 posiciones	23
Figura 1. 4:	Pulsador para placa electrónica.	24
Figura 1. 5:	Diagrama de conexiones de un teclado matricial.....	24
Figura 1. 6:	Teclado Matricial de 4 x 4	25
Figura 1. 7:	Potenciómetro una vuelta 3362p	25
Figura 1. 8:	Potenciómetros multivuelta.....	26
Figura 1. 9:	Esquema de Pines de un Display de Ánodo común	27
Figura 1. 10:	LED y su simbología	28
Figura 1. 11:	Modulo LCD PC1602A.....	28
Figura 1. 12:	Pantalla GLCD de 128x64 pixeles.....	29
Figura 1. 13:	Conexión de las bobina de un motor PAP Unipolar	31
Figura 1. 14:	Secuencia de pulsos para funcionamiento del motor a pasos unipolar.....	31
Figura 1. 15:	Partes de un servomotor.....	32
Figura 1. 16:	Trama de un dato según el protocolo serie RS 232	35
Figura 1. 17:	Trama de Datos utilizada en la comunicación I2C	36
Figura 1. 18:	Modulo de transmisión Bluetooth	38
Figura 1. 19:	Módulos de Transmisión y recepción de Radio frecuencia.....	39
Figura 2. 1:	Circuito de programador de AVR.....	41
Figura 2. 2:	Columna de Leds	42
Figura 2. 3:	Diagrama de Conexión de la Matriz de Leds	43
Figura 2. 4:	Diagrama de Conexión de un Módulo LCD 16x2	43
Figura 2. 5:	Diagrama de Conexión de Displays de 7 segmentos	44
Figura 2. 6:	Diagrama de Conexión de GLCD 128x64	45
Figura 2. 7:	Diagrama de Conexiones del Módulo LCD TFT.....	45
Figura 2. 8:	Diagrama de Conexiones para el motor DC.....	46
Figura 2. 9:	Diagrama de Conexiones de los Servomotores.	47

Figura 2. 10:	Diagrama de conexiones de los motores a pasos.....	47
Figura 2. 11:	Diagrama de Conexión del Zumbador.....	48
Figura 2. 12:	Diagrama de Conexión del Circuito Integrado PCF8591	48
Figura 2. 13:	Diagrama de Conexiones para comunicación Serie RS 232.	49
Figura 2. 14:	Diagrama de Conexión del Módulo Bluetooth HC 06.....	50
Figura 2. 15:	Diagrama de conexiones de los Módulos Transmisor y Receptor de RF.....	51
Figura 2. 16:	Diagrama de Conexiones de los Pulsadores	52
Figura 2. 17:	Diagrama de Conexión del Teclado Matricial.....	52
Figura 2. 18:	Diagrama de Conexión de los Potenciómetros	53
Figura 2. 19:	Diagrama de conexión del Sensor de Temperatura DS18B20.....	53
Figura 2. 20:	Diagrama de Conexión del Módulo Encoder KY-40.....	54
Figura 2. 21:	Conexión de la Memoria EEPROM 24LC04B	54
Figura 2. 22:	Diseño de la placa entrenadora de AVR en ARES	55
Figura 2. 23:	Vista en 3D de la tarjeta entrenadora de AVR	56
Figura 2. 24:	Diagrama de Conexiones de la tarjeta entrenadora de AVR.....	57
Figura 2. 25:	Diagrama de pistas de la parte inferior de la Tarjeta de entrenamiento de AVR.....	58
Figura 2. 26:	Diagrama de las pistas de la parte superior de la Tarjeta de entrenamiento de AVR.....	58
Figura 2. 27:	Imagen de la capa de elementos.....	59
Figura 3. 1:	Prueba de leds rojos y verdes de la matriz	61
Figura 3. 2:	Prueba de matriz de leds visualizando caracteres.....	61
Figura 3. 3:	Prueba de displays visualizando caracteres numéricos.....	62
Figura 3. 4:	Prueba de LCD de mostrando 32 caracteres	62
Figura 3. 5:	Prueba de GLCD mostrando 64 y 32 caracteres	63
Figura 3. 6:	Prueba de GLCD visualizando imágenes.....	63
Figura 3. 7:	Prueba de TFT, mediante llenado de pantalla con colores amarillo, azul y rojo	64

Figura 3. 8:	Prueba de TFT visualizando figuras geométricas y caracteres	64
Figura 3. 9:	Prueba de TFT visualizando Imágenes	65
Figura 3. 10:	Aplicación de dibujo utilizando de la interface táctil.	65
Figura 3. 11:	Control de Sentido de Giro de un Motor de DC.....	66
Figura 3. 12:	Control en lazo abierto del sentido de giro y velocidad de un motor a pasos unipolar.	67
Figura 3. 13:	Control de Sentido de Giro de un Servomotor.	67
Figura 3. 14:	Comunicación Serie RS 232 entre el microcontrolador y el computador.	70
Figura 3. 15:	Comunicación I2C entre el microcontrolador y C.I PCF8591.....	71
Figura 3. 16:	Comunicación 1 Wire entre microcontrolador y Sensor de Temperatura DS18B20.	72
Figura 3. 17:	Comunicación Bluetooth entre microcontrolador y el Computador.	73
Figura 3. 18:	Comunicación RF entre ATmega8 y ATmega16.....	74
Figura 3. 19:	Respuesta del control PID Discreto.....	76
Figura 3. 20:	Respuesta del control PID discreto a escalones ascendentes y descendentes	76
Figura 3. 21:	Funciones de membresía del error a la entrada del control	77
Figura 3. 22:	Funciones de membresía de la salida del control	77
Figura 3. 23:	Diagrama de bloques del controlador difuso de temperatura de la estación de flujo de aire	78
Figura 3. 24:	Respuesta del control difuso	78
Figura 3. 25:	Respuesta del control PID discreto a escalones ascendentes y descendentes	79
Figura 3. 26:	Respuesta al escalón de los controles difuso y PID.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1:	Tabla de microcontroladores programados con la tarjeta entrenadora.....	60
Tabla 3. 2:	Tabla de mediciones de voltaje y Corriente en un LED	61
Tabla 3. 3:	Tabla de Valores de Ancho de Pulso para control de Servomotores.....	67
Tabla 3. 4:	Tabla de Valores Obtenidos de las mediciones en la salida del Conversor DAC.....	68
Tabla 3. 5:	Tabla de velocidades de transmisión de datos en la comunicación serie RS 232.	69
Tabla 3. 6:	Tabla de frecuencias para transmisión de datos en la comunicación I2C.	70
Tabla 3. 7:	Parámetros usados en la comunicación RF	73
Tabla 3. 8:	Valores de las constantes KP, KD y KI.....	75
Tabla 3. 9:	Reglas del controlador difuso	77
Tabla 3. 10:	Tabla de comparación de parámetros de los controladores PID y difuso.....	80

RESUMEN

El presente proyecto describe el diseño e implementación de un módulo didáctico para la programación y aplicación de microcontroladores AVR, el cual permite realizar una gran variedad de proyectos con este tipo de microcontroladores con las facilidades que presta el mismo, para esto la tarjeta contiene un programador ISP de microcontroladores que posibilita el grabado y lectura de los microcontroladores sin necesidad de desconectarlos del circuito, también posee varios dispositivos visualizadores para crear la interfaz necesaria en cada proyecto, donde se puede utilizar desde una columna de leds hasta un pantalla lcd a colores, a la vez contiene periféricos de entrada y salida que complementan los proyectos, entre estos se consideran varios tipos de motores, memorias, conversores, potenciómetros y sensores, la tarjeta tiene la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos mediante varios protocolos de comunicación, tales como bluetooth, serie, rf, i2c, spi. Para complementar el aprendizaje la tarjeta contienen una guía de prácticas en las cuales se han utilizado todos los dispositivos del entrenador y se implementó los controles PID y FUZZY LOGIC para el control de temperatura en una estación de flujo de aire del laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la universidad.

PALABRAS CLAVE: MICROCONTROLADORES AVR, PROGRAMACIÓN C, CONTROL PROCESOS PID.

ABSTRACT

This project describes the design and implementation of a training module for programming and application of AVR microcontrollers and application, which allows a multitude of projects with this type of microcontroller with the facilities provided by the card, this card contains an ISP microcontroller programmer which allows writing and reading microcontrollers without disconnecting the circuit, also has a variety of display devices to create the necessary interface for each project, which can be used from a column of LEDs to a lcd color display, also contains input and output peripherals that complement projects, among these are considered various types of engines, memories, converters, potentiometers and sensors, the card has the ability to communicate with other devices via various communication protocols such as bluetooth series, rf, i2c, spi. To supplement learning card contains a guide to practices which have been used all devices, also a PID and FUZZY LOGIC control for controlling temperature in an air flow station was implemented in the .

KEYWORDS: MICROCONTROLLER AVR,C PROGRAMMING, PID CONTROL PROCESS.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

Los microcontroladores sin duda son una parte fundamental en la electrónica y en su desarrollo. Hoy en día existe uno de estos dispositivos en la mayoría de artefactos electrónicos que se tiene al alcance y son capaces de realizar operaciones muy complejas en muy poco tiempo por lo que su uso es casi indispensable en cualquier sistema electrónico. El hecho de aprender acerca del uso de microcontroladores significa una gran herramienta para cada estudiante con el objetivo de poder desarrollar nuevas y mejores aplicaciones o sistemas.

Los microcontroladores son tan versátiles a tal punto que facilitan el diseño de sistemas electrónicos, ya que brindan en un solo circuito integrado incontables posibilidades, siendo estos susceptibles de ser programados de la manera que el usuario desee, el programador tiene la capacidad de diseñar e implementar una gran cantidad de aplicaciones de acuerdo a la necesidad del mismo, por esto se diseñó el entrenador para microcontroladores, que facilita enormemente el aprendizaje y el diseño de nuevas aplicaciones, ya que contienen varios periféricos tanto de entrada y salida que funcionando junto al microcontrolador permiten sentar una base de conocimiento para el programador que está empezando a conocer acerca de los mismos.

Los microcontroladores fabricados por la empresa ATMEL se encuentran en un auge, debido a que tienen algunas ventajas en consideración con las demás marcas, una de estas es el hecho de que existen muchas herramientas de software gratuitas para el desarrollo de aplicaciones, lo cual es un gran estímulo para el programador para desarrollar sus propias herramientas, otra de las grandes ventajas es que cuenta con la opción de

programación ISP la cual facilita aún más la programación, y aparte de esto son considerablemente más económicos que las demás marcas, todo esto hace de los microcontroladores ATMEL una gran opción a escoger al momento de seleccionar un microcontrolador.

1.2 MICROCONTROLADORES AVR

Los microcontroladores AVR fueron desarrollados por la compañía ATMEL en el año de 1996, se los considera como microcontroladores muy potentes debido a sus grandes prestaciones en relación a las marcas competidoras, se caracterizan por tener una arquitectura 8 bit RISC, dentro de su gama de productos se puede encontrar desde microcontroladores muy básicos como los de la familia ATtiny hasta microcontroladores con prestaciones muy altas como los de la familia ATxmega. En [1] se resume a los microcontroladores como dispositivos rápidos, bien diseñados, fáciles de usar, con amplio soporte y baratos.

1.2.1 ARQUITECTURA DE LOS MICROCONTROLADORES AVR

Los microcontroladores AVR están diseñados en base a la arquitectura Harvard, por lo que poseen 2 memorias separadas, una para datos y otra para instrucciones, lo cual hace que sean más rápidos en el procesamiento pudiendo realizar una instrucción en lenguaje ensamblador en un solo ciclo de reloj a diferencia de otros microcontroladores, también están basados en el RISC que toma conjuntos de instrucciones pequeñas y simples que requieren menor tiempo para ejecutarse, posee 32 registros de propósito general de 8 bits, de los cuales 6 de estos forman 3 registros de 16 bits utilizados para direccionamiento indirecto [2].

La arquitectura de un microcontrolador AVR se puede apreciar en la figura 1.1.

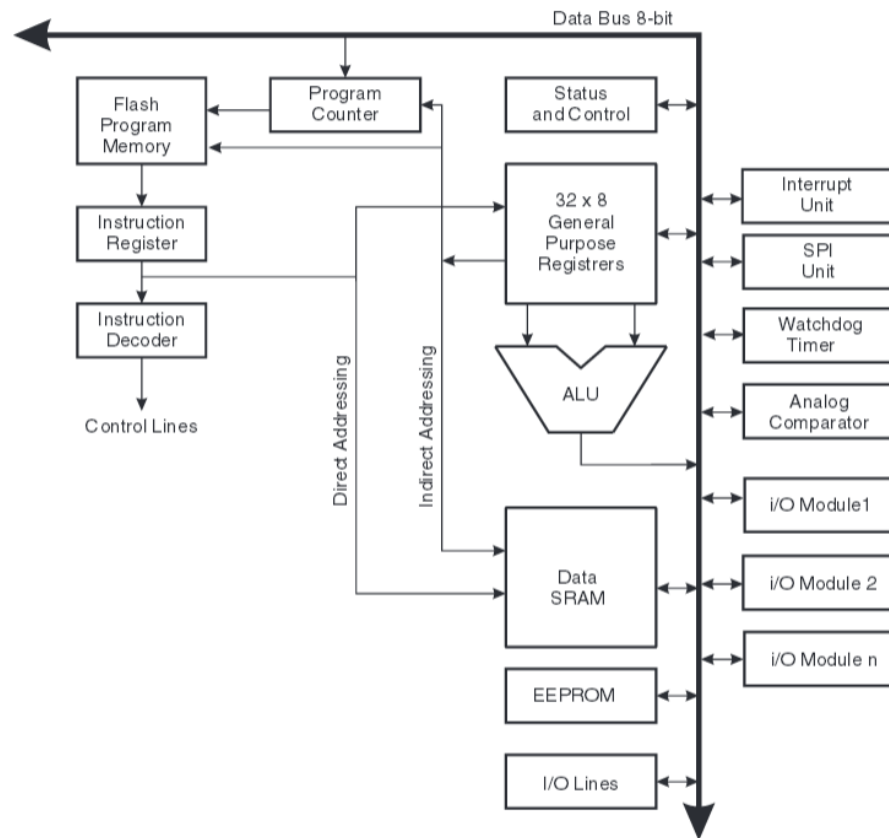


Figura 1. 1: Diagrama de Bloques de la arquitectura de un microcontrolador AVR

Fuente: [3]

1.2.2 MEMORIAS DE LOS MICROCONTROLADORES ATMEGA

a. MEMORIA FLASH

Es una memoria no volátil en donde se graban las instrucciones del programa, está dividida en dos secciones por seguridad, en la sección de programa de arranque y en la sección de programación de aplicaciones [3].

El tamaño de la memoria de programa viene definido según el nombre del microcontrolador, los Atmega8 poseen 8 Kb de memoria, mientras que los Atmega16 contienen 16 Kb de memoria flash.

b. MEMORIA SRAM

En esta memoria se almacena los registros de propósito general, registros de I/O y la memoria interna SRAM, contiene 32 registros de propósito general, 64 registros de I/O y 1024 bytes de memoria interna SRAM [3].

En la figura 1.2 se puede observar la división de la memoria SRAM.

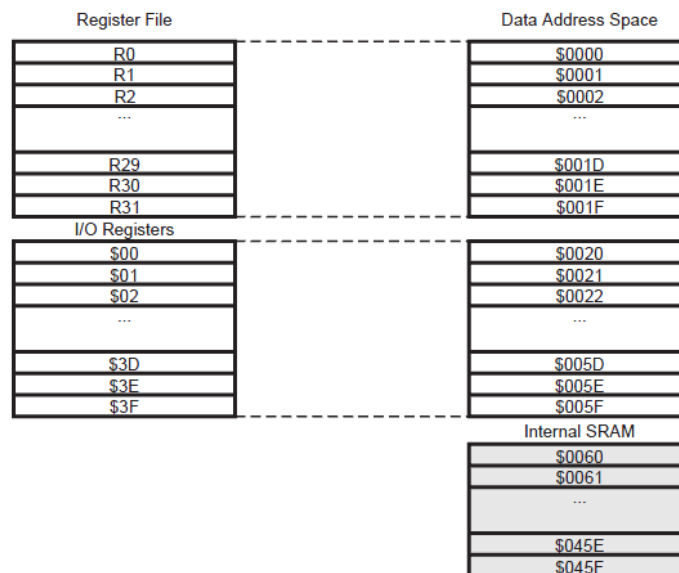


Figura 1. 2: Distribución de memoria SRAM de un microcontrolador AVR.

Fuente: [3]

c. MEMORIA EEPROM

Estos microcontroladores poseen una memoria EEPROM que permite guardar datos y que se mantengan guardados aun si se retira la energía del microcontrolador, tiene una resistencia de 10,000 ciclos de lectura y escritura, la capacidad depende del microcontrolador, para microcontroladores de gama baja y media generalmente es de 512 bytes [3].

1.2.3 FAMILIA DE LOS MICROCONTROLADORES AVR

Los microcontroladores ATMEL ofrecen una gran variedad de opciones, las cuales se han dividido en varias familias dependiendo de sus prestaciones las cuales pueden ser:

a. ATxmega

Son los microcontroladores con más prestaciones, cuentan con procesadores muy potentes con 16 a 384 kB de memoria flash programable, se encuentran en encapsulados de 44, 64 y 100 pines.

b. ATmega

Son microcontroladores de gama media con 4 a 256 kB de memoria flash programable, se muestran en encapsulados de 28 a 100 pines, y posee un conjunto de instrucciones extendido.

c. ATtiny

Son pequeños microcontroladores AVR con 0,5 a 8 kB de memoria flash programable, encapsulados de 6 a 20 pines, posee limitado set de periféricos, son muy económicos, los hace ideales para aplicaciones sencillas.

1.2.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MICROCONTROLADORES ATMEGA8, ATMEGA16

a. ATmega8 [4]

- 8 Kbytes de memoria flash programable
- 512 bytes de memoria EEPROM
- 1 Kbyte de memoria interna SRAM
- 32 Registros de uso general

- 3 Temporizadores/contadores
- 6 Canales ADC de 10 bits
- 23 Canales de entrada/salida

b. ATmega16 [3]

- 16 Kbytes de memoria flash programable
- 512 bytes de memoria EEPROM
- 1 Kbyte de memoria interna SRAM
- 32 Registros de uso general
- 3 Temporizadores/contadores
- 8 Canales ADC de 10 bits
- 32 Canales de entrada/salida

1.3 SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES AVR

Existen muchas herramientas disponibles para la programación de microcontroladores, la mayoría de estas son gratuitas y abiertas, en este caso se estudió el software llamado Atmel Studio 6.

1.3.1 ATMEL STUDIO 6.2.

Es una plataforma integrada de desarrollo especializada para microcontroladores AVR la cual ofrece un entorno integrado y fácil de usar para escribir, generar y depurar aplicaciones escritas en C/C++ o código ensamblador.

Esta plataforma es completamente gratuita e integra con el software de estructura de Atmel (ASF) una gran biblioteca libre de código fuente con 1600 ARM y AVR ejemplos de proyectos. ASF fortalece la plataforma al proporcionar, en el mismo entorno, el acceso al código listo para usar que

minimiza la mayor parte del diseño de bajo nivel requerido para proyectos [5].

1.4 PERIFÉRICOS DE ENTRADA Y SALIDA

1.4.1 INTERRUPTORES

Los interruptores son básicamente dispositivos que permiten abrir o cerrar un circuito, esta operación se realiza mediante la unión o separación física de 2 contactos, controlando así el paso o corte de la energía eléctrica, en la figura 1.3 se puede apreciar 2 interruptores de 2 posiciones los cuales se utilizan en la tarjeta entrenadora para microcontroladores AVR.

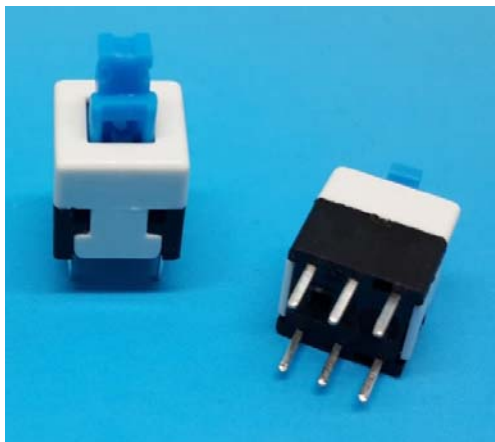


Figura 1. 3: Interruptor de 2 posiciones

1.4.2 PULSADORES

Tienen mucha similitud con un interruptor, se los conoce como interruptores momentáneos, este tipo de interruptor requiere que el operador mantenga la presión sobre el actuante para que los contactos estén unidos, el pulsador solo cambia de estado mientras el operador este ejerciendo presión sobre el mismo, se puede distinguir 2 tipos de pulsadores, los normalmente abiertos y los normalmente cerrados.

En la figura 1.4 se puede ver un pulsador normalmente abierto, que es apto para colocarlo en una placa electrónica debido a su pequeño tamaño.



Figura 1. 4: Pulsador para placa electrónica.

1.4.3 TECLADO MATRICIAL

Este tipo de teclados están conformados de un conjunto de pulsadores, que están conectados como se indica en la figura 1.5, su principio de funcionamiento se basa en realizar un barrido de columnas, esto se logra al activar las columnas secuencialmente, mediante este principio se puede colocar muchos pulsadores en forma de matriz sin utilizar demasiadas líneas de entrada y salida del microcontrolador.

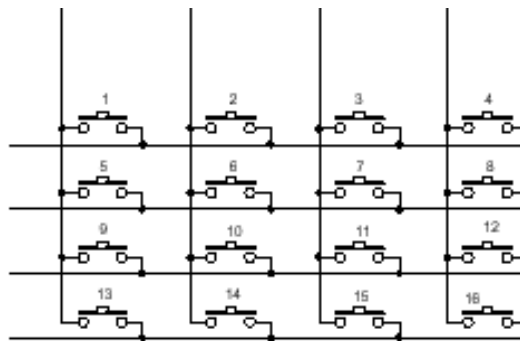


Figura 1. 5: Diagrama de conexiones de un teclado matricial.

En un teclado matricial de 4 x 4, se puede diferenciar teclas del 0 al 9 y también caracteres de la A al D, numeral y asterisco, como se puede ver en la figura 1.6.

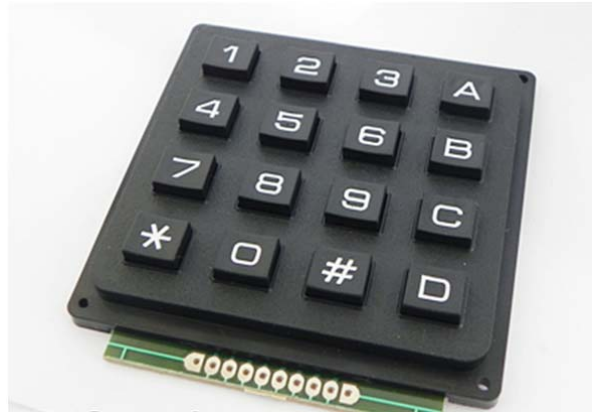


Figura 1. 6: Teclado Matricial de 4 x 4

1.4.4 POTENCIÓMETROS

Un potenciómetro es una resistencia cuyo valor es variable. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie, en la figura 1.7 se puede apreciar un potenciómetro de una sola vuelta modelo 3362p, apto para la colocación en placas electrónicas .



Figura 1. 7: Potenciómetro una vuelta 3362p

Existen también potenciómetros multivuelta los cuales permiten realizar un ajuste fino de la resistencia, en los que el cursor va unido a un tornillo desmultiplicador, de modo que para completar el recorrido necesita varias vueltas del órgano de mando, en la figura 1.8 se los puede apreciar.

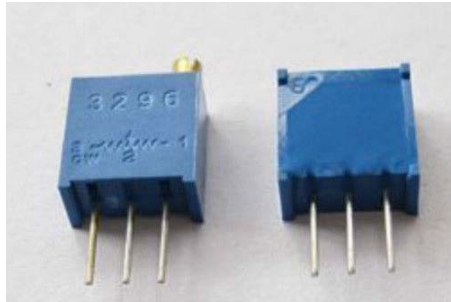


Figura 1. 8: Potenciómetros multivuelta

1.4.5 SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en variables eléctricas. Las variables a detectarse pueden ser diversas como por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. El sensor es capaz de entregar una variable eléctrica como puede ser: resistencia eléctrica, una capacidad, tensión eléctrica, corriente eléctrica, etc.

La temperatura puede ser censada mediante diversos dispositivos, entre estos se pueden encontrar los termopares que entregan una salida de voltaje, RTDs que ofrecen una variación de resistencia como salida, termistores que de igual manera varían su resistencia en función a la temperatura.

1.4.6 DISPLAYS DE 7 SEGMENTOS

Son dispositivos electrónicos utilizados para representar números o caracteres, están compuestos por diodos LED organizados de tal manera que hacen posible la representación de los números del 0 al 9 y de algunos caracteres, se puede distinguir 2 tipos de displays de 7 segmentos, los de cátodo común, donde los cátodos de cada LED están unidos a un mismo pin, estos displays se activan con un 1 lógico a la entrada, y los de ánodo

común en donde los ánodos de los LEDs están unidos a un solo pin, este tipo de displays se activan con un 0 lógico.

Cada segmento que forma el display está denominado con las letras a, b, c, d, e, f y g respectivamente como se aprecia en la figura 1.9, están ensamblados de forma que se permita activar cada segmento por separado consiguiendo formar cualquier dígito numérico.

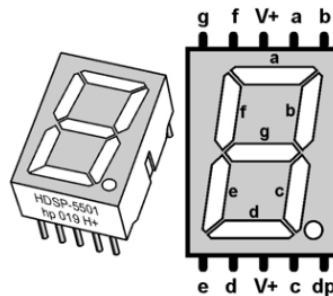


Figura 1. 9: Esquema de Pines de un Display de Ánodo común

Fuente: [6]

1.4.7 LEDS

Un led es un diodo emisor de luz, el cual funciona bajo el principio de que cuando los electrones se recombinan con los huecos en el dispositivo, liberan energía en forma de fotones. Este efecto es llamado electroluminiscencia y el color de la luz se determina según la energía que contiene el fotón [7].

Son utilizados como indicadores y es casos solo como iluminación, pueden emitir luz de alto brillo en el espectro infrarrojo, visible y ultravioleta, en la figura 1.10 se puede apreciar la forma física de un LED y su simbología.

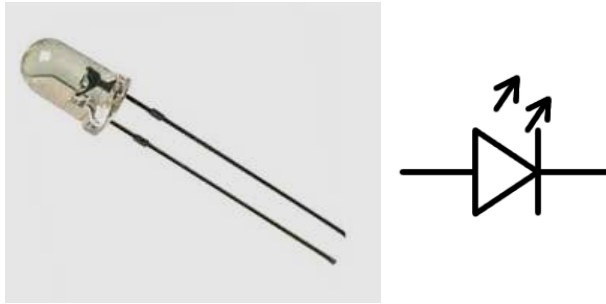


Figura 1. 10: LED y su simbología

1.4.8 LCD

Una pantalla de cristal líquido o LCD es una pantalla plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. Su consumo es muy bajo por lo que es utilizado en muchas aplicaciones, cada píxel de un LCD típicamente consiste de una capa de moléculas alineadas entre dos electrodos transparentes, y dos filtros de polarización, los ejes de transmisión de cada uno que están perpendiculares entre sí.

El módulo PC1602 contiene un LCD y un controlador, esto hace más fácil la comunicación del LCD con cualquier microcontrolador, este LCD se divide en 2 líneas horizontales donde se puede escribir 16 caracteres a lo largo, es por esto que se representa como LCD de 16 x 2, cada carácter se representa en una matriz de pixeles de 5x7. En la figura 1.11 se muestra un módulo PC1602, este módulo se puede comunicar con el microcontrolador mediante un bus de 4 u 8 bits.



Figura 1. 11: Modulo LCD PC1602A

Fuente: [6]

1.4.9 GLCD

Son pantallas LCD que permiten visualizar gráficos, una de las características de estos LCDs es que poseen una memoria RAM igual al número de pixeles que posea el LCD.

Los módulos LCD utilizan un controlador el cual generalmente es el ST7920, son de bajo consumo, utilizan de 2.7 a 5.5 V, se pueden comunicar mediante un bus de 4 u 8 bits, permite mostrar 8 líneas de 16 caracteres cada una. En la figura 1.12 se puede ver un GLCD de 128x64 pixeles.

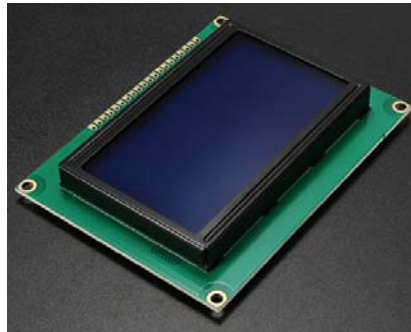


Figura 1. 12: Pantalla GLCD de 128x64 pixeles

1.4.10 MOTORES DC

El motor de corriente directa es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción del campo magnético.

a. MOTORES DE DC DE IMÁN PERMANENTE

Como su nombre lo dice poseen un imán permanente en su estructura, basa su funcionamiento en el rechazo que se produce entre el campo magnético que rodea al electroimán del rotor y el campo magnético de un imán permanente colocado de forma fija en el cuerpo del motor.

Tienen algunas ventajas de rendimiento frente a los motores síncronos de corriente continua de tipo excitado, son más pequeños, más ligeros, más eficaces y fiables que otras máquinas eléctricas alimentadas individualmente.

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos de corriente directa o continua se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos de un imán permanente cuando, de acuerdo con la Ley de Lorentz, interactúan con los polos magnéticos de un electroimán que se encuentra montado en un eje. Este electroimán se denomina “rotor” y su eje le permite girar libremente entre los polos magnéticos norte y sur del imán permanente situado dentro de la carcasa o cuerpo del motor.

Cuando la corriente eléctrica circula por la bobina de este electroimán giratorio, el campo electromagnético que se genera interactúa con el campo magnético del imán permanente. Si los polos del imán permanente y del electroimán giratorio coinciden, se produce un rechazo y un torque magnético o par de fuerza que provoca que el rotor rompa la inercia y comience a girar sobre su eje en el mismo sentido de las manecillas del reloj en unos casos, o en sentido contrario, de acuerdo con la forma que se encuentre conectada al circuito la pila o la batería.

1.4.11 MOTORES PASO A PASO UNIPOLARES

Los motores paso a paso son dispositivos electromecánicos que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados dependiendo de sus entradas de control.

Este motor se caracteriza por ser más preciso en cuanto a su velocidad, movimiento, enclavamiento y repetitividad en cuanto al posicionamiento [6].

Los motores paso a paso unipolares suelen tener 5 ó 6 cables de salida dependiendo de su conexionado interno. Se caracterizan por ser más simples de controlar, estos utilizan un cable común a la fuente de alimentación y posteriormente se van colocando las otras líneas a tierra en un orden específico para generar cada paso, si tienen 6 cables es porque cada par de bobinas tiene un común separado, si tiene 5 cables ya que las cuatro bobinas tiene un solo común; un motor unipolar de 6 cables puede ser usado como un motor bipolar si se deja las líneas del común al aire, la disposición de las bobinas se puede apreciar en la figura 1.13.

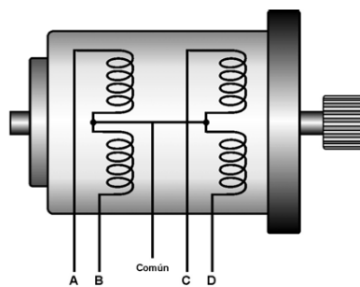


Figura 1. 13: Conexión de las bobina de un motor PAP Unipolar

Fuente: [6]

Para conseguir que el motor a pasos logre completar una revolución se deben encender las bobinas en una secuencia específica, descrita en la figura 1.14.

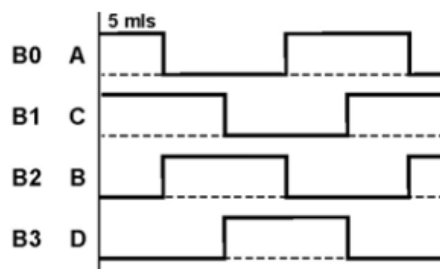


Figura 1. 14: Secuencia de pulsos para funcionamiento del motor a pasos unipolar

Fuente: [6]

1.4.12 SERVOMOTORES

Un servomotor es un dispositivo que tiene la capacidad ubicar su eje en posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular.

El servomotor posee un circuito de control, en donde un potenciómetro está conectado al eje central del servomotor como referencia de su posición, la resistencia va a ser proporcional a la posición angular. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados, por lo que se puede controlar su posición de 0 a 180 grados.

Estos motores poseen una caja reductora que es la que le brinda un alto torque, lo cual lo hace ideal para aplicaciones en robótica y radio control, todas las partes de un servomotor se pueden apreciar en la figura 1.15.

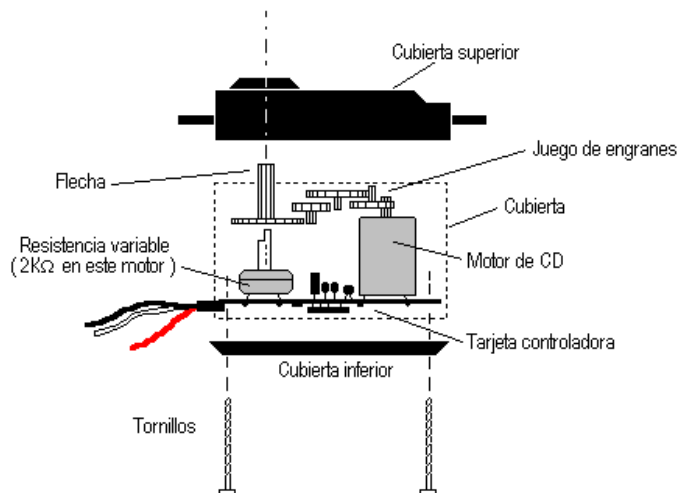


Figura 1. 15: Partes de un servomotor

Fuente: [8]

El control del servomotor se realiza mediante PWM o modulación del ancho de pulso, la longitud del pulso determinará el giro del motor. Un pulso de 0.5 a 1.4 ms hará que el motor gire en sentido horario, si la longitud del

pulso esta entre 1.6 a 2 ms el motor girará en sentido anti horario, y si se da pulsos de 1.5 ms el motor permanecerá en una posición neutra (90 grados).

1.5 COMUNICACIÓN

1.5.1 SERIE

Es una interfaz de comunicaciones de datos digitales, la cual se caracteriza por transmitir los datos bit a bit enviando un solo bit a la vez en serie.

La comunicación serie puede ser de tres tipos:

a. SIMPLEX

En este caso el emisor y el receptor están perfectamente definidos y la comunicación es unidireccional.

b. DUPLEX, HALF DUPLEX O SEMI-DUPLEX

Los 2 extremos del sistema de comunicación cumplen funciones de transmisor y receptor y los datos se desplazan en ambos sentidos pero no de manera simultánea.

c. FULL DUPLEX

El sistema es similar al duplex, pero los datos se desplazan en ambos sentidos simultáneamente. Para que sea posible ambos emisores poseen diferentes frecuencias de transmisión o dos caminos de comunicación separados, mientras que la comunicación semi-duplex necesita normalmente uno solo. Para el intercambio de datos entre computadores este tipo de comunicaciones son más eficientes que las transmisiones semi-dúplex.

La comunicación serie puede darse de manera síncrona y asíncrona según el uso o no de una señal de reloj:

a. COMUNICACIÓN SÍNCRONA

Los datos son enviados un bit a continuación de otro por una línea que une la salida del transmisor con la línea de recepción, el transmisor y el receptor son sincronizados con una línea extra que transmite pulsos de reloj que básicamente le indican al receptor cuando leer un pulso.

b. COMUNICACIÓN ASÍNCRONA

Utiliza una técnica que recurre a “encapsular” los datos con un bit de inicio y uno o dos bits de parada, así no es necesaria la línea de reloj, mientras el estado de la línea de recepción está en alto se asume que no existe transmisión.

Cuando la línea de comunicación cambia de estado se recibe el bit de inicio, el receptor interpreta este cambio como el inicio de la transmisión.

La comunicación serie utiliza el protocolo RS232, se incluye actualmente en los computadores, conocido como puerto serial y sirve para comunicarse con otras computadoras además del mouse, programadores, impresoras, etc [6].

Establece que un 1 lógico se represente con un voltaje entre -3V y -15V, mientras que un 0 lógico se represente con un voltaje entre +3V y +15V para la transmisión y que un 1 lógico se represente con un voltaje entre -3V y -13V, mientras que un 0 lógico se represente con un voltaje entre +3V y +13V para la recepción.

La trama utilizada para la comunicación serie RS 232 se la puede apreciar en la figura 1.16.

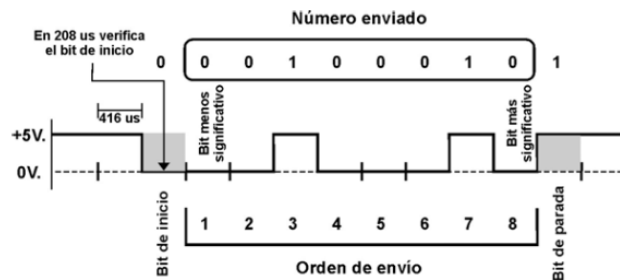


Figura 1. 16: Trama de un dato según el protocolo serie RS 232

Fuente: [6]

1.5.2 I2C

Es un bus de comunicaciones serie desarrollado por la compañía Philips, la primera versión data del año 1992 y la versión 2.1 del año 2000.

La velocidad es de 100 kbit/s en el modo estándar, aunque también permite velocidades de 3.4 Mbit/s. Es un bus muy usado en la industria, principalmente para comunicar microcontroladores y sus periféricos en sistemas integrados.

El bus I²C necesita sólo 2 líneas para transmitir y recibir datos, estos son: para datos (SDA) y para la señal de reloj (SCL), esta forma de comunicación utiliza una sincronía con un tren de pulsos que viaja en la línea SCL, de tal manera que en los flancos negativos se revisan los datos RX o TX. Su velocidad de transmisión puede ser de 100Kbits/seg en el modo normal [6].

Cada dispositivo conectado al bus tiene un código de dirección seleccionable mediante software, por lo que existe una relación permanente Master/Slave. El Master es el dispositivo que inicia la transferencia en el bus y genera la señal de reloj (SCL), y el Slave es el dispositivo direccionado, sin embargo cada dispositivo reconocido por su código (dirección), puede operar

como transmisor o receptor de datos, ya que la línea (SDA) es bidireccional.
[6]

Las tramas de datos en el bus I2C tienen el formato que se muestra en la figura 1.17:



Figura 1. 17: Trama de Datos utilizada en la comunicación I2C

Fuente: [6]

El bus está libre cuando SDA y SCL están en estado lógico alto, en estado bus libre, cualquier dispositivo puede ocupar el bus I²C como maestro.

El maestro comienza la comunicación enviando un patrón llamado "start condition" y se dirige al dispositivo con el que quiere hablar, enviando un byte que contiene los siete bits (A7-A1) que componen la dirección del dispositivo esclavo con el que se quiere comunicar, y el octavo bit (A0) de menor peso se corresponde con la operación deseada (L/E), lectura=1 (recibir del esclavo) y escritura=0 (enviar al esclavo), el esclavo responde enviando un bit de ACK que le indica al dispositivo maestro que el esclavo reconoce la solicitud y está en condiciones de comunicarse.

El maestro envía la dirección del registro interno del dispositivo que se desea leer o escribir, el esclavo responde con otro bit de ACK, en este momento el maestro puede empezar a leer o escribir bytes de datos. Todos los bytes de datos deben constar de 8 bits, el número máximo de bytes que pueden ser enviados en una transmisión no está restringido.

Cuando la comunicación finaliza, el maestro transmite una "stop condition" para dejar libre el bus, después de la "stop condition", es obligatorio para el bus estar idle durante unos microsegundos.

1.5.3 ONE WIRE

Es un protocolo de comunicaciones en serie diseñado por Dallas Semiconductor. Está basado en un bus, un maestro y varios esclavos de una sola línea de datos en la que se alimentan. Por supuesto, necesita una referencia a tierra común a todos los dispositivos.

La línea de datos/alimentación requiere una resistencia de pull-up conectada a la alimentación.

a. ENVIÓ Y RECEPCIÓN DE DATOS

Para enviar un bit a 1 el maestro se lleva a 0 voltios la línea de datos durante 1-15 microsegundos. Para enviar un bit a 0 el maestro se lleva a 0 voltios la línea de datos durante 60 microsegundos, los dispositivos esclavos leen el bit aproximadamente a los 30 microsegundos después del flanco de bajada de cada bit.

Cuando el maestro lee los datos del dispositivo esclavo pone 0 voltios durante 1-15 microsegundos en la línea de datos y a partir de ese momento el esclavo no hace nada (la señal se mantiene en 5 voltios) si quiere enviar un 1 lógico o mantiene la señal en 0 voltios hasta los 60 microsegundos si quiere enviar un 0 lógico, los datos se envían o reciben en grupos de 8 bits. Para iniciar una comunicación se reinicia el bus. El protocolo puede incluir detección de errores transmitiendo códigos de detección de errores (CRC).

1.5.4 BLUETOOTH

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles.
- Eliminar los cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación a un máximo 720 kbit/s (1 Mbit/s de capacidad bruta) con rango óptimo de 10 m (opcionalmente 100 m con repetidores).

Opera en la frecuencia de radio de 2,4 a 2,48 GHz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en Full Duplex con un máximo de 1600 saltos por segundo. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1MHz; esto permite dar seguridad y robustez.

En la actualidad existen módulos que permiten comunicar ciertos dispositivos de usando la tecnología bluetooth, tal es el caso del módulo HC-06 que recibe datos de manera serie, y permite enviar los de forma inalámbrica mediante el protocolo bluetooth, este puede funcionar como únicamente como esclavo, en la figura 1.18 se puede ver la forma física del módulo.

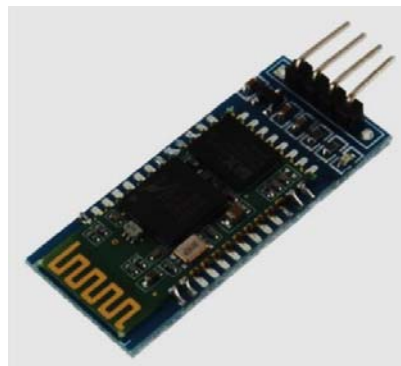


Figura 1. 18: Modulo de transmisión Bluetooth

1.5.5 COMUNICACIÓN RADIO FRECUENCIA RF

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre 3 Hz y 300 GHz. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro, se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

Existen módulos especializados en la transmisión y recepción de señal RF en la figura 1.19 se aprecian los módulos, donde el transmisor está situado a la izquierda y el receptor a la derecha.

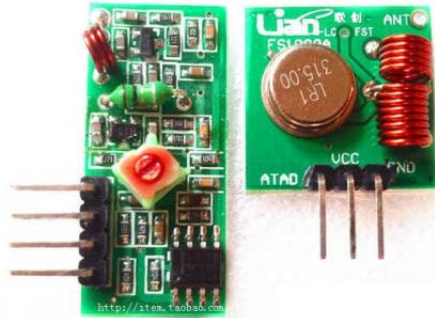


Figura 1. 19: Módulos de Transmisión y recepción de Radio frecuencia.

Estos módulos tienen las siguientes características técnicas:

Transmisor:

- Voltaje de operación: 3V - 12V
- Corriente de Operación: 9mA a 40 mA
- Tipo de Modulación: ASK
- Potencia de transmisión: 25mW (315MHz at 12V)

Receptor:

- Voltaje de operación: 5.0VDC +0.5V
- Corriente de Operación: ≤ 5.5 mA
- Frecuencia de trabajo: 433MHz
- Ancho de Banda: 2MHz

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA TARJETA ENTRENADORA

2.1. DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES

Para la organización de los elementos de este proyecto se ha considerado dividir en varios bloques, donde cada bloque agrupa los dispositivos con características comunes y su función, esto se realiza con el fin de que facilite la comprensión del propósito que tiene cada dispositivo en la tarjeta:

La tarjeta está dividida en los siguientes bloques:

- Programador
- Bloque de Visualizadores
- Bloque de Actuadores
- Bloque de Comunicaciones
- Bloque de Periféricos de Entrada

2.1.1. PROGRAMADOR

Este programador muy compacto y versátil, se comunica vía USB con el computador mediante la librería V- USB, la cual permite comunicar casi cualquier microcontrolador AVR en modo USB, esta librería tiene la licencia GNU, utiliza un ATmega 8 como maestro, el cual se comunica de manera serie con el protocolo SPI con el microcontrolador a programar, para esto se utilizan los pines MOSI, MISO y SCK, en la figura 2.1 se puede apreciar el hardware necesario para la implementación del programador.

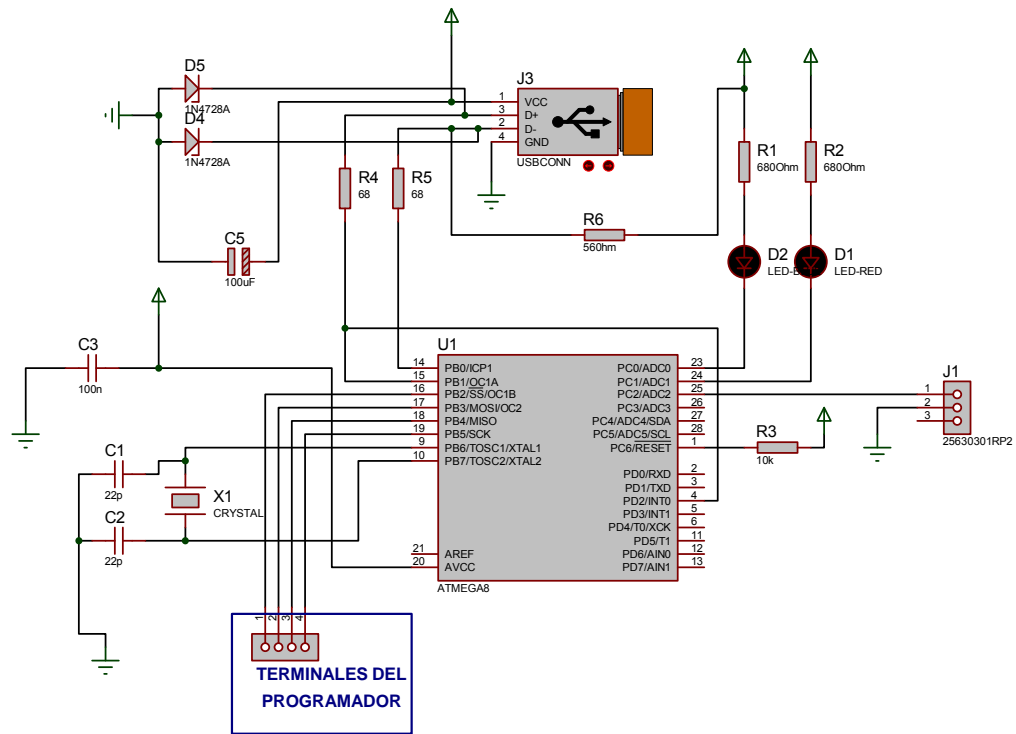


Figura 2. 1: Circuito de programador de AVR

El programador está conectado mediante 2 DIP switches a un zócalo de 40 pines y a uno de 28 pines, los DIP switches permiten seleccionar el tipo de integrado que se vaya a programar, en este caso se puede elegir si el circuito integrado a programar es de 28 pines o de 40 pines, nunca pueden estar los 2 DIP switches activados simultáneamente.

2.1.2. BLOQUE DE VISUALIZADORES

Este bloque contiene todos los elementos que son utilizados para la visualización, para esto se consideró diferentes tipos de visualizadores los cuales satisfacen las necesidades que el estudiante tiene para la realización de sus proyectos.

En este bloque se encuentran los siguientes elementos:

- Leds
- Matriz de Leds 8 x8

- Displays de 7 segmentos
- LCD Alfanumérico de 16 x 2
- LCD Grafico GLCD 128 x 64
- TFT LCD 2.8' Táctil

En la figura 2.2 se puede apreciar una columna de 8 leds utilizada para poder visualizar números de hasta 8 bits o para manipularlos de manera individual. Los leds están conectados a un circuito integrado PCF8574 utilizado para expandir los puertos del microcontrolador y a tierra, el estado de los leds se puede manipular desde el zócalo de 40 pines y del de 28 pines mediante el uso del bus I2C.

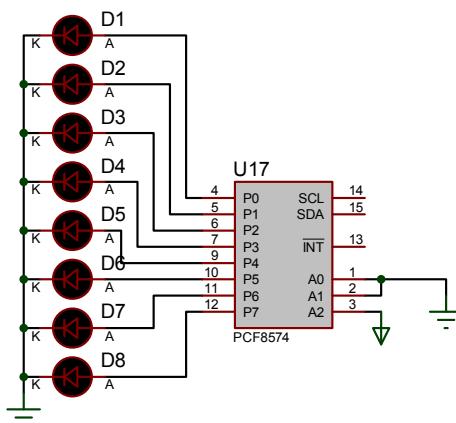


Figura 2. 2: Columna de Leds

Una matriz de leds de 8 x 8 está incluida con el objetivo de simular las pantallas led comerciales, donde se puede realizar letreros desplazables, generar secuencias, etc. Se hizo uso de una matriz bicolor que contiene 64 leds rojos y 64 verdes, posee 24 pines, esta internamente conectado a resistencias de 220 ohmios en los ánodos de los leds como seguridad para los mismos, obedece los comandos de un microcontrolador Atmega16, en donde se encuentran grabados los datos para generar los caracteres de la A a la Z en mayúsculas, minúsculas y caracteres numéricos, este microcontrolador se comunica de forma serie SPI, se pueden enviar datos

desde los 2 zócalos de microcontroladores. En la figura 2.3 se puede ver la conexión de la matriz de leds.

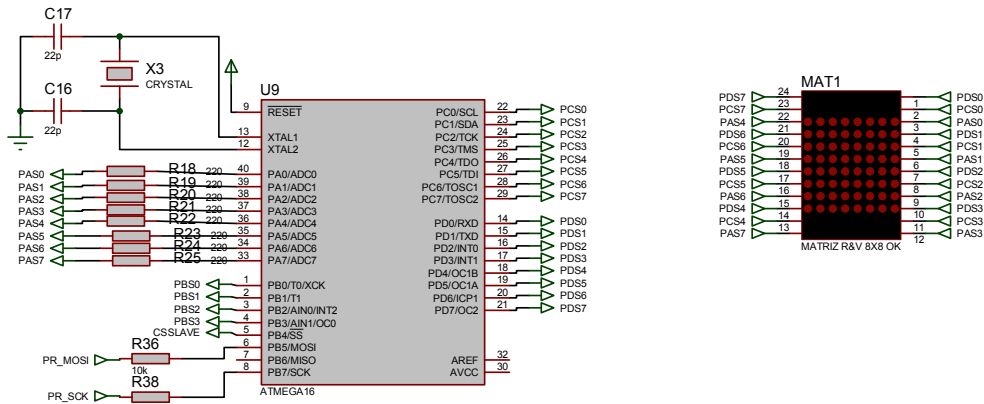


Figura 2. 3: Diagrama de Conexión de la Matriz de Leds

El módulo LCD permite mostrar 32 caracteres, 16 en cada línea, estos caracteres pueden ser alfanuméricos, el módulo está conectado a un circuito integrado PCF8574, a la vez tiene un potenciómetro conectado para poder ajustar el contraste de la pantalla, el LCD puede comunicarse con el zócalo de 40 y 28 pines mediante el protocolo I2C, pero no puede ser utilizado por los 2 al mismo tiempo, en la figura 2.4 se puede apreciar la conexión del módulo LCD.

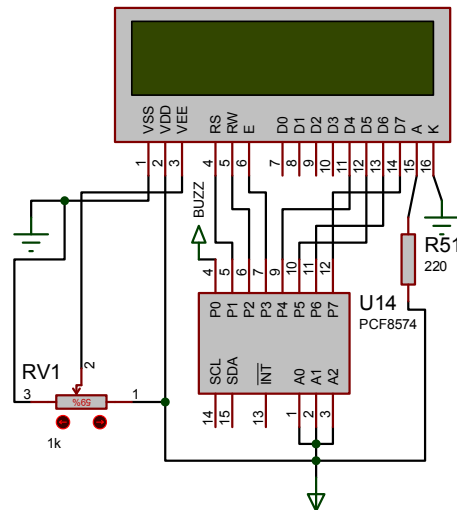


Figura 2. 4: Diagrama de Conexión de un Módulo LCD 16x2

En la Figura 2.6 se puede ver el diagrama de conexión del LCD gráfico, el cual tiene una resolución de 128x64, esta polarizado internamente, las líneas de datos del GLCD están conectadas al puerto D del zócalo de 40 pines mientras que las líneas de control están conectadas al puerto B (0, 1, 2), tiene un potenciómetro para poder regular el contraste, este dispositivo solo puede ser controlado mediante los microcontroladores del zócalo de 40 pines.

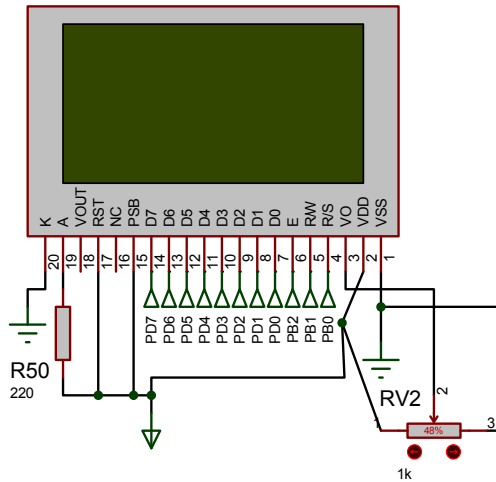


Figura 2. 6: Diagrama de Conexión de GLCD 128x64

La tarjeta incluye un módulo LCD TFT a colores de 2.8 pulgadas, que tiene una resolución de 320 x 240 pixeles, las líneas de datos del TFT están conectadas al puerto D del zócalo de 40 pines mientras que las líneas de control están conectadas al puerto A (0, 1, 2, 3), el TFT incluye una lámina resistiva sensible al tacto y el C.I XPT2046 el cual se comunica con el microcontrolador mediante la comunicación SPI, este módulo está conectado como se puede ver en la figura 2.7.

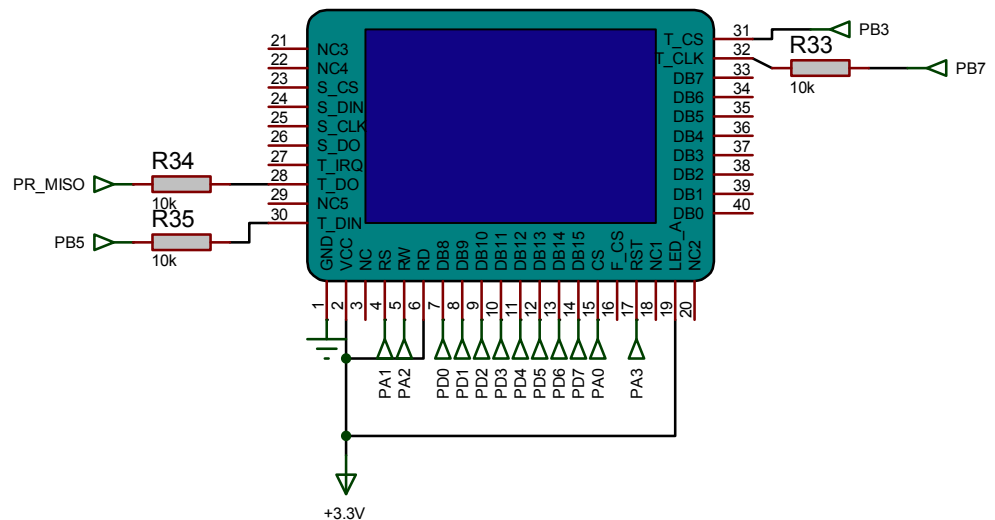


Figura 2. 7: Diagrama de Conexiones del Módulo LCD TFT

2.1.3. BLOQUE DE ACTUADORES

Este bloque contiene los elementos que permiten convertir las señales eléctricas en otras magnitudes tales como movimiento, desplazamiento angular, señales acústicas; etc. Estos dispositivos se conectan al microcontrolador y obedecen la programación que está cargada en el mismo para su funcionamiento, los cuales son:

- Motor DC.
- Motores a paso unipolar.
- Servomotores.
- Zumbador (Pito).
- Conversor Digital- Analógico.

El Motor DC depende de un puente H para su funcionamiento, el mismo que le suministra la corriente necesaria y permite controlar el giro de manera fácil, para el correcto funcionamiento de la tarjeta se requirió de una fuente externa que suministre el voltaje para el motor. El puente H utilizado es el L293d, el cual está conectado a un C.I PCF 8574. Para la conexión del motor se colocó una bornera. El hardware necesario para el manejo del motor DC se lo puede ver en la figura 2.8

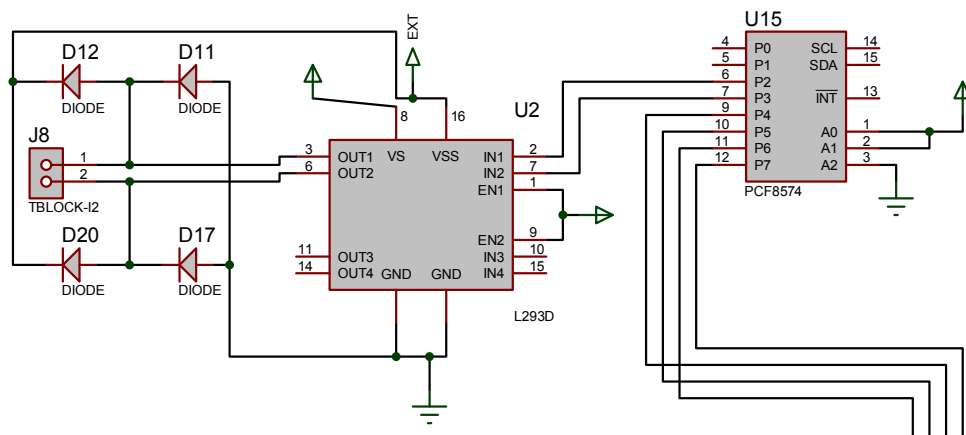


Figura 2. 8: Diagrama de Conexiones para el motor DC

La tarjeta contiene espadines para la conexión de 2 servomotores, los cuales están conectados internamente a 5V, tierra y a una línea de datos que proviene de un C.I PCF8574, por lo que para el manejo de los servomotores se utiliza el bus I2C y puede ser utilizado por los microcontroladores de 28 y 40 pines, en la figura 2.9 se puede apreciar las conexiones necesarias para el funcionamiento de los servomotores.

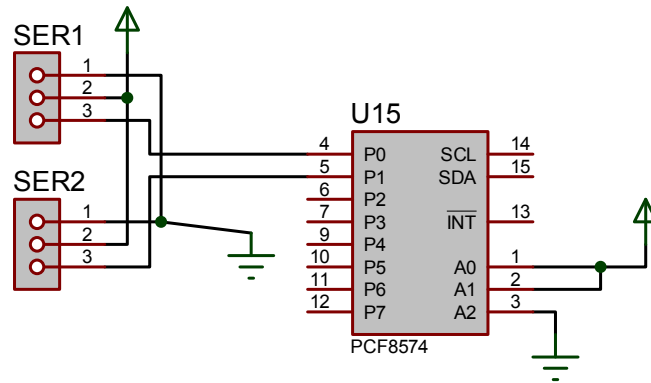


Figura 2. 9: Diagrama de Conexiones de los Servomotores.

El motor a pasos unipolar se controla mediante el driver ULN2003, el cual se conecta internamente a 5 V y a tierra, las líneas de control provienen de un C.I PCF8574, puede ser utilizado para microcontroladores de 28 y 40 pines, las conexiones necesarias para el circuito del motor a pasos se pueden apreciar en la figura 2.10.

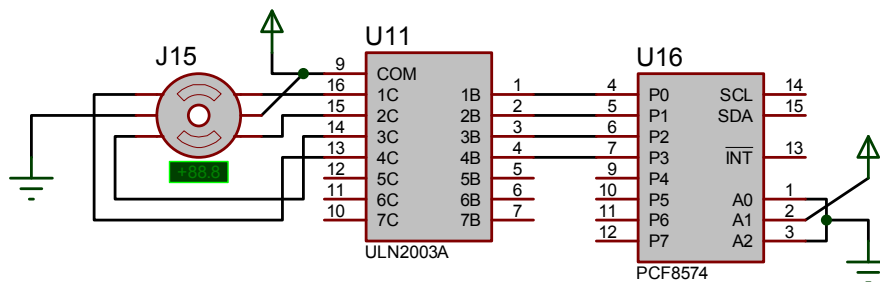


Figura 2. 10: Diagrama de conexiones de los motores a pasos.

La tarjeta también posee un zumbador que permite convertir las señales eléctricas en ondas audibles, se conecta a tierra y a un pin del C.I PCF8574,

puede ser utilizado para microcontroladores de 28 y 40 pines, se puede activar o desactivar mediante el DIP switch DSW10, el circuito se puede apreciar en la figura 2.11.

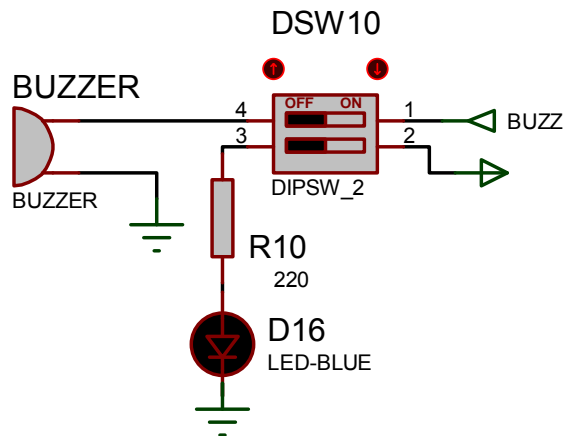


Figura 2. 11: Diagrama de Conexión del Zumbador.

Para la conversión de datos digitales en analógicos se dispone del circuito integrado PCF8591, que se comunica con el microcontrolador mediante el protocolo I2C, tiene un canal de conversión digital a analógico y 4 canales de conversión analógico a digital, un conector de propósito general está dispuesto para la salida y las entradas analógicas. El diagrama del circuito se puede ver en la figura 2.12.

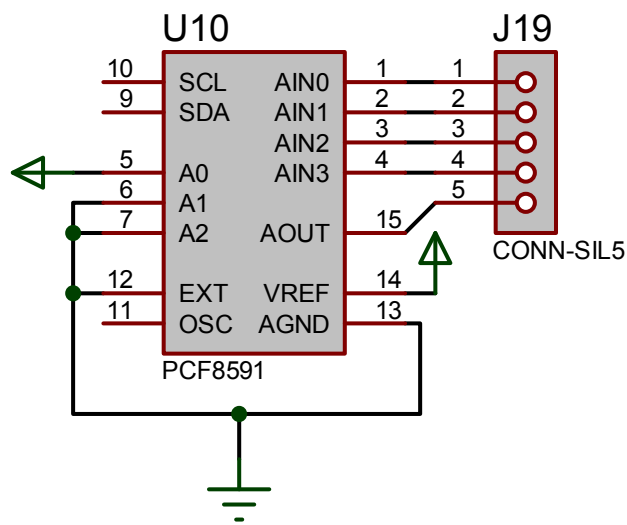


Figura 2. 12: Diagrama de Conexión del Circuito Integrado PCF8591

2.1.4. BLOQUE DE COMUNICACIONES

En este bloque se encuentra el hardware necesario para comunicar el microcontrolador con otros dispositivos utilizando diferentes protocolos, los cuales son:

- Serial RS - 232
- Serial I2C
- 1 Wire
- Bluetooth
- RF

Para la comunicación serial RS 232, se utiliza un circuito integrado para convertir los niveles de voltaje de TTL a RS 232, llamado MAX 232, para su funcionamiento está conectado a varios condensadores internamente y a un conector DB9 hembra, como se puede ver en la figura 2.13, también dispone de un DIP switch DSW7 que permite activar o desactivar esta comunicación.

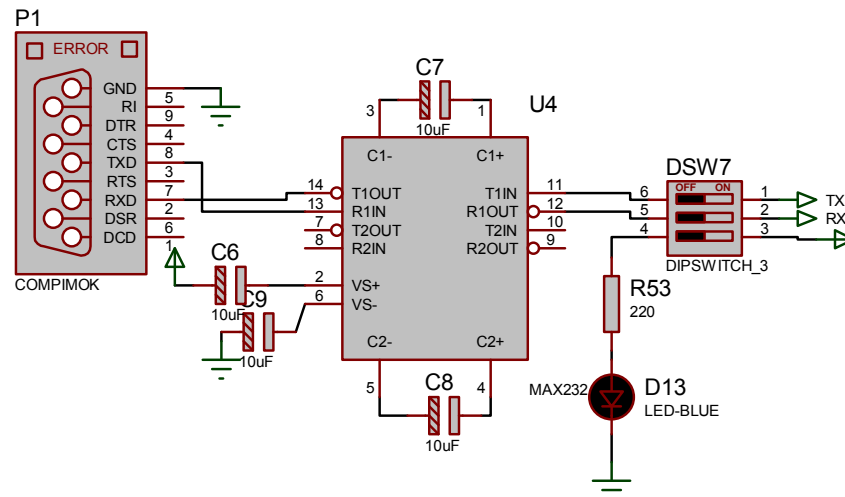


Figura 2. 13: Diagrama de Conexiones para comunicación Serie RS 232.

Para comunicación Serial I2C, no se necesita de hardware externo al microcontrolador, ya que cuenta con 2 pines para la comunicación el pin SDA y el pin SCL.

De igual manera para la comunicación 1 Wire se necesita de una línea de datos y de programación para entablar la comunicación.

Para comunicación bluetooth se recurre módulo de transmisión HC 06 que recibe datos de manera serie y los transmite inalámbricamente mediante el protocolo bluetooth, necesita una polarización de 3.3 V, la conexión del módulo se puede ver en la figura 2.14.

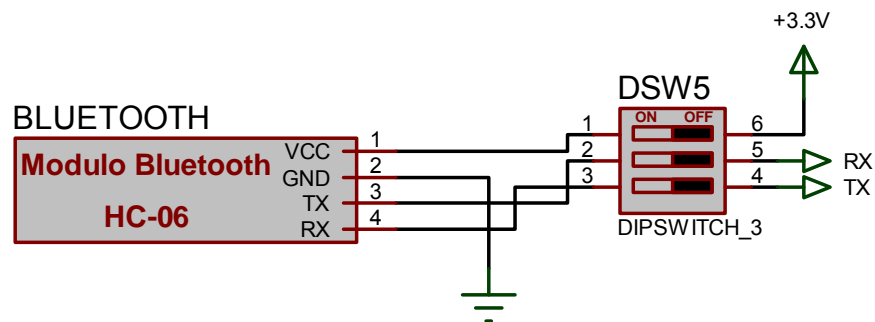


Figura 2. 14: Diagrama de Conexión del Módulo Bluetooth HC 06

Para la comunicación RF se cuenta con 2 módulos, uno para transmisión y otro para recepción, el transmisor puede ser conectado a 5 V de la alimentación interna o se puede alimentar con una fuente externa de hasta 9V ya que de esto depende la potencia de la señal emitida, para esto existe un jumper que permite seleccionar la fuente de voltaje que se va a usar y el modulo receptor funciona con 5 V, existe un DIP switch que permite activar o desactivar los módulos.

En la figura 2.15 se puede ver las conexiones necesarias para los módulos de RF.

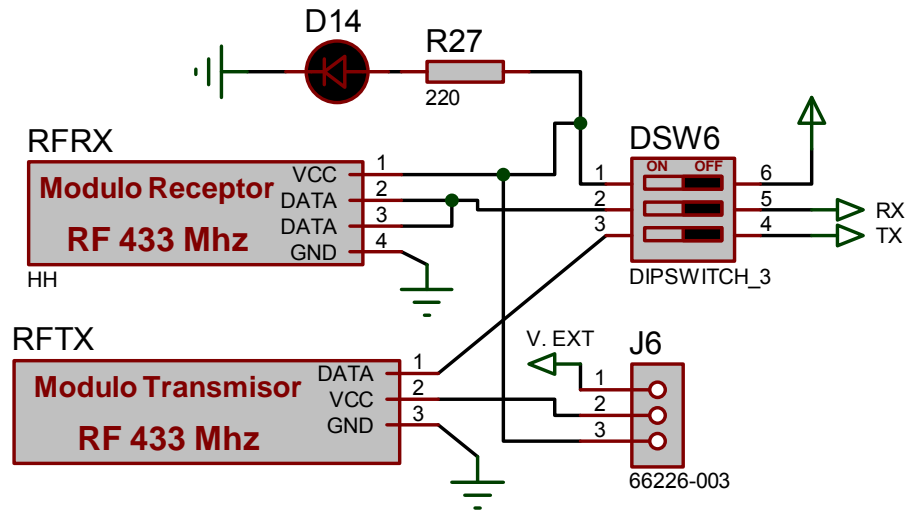


Figura 2. 15: Diagrama de conexiones de los Módulos Transmisor y Receptor de RF

2.1.5. BLOQUE DE PERIFÉRICOS DE ENTRADA

La tarjeta contiene varios periféricos de entrada que permiten tomar señales externas al microcontrolador, los cuales son:

- Pulsadores.
- Teclado matricial.
- Potenciómetros.
- Sensor Temperatura DS18B20.
- Módulo Encoder KY - 40.
- Memoria EEPROM 24LC128

La tarjeta contiene 5 pulsadores normalmente abiertos dispuestos en forma de cruz para simular un control de dirección, están conectados directamente al zócalo del microcontrolador de 40 pines en los pines 3,4,5,6,7 del puerto C, se disponen como se ve en la figura 2.16.

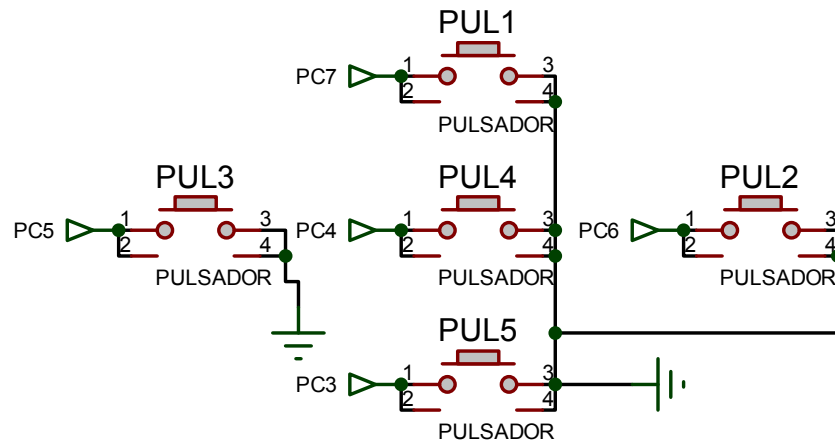


Figura 2. 16: Diagrama de Conexiones de los Pulsadores

La tarjeta contiene un teclado matricial de 16 botones con los números del 0 al 9, letras de la A a la D y los caracteres: numeral y asterisco, apto para efectos didácticos ya que permite ingresar números hexadecimales, los terminales del teclado están conectados a 2 circuitos integrados PCF8574, funciona tanto para el zócalo de 28 como el de 40 pines, su conexión se puede apreciar en la figura 2.17.

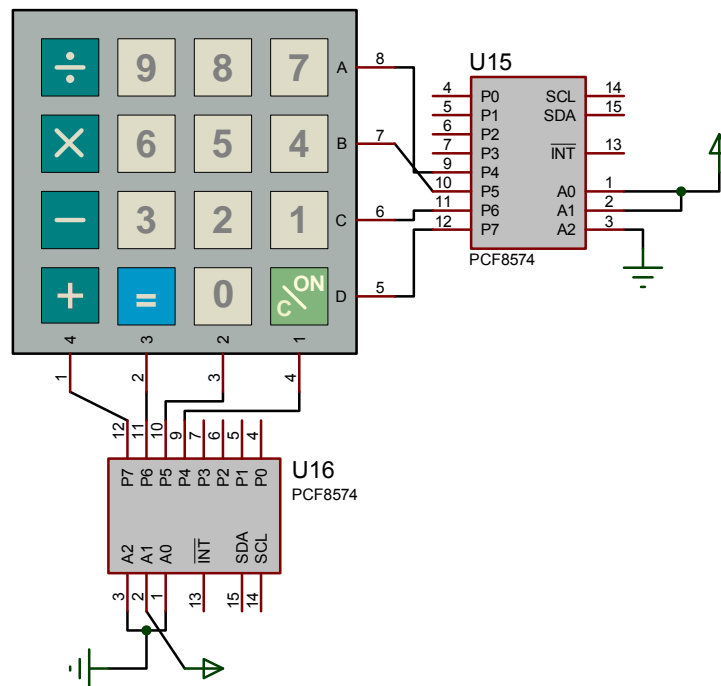


Figura 2. 17: Diagrama de Conexión del Teclado Matricial.

Para la simulación de variables analógicas o para realizar prácticas con resistencias variables, la tarjeta contiene 3 potenciómetros de precisión multivuelta en las entradas analógicas PA5, PA6 y PA7 del zócalo de 40 pines y 2 potenciómetros de las mismas características en el zócalo de 28 pines conectados a los pines PC0 y PC1, como se ve en la figura 2.18.

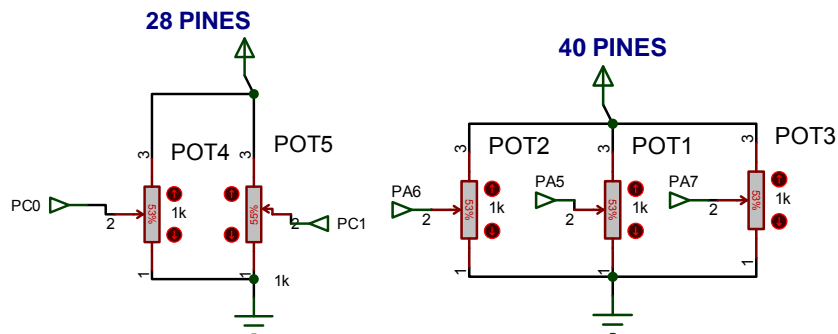


Figura 2. 18 Diagrama de Conexión de los Potenciómetros Multivuelta

Para la medición de temperatura se utiliza un sensor de temperatura DS18B20 que se comunica con el microcontrolador mediante el protocolo 1 Wire, este sensor se polariza internamente con 5V, el pin DQ está conectado a una resistencia de pull-up de $4.7\text{ K}\Omega$ y a VCC, los datos se envían al pin PA4 del zócalo de 40 pines y al pin PB1 del zócalo de 28 pines, para poder conectarlo a cada zócalo existe un DIP switch, como se puede ver en la figura 2.19.

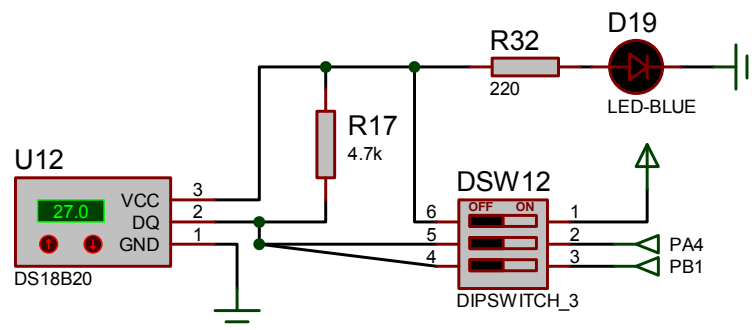


Figura 2. 19: Diagrama de conexión del Sensor de Temperatura DS18B20.

Un encoder modelo KY – 40 es el encargado de censar el movimiento angular, este sensor contiene 3 salidas, SW que es la señal de un pulsador que se activa al presionar el eje del encoder, las 2 salidas restantes son DT y CLK las cuales detectan el movimiento angular del encoder, estas 2 están desfasadas para poder establecer el sentido de giro del encoder, DT está conectado al pin PC3 y CLK al pin PC2, puede ser utilizado únicamente desde el zócalo de 40 pines. En la figura 2.20 se muestra la conexión del módulo a la tarjeta.

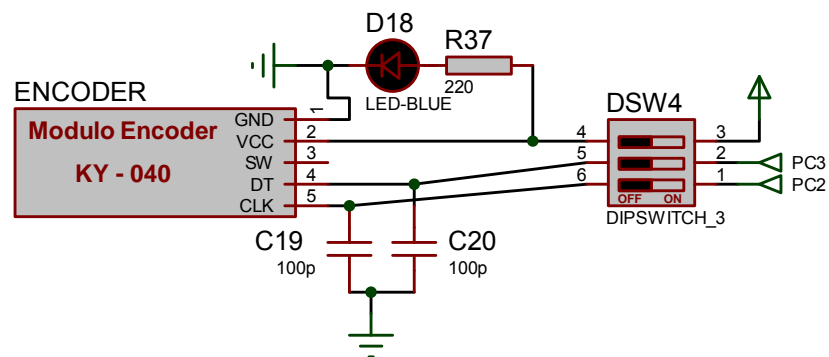


Figura 2. 20: Diagrama de Conexión del Módulo Encoder KY-40.

La memoria EEPROM no es únicamente un periférico de entrada, ya que también sirve como salida para guardar datos, para este fin se recurrió a la memoria EEPROM 24LC128, la cual se comunica mediante el protocolo I2C, tiene una capacidad de 128 Kbit. La conexión de la memoria se visualiza en el diagrama de la figura 2.21. Los pines SCK y SDA están conectados internamente a unas resistencias de pull - up. Se puede leer o escribir desde los 2 zócalos de microcontroladores.

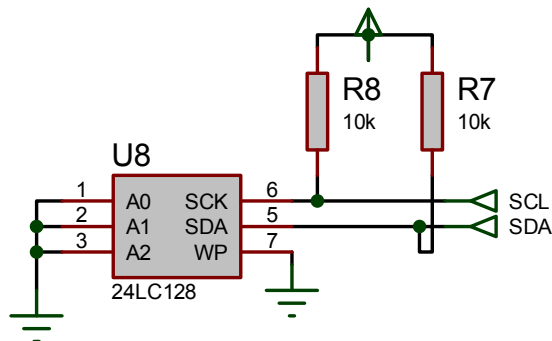


Figura 2. 21: Conexión de la Memoria EEPROM 24LC04B

2.2. DISEÑO DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS

Para el diseño de la placa electrónica se utilizó la herramienta ARES del software PROTEUS, debido a su versatilidad y al conocimiento previo acerca de sus aplicaciones, también se utilizó la herramienta ISIS en donde se pudo simular el funcionamiento de circuito.

Después de realizada la simulación en ISIS, se exporta directamente a la herramienta ARES, en este entorno se muestran todos los elementos en su forma física, se deben colocar los elementos uno por uno de acuerdo a su disposición en la placa, teniendo en cuenta las conexiones de los mismos.

En la Figura 2.22 se puede ver el resultado del circuito al concluir el posicionamiento de cada elemento.

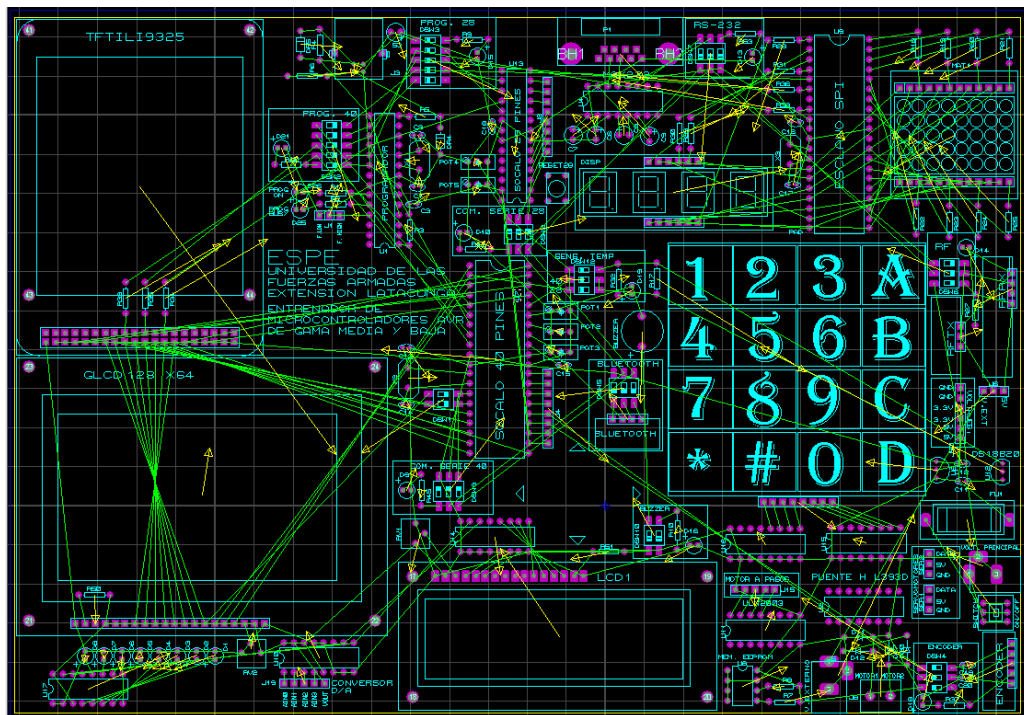


Figura 2. 22: Diseño de la placa entrenadora de AVR en ARES

ARES permite generar una vista en 3D, no se puede apreciar con exactitud el la forma física de los elementos pero permite dar una idea de

cómo van a estar dispuestos los elementos en la realidad, en la figura 2.23 se puede ver en la vista en 3D de la tarjeta.

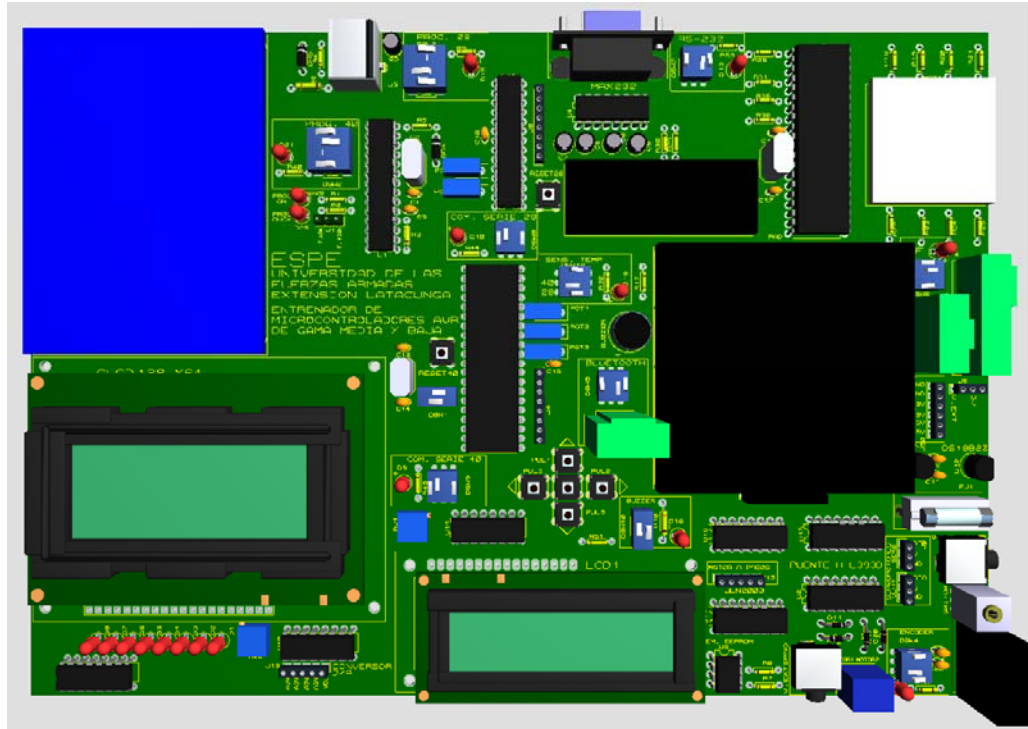


Figura 2. 23: Vista en 3D de la tarjeta entrenadora de AVR

La herramienta de autorouter, permite automatizar la creación de rutas del circuito, esta herramienta optimiza el diseño ya que examina las rutas más cercanas y asegura la conexión de todos los elementos, para esto se debe configurar el ancho de las pistas, para cada red en general se utilizó el tipo T30 para pistas normales y T40 para las pistas de polarización, también se deben definir la reglas de diseño como son el espacio mínimo entre pad y pad que es de 0.25mm, el espacio mínimo entre pista y pista que es de 0.33mm y el espacio mínimo entre pista y pad que es de 0.25mm, la tarjeta está diseñada en doble capa, en la figura 2.24 se puede apreciar el circuito al aplicar esta herramienta.

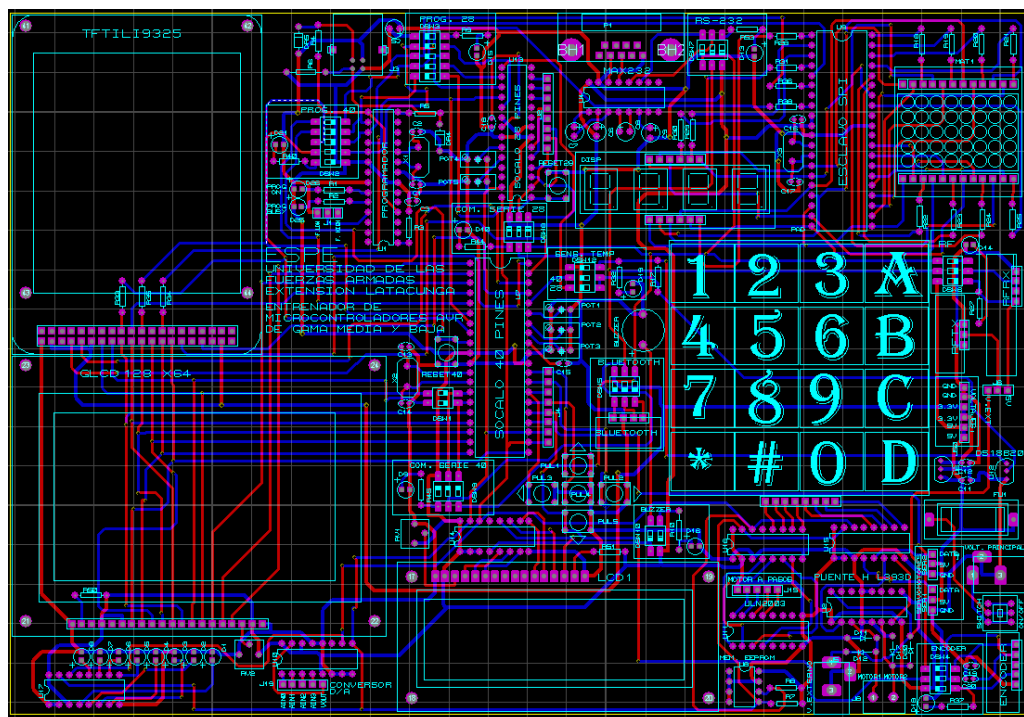


Figura 2. 24: Diagrama de Conexiones de la tarjeta entrenadora de AVR

2.3.IMPRESIÓN DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS

Realizado el diseño de las rutas del circuito, ARES permite generar una imagen que puede ser impresa, en la figura 2.25 y 2.26 se puede apreciar la imagen final que va a ser grabada en la placa de baquelita en la parte inferior y superior respectivamente.

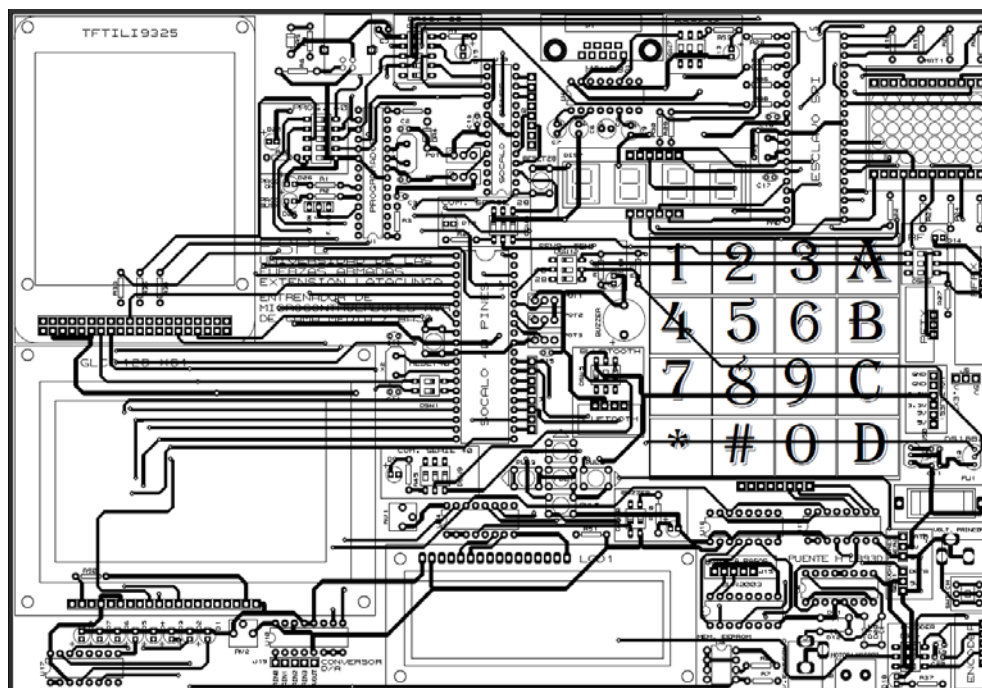


Figura 2. 25: Diagrama de pistas de la parte inferior de la Tarjeta de entrenamiento de AVR.

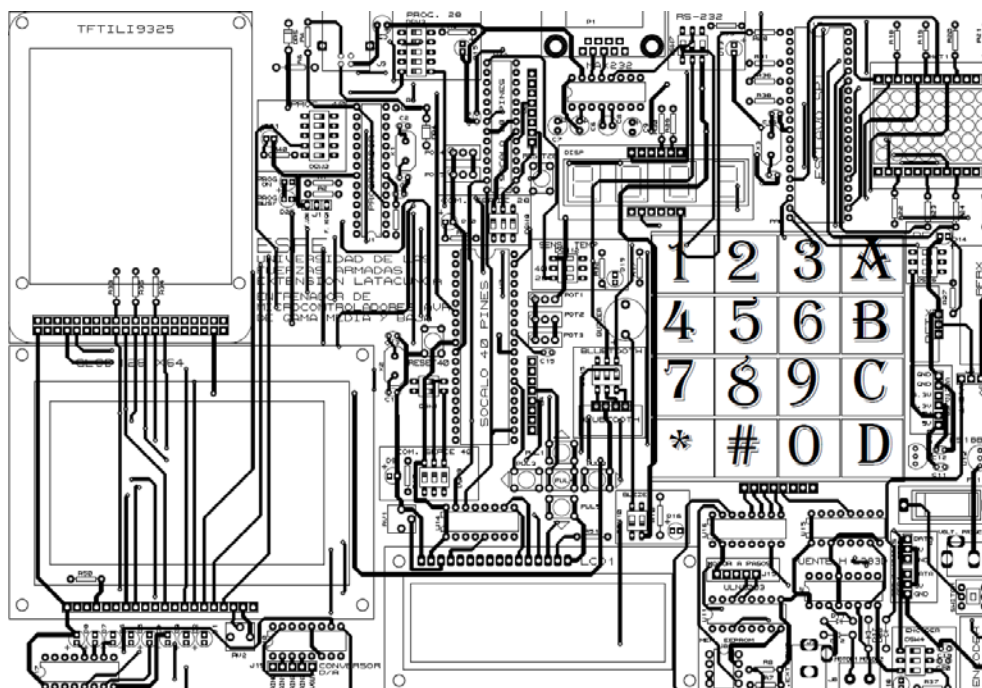


Figura 2. 26: Diagrama de las pistas de la parte superior de la Tarjeta de entrenamiento de AVR.

CAPÍTULO III

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1. PRUEBAS DEL PROGRAMADOR

El programador se probó con los siguientes microcontroladores, empleando un oscilador de 12 MHz para los microcontroladores de 40 pines y el reloj interno de 4 MHz para los integrados de 28 pines, y la fuente de alimentación de la tarjeta entrenadora de 5 Voltios, obteniendo un resultado satisfactorio.

Tabla 3. 1

Tabla de microcontroladores programados con la tarjeta entrenadora

C.I 28 Pines	C.I 40 Pines
Atmega 8	Atmega 16
Atmega 88	Atmega 162
Atmega 168	Atmega 164
Atmega 328	Atmega 32
	Atmega 324

3.2. PRUEBAS DE LOS VISUALIZADORES

3.2.1. PRUEBA DE LOS LEDS

Para el funcionamiento de los LEDs se colocaron resistencias de 220 ohmios en serie para limitar la corriente que circula por los LEDs, obteniéndose las mediciones que se aprecian en la tabla 3.2:

Tabla 3. 2

Tabla de mediciones de voltaje y Corriente en un LED

NUMERO DE MEDICION	VOLTAGE EN EL LED	CORRIENTE EN LA SALIDA
1	2.96 V	8.00 mA
2	2.96 V	8.01 mA
3	2.95 V	8.00 mA
4	2.96 V	7.99 mA
5	2.96 V	8.00 mA

3.2.2. PRUEBA DE LA MATRIZ DE LEDS

Se comprobó el funcionamiento de cada led de la matriz, individualmente y en conjunto. Tomando en cuenta que la matriz contiene leds rojos y verdes.

En la figura 3.1 se puede observar la prueba de los leds verdes y rojos:

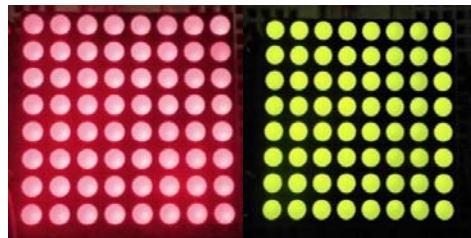


Figura 3. 1: Prueba de leds rojos y verdes de la matriz

También se comprobó el funcionamiento de las matrices formando caracteres como se puede ver en la figura 3.2:

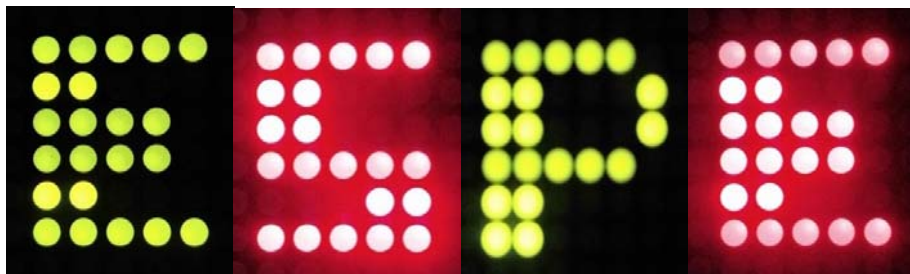


Figura 3. 2: Prueba de matriz de leds visualizando caracteres

3.2.3. PRUEBA DE DISPLAYS DE 7 SEGMENTOS

Estos displays están interconectados entre si internamente, para su manejo los datos deben ser multiplexados, su funcionamiento se muestra en la figura 3.3 en donde los displays visualizan diferentes números enteros.



Figura 3. 3: Prueba de displays visualizando caracteres numéricos

3.2.4. PRUEBA DEL LCD ALFANUMÉRICO DE 16 X 2

El LCD alfanumérico se comunicó de forma paralela al microcontrolador con un bus de 4 bits y de 8 bits obteniendo resultados positivos, a la vez que se llenó todo el LCD con caracteres para comprobar que toda la pantalla LCD funcione correctamente, tal como se observa en la figura 3.4.



Figura 3. 4: Prueba de LCD de mostrando 32 caracteres

3.2.5. PRUEBA DEL LCD GRÁFICO GLCD 128 x 64

El LCD grafico funciona mediante una comunicación paralela de 8 bits con el microcontrolador, este GLCD en modo grafico permite manipular cada pixel individualmente gracias a una memoria gráfica RAM, conocida como

GCRAM, mientras que en el modo normal soporta 32 caracteres de 16 x 16 pixeles o 64 caracteres de 16 x 8 pixeles, en la figura 3.5 se puede ver el GLCD lleno con 64 y 32 caracteres.



Figura 3. 5: Prueba de GLCD mostrando 64 y 32 caracteres

En la figura 3.6 se visualiza el logotipo de la universidad demostrando que se puede manipular cada pixel individualmente tomando los datos desde una matriz.



Figura 3. 6: Prueba de GLCD visualizando imágenes

3.2.6. PRUEBA DEL TFT LCD GRÁFICO

Para la comunicación del TFT LCD con el microcontrolador se transmitieron los datos de forma paralela con un bus de 8 bits, y se usó una fuente de voltaje de 3.3 V para su funcionamiento, las pruebas realizadas a este módulo LCD se las realizaron variando todos los pixeles de la pantalla, teniendo una resolución de 320 x240 pixeles, en la figura 3.7 se puede ver la pantalla entera con diferentes colores.

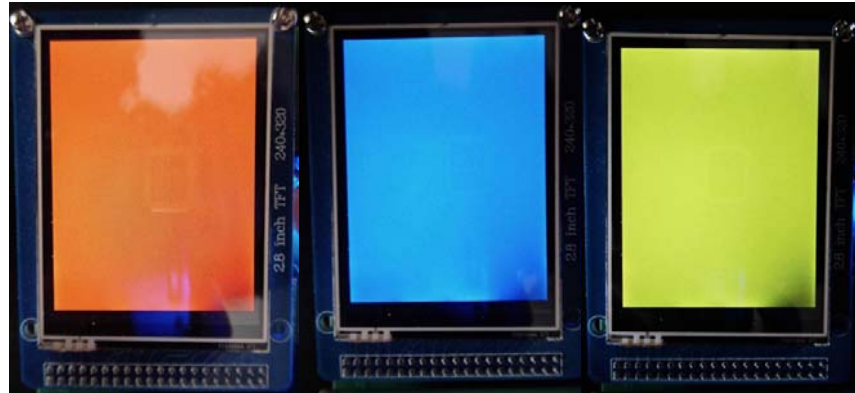


Figura 3. 7: Prueba de TFT, mediante llenado de pantalla con colores amarillo, azul y rojo

Se realizó pruebas de manipulación de pixel por pixel, graficando figuras geométricas como círculos rectángulos, cuadrados, líneas y también colocando letras como se ve en la figura 3.8.

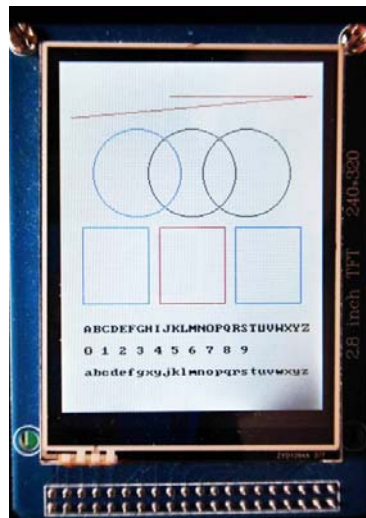


Figura 3. 8: Prueba de TFT visualizando figuras geométricas y caracteres

Para la visualización de imágenes, se recurrió al uso de la memoria EEPROM 24LC128, en donde se guardó la imagen como una matriz de datos, donde el microcontrolador lee los datos de la memoria y los envía al TFT, en la figura 3.9 se observa un ejemplo donde se visualiza el logotipo de la universidad.



Figura 3. 9: Prueba de TFT visualizando Imágenes

El módulo TFT posee una lámina resistiva sensible al tacto y un circuito integrado XPT2046 que permite interpretar las señales que entrega la lámina, para probar esta función del TFT se utilizó la comunicación SPI del microcontrolador con el circuito integrado, este circuito entrega datos que representan las coordenadas X y Y del lugar en donde se detectó un cambio de presión en la superficie de la lámina con una resolución de 8 o 12 bits, las pruebas se las realizo procesando las señales en ambas resoluciones, obteniendo resultados más precisos interpretando los datos con una resolución de 12 bits, en la figura 3.10 se aprecia una aplicación para dibujo en el TFT mediante el uso de la interface táctil.

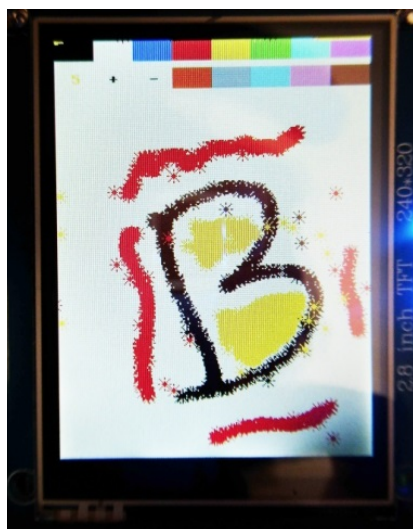


Figura 3. 10: Aplicación de dibujo utilizando de la interface táctil.

3.3. PRUEBAS DE LOS ACTUADORES

3.3.1. PRUEBA DE MOTOR DC

Para probar el motor DC se utilizó diferentes fuentes de voltaje, de 3.3 V, 5V, obteniendo un mejor resultado con la fuente de 5 V, ya que la fuente de 3.3 V no suministraba el voltaje suficiente, no se pudo utilizar la misma fuente del microcontrolador ya que el motor causa demasiadas perturbaciones al mismo, se logró controlar el sentido de giro del motor con gran precisión mediante el puente H L293d, en la figura 3.11 una aplicación donde se controla el sentido de giro del motor DC.



Figura 3. 11: Control de Sentido de Giro de un Motor de DC

3.3.2. PRUEBA DE MOTOR A PASOS UNIPOLAR

Para la prueba del motor a pasos unipolar se empleó una polarización de 5 V, 4 líneas de control y el controlador ULN2003, con esto se logró un control a lazo abierto de la velocidad del motor y del sentido de giro, para que el motor consiga dar una revolución se necesitan de 8 pasos, debido a que posee una serie de engranajes que actúan como caja reductora se puede dar 512 pasos para completar una revolución, en la figura 3.12 se visualiza una práctica orientada al control del sentido de giro y velocidad del motor a pasos.



Figura 3. 12: Control en lazo abierto del sentido de giro y velocidad de un motor a pasos unipolar.

3.3.3. PRUEBA DE SERVOMOTOR

Los servomotores se probaron mediante la generación y variación del ancho de los pulsos que ingresan al mismo, se polarizo con una tensión de 5 V, para hacerlo girar se utilizaron los siguientes valores del ancho de pulso:

Tabla 3. 3

Tabla de Valores de Ancho de Pulso para control de Servomotores

GIRO IZQUIERDA	POSICION NEUTRAL	GIRO DERECHA
0.5mS	1.5 mS	2mS

El motor tiene la capacidad de girar de 0 a 180°, en la figura 3.13 se muestra una práctica realizada para control de sentido de giro de un servomotor.



Figura 3. 13: Control de Sentido de Giro de un Servomotor.

3.3.4. PRUEBA DE CONVERSOR DIGITAL ANALÓGICO

Para la conversión de datos digitales en analógicos con el circuito integrado PCF8591, se tomó diferentes mediciones del voltaje de salida considerando el dato enviado al conversor, estas mediciones se dieron en las siguientes condiciones:

- Frecuencia de Reloj comunicación I2C: 100 KHz
- Voltaje de polarización: 5 V
- Voltaje de Referencia: 5 V
- Carga en la salida: 10 k Ω

De esta manera se obtuvieron las siguientes mediciones expuestas en la tabla 3.4:

Tabla 3. 4

Tabla de Valores de las mediciones en la salida del Conversor DAC

Dato Enviado:	Voltaje de Salida:	Dato Enviado:	Voltaje de Salida:
255	4.95 V	200	3.90 V
255	4.96 V	200	3.91 V
255	4.96 V	200	3.90 V
255	4.95 V	200	3.90 V
150	2.93 V	100	1.95 V
150	2.93 V	100	1.95 V
150	2.93 V	100	1.95 V
150	2.93 V	100	1.95 V
50	0.98 V	10	0.19 V
50	0.98 V	10	0.19 V
50	0.97 V	10	0.19 V
50	0.98 V	10	0.19

3.3.5. PRUEBA DE ZUMBADOR

Para la prueba del zumbador se conectó directamente a una salida del microcontrolador, obteniendo una señal auditiva muy útil como alarma.

3.4. PRUEBAS DE LAS COMUNICACIONES EN LA TARJETA

3.4.1. PRUEBA COMUNICACIÓN SERIE RS 232

La comunicación serie se ensayó mediante la conexión de un microcontrolador con el computador y entre 2 microcontroladores obteniendo resultados favorables en ambos casos, las velocidades de transmisión a las que se transmitió favorablemente se aprecian en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5

Tabla de velocidades de transmisión de datos en la comunicación serie RS 232.

VELOCIDAD DE TRANSMISION (BAUDIOS):
9600 baudios
4800 baudios
2400 baudios
1200 baudios

En la figura 3.14 se visualizan las pantallas del computador y del lcd respectivamente, utilizadas en la comunicación para enviar y recibir datos mediante el protocolo serie RS 232 satisfactoriamente.



Figura 3. 14: Comunicación Serie RS 232 entre el microcontrolador y el computador.

3.4.2. PRUEBA COMUNICACIÓN SERIE I2C

La comunicación serie I2C se empleó para comunicar 2 microcontroladores, y para controlar periféricos tales como el conversor digital análogo y la memoria EEPROM, en todos los casos la comunicación fue exitosa.

Con el microcontrolador trabajando a una frecuencia de 12 MHz, se probó la comunicación I2C con los valores de frecuencia de reloj que se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6

Tabla de frecuencias para transmisión de datos en la comunicación I2C.

Frecuencia de Comunicación I2C
100 KHz
200 KHz
300 KHz
400 KHz

Se utilizó el simulador Proteus, que tiene una herramienta llamada I2C debugger, la cual permite ver de manera transparente cada dato enviado y recibido por los dispositivos en la comunicación I2C,

En la figura 3.15 se muestra una gráfica de una señal proveniente de una entrada analógica del circuito integrado PCF8591, obtenida mediante la comunicación I2C entre el microcontrolador y el circuito integrado.



Figura 3. 15: Comunicación I2C entre el microcontrolador y C.I PCF8591.

3.4.3. PRUEBA COMUNICACIÓN 1 WIRE

Las pruebas de comunicación 1 Wire, se las realizaron entre el microcontrolador Atmega16 y el sensor de temperatura DS18B20, debido a que los microcontroladores AVR usados en esta tarjeta entrenadora no disponen del hardware necesario para esta comunicación, como es el caso de la comunicación I2C y SPI, se debe implementar el protocolo mediante software.

Esta comunicación no necesita señal de reloj, para las pruebas realizadas se debieron ajustar los tiempos de lectura y escritura de acuerdo a las características técnicas del dispositivo conectado, superando estos inconvenientes se logró comunicar estos dispositivos con éxito.

El valor de temperatura adquirido por el microcontrolador mediante el protocolo 1 Wire se muestra en LCD alfanumérico tal como se aprecia en la figura 3.16.



Figura 3. 16: Comunicación 1 Wire entre microcontrolador y Sensor de Temperatura DS18B20.

3.4.4. PRUEBA COMUNICACIÓN BLUETOOTH

La comunicación Bluetooth se entabló entre un microcontrolador AVR y el computador, no se puede comunicar 2 microcontroladores ya que los módulos HC-06 son especializados para trabajar como dispositivos esclavos, las velocidades de transmisión utilizadas en la comunicación con el computador son 9600, 4800 y 24000 baudios obteniendo resultados satisfactorios, en cuanto a la longitud de transmisión se alcanzó una distancia máxima de 7 metros sin obstáculos.

En la figura 3.17 se visualiza la recepción de los caracteres de la A a la Z mediante el protocolo bluetooth en el computador.

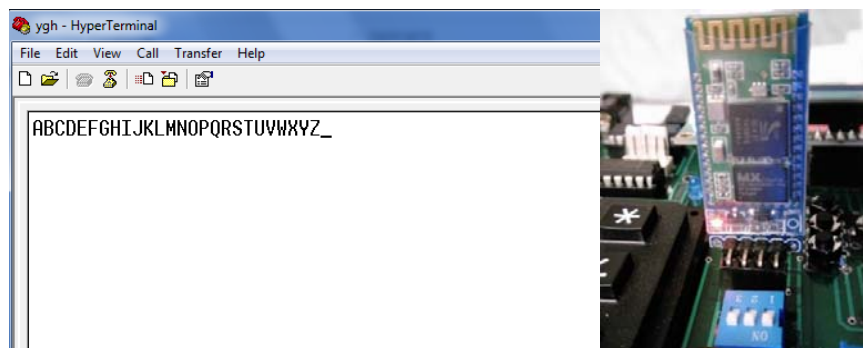


Figura 3. 17: Comunicación Bluetooth entre microcontrolador y el Computador.

3.4.5. PRUEBA COMUNICACIÓN RF

Los módulos RF envían y reciben datos a una frecuencia de 433 Mhz, la comunicación se la realizó entre 2 microcontroladores, para esto se envió datos encapsulados en serie por el transmisor, mientras que el receptor se encargaba de detectar el dato siguiendo el patrón de encapsulamiento consiguiendo asegurar que el dato recibido sea el correcto, realizadas las pruebas se determinó los mejores parámetros para la comunicación los cuales se denotan en la tabla 3.7:

Tabla 3. 7

Parámetros usados en la comunicación RF

Velocidad de Transmisión:	1800 baudios
Polarización del Transmisor:	9 V
Longitud de la Antena	20 cm
Polarización del Receptor:	5 V

La transmisión RF se aprecia en la figura 3.18 donde se envía un número entero representado en el LCD alfanumérico desde el un microcontrolador Atmega8 a un microcontrolador Atmega16 que a su vez visualiza el numero recibido en los displays.

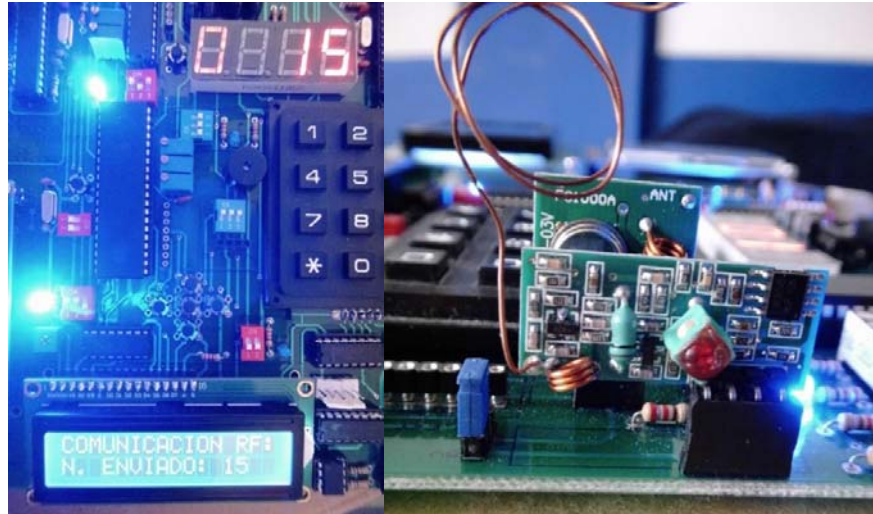


Figura 3. 18: Comunicación RF entre ATmega8 y ATmega16

3.5. PRUEBA DE PERIFÉRICOS DE ENTRADA

3.5.1. PRUEBA DE INTERRUPTORES, PULSADORES Y TECLADO MATRICIAL

La prueba de estos dispositivos se empleó un multímetro para censar la ausencia o presencia de continuidad según la posición del dispositivo.

3.5.2. PRUEBA DE POTENCIÓMETROS

Se realizó la prueba de cada potenciómetro mediante el multímetro, realizando medidas de resistencia en el origen, en la mitad y al final del recorrido del eje del potenciómetro, obteniendo resultados muy precisos de acuerdo al valor nominal.

3.5.3. PRUEBA DE MÓDULO ENCODER

Para testear la funcionalidad de este módulo de suministro una tensión de 5 V, se comprobó la funcionalidad de interruptor que viene incorporado al eje del encoder midiendo la salida SW al pulsar y liberar el interruptor, para constatar el estado de las salidas DT y CLK se giró el eje, obteniendo un

pulso en cada cierto desplazamiento angular en donde la una señal estaba desfasada de la otra para poder determinar el sentido de giro, para completar una revolución, el encoder generó un total de 24 pulsos.

3.6.PRUEBA DE LOS ALGORITMOS DE CONTROL IMPLEMENTADOS CON LA TARJETA ENTRENADORA

Se implementaron 2 tipos de controles, el PID y el Fuzzy Logic, los cuales están enfocados al control de temperatura de la planta de flujo de aire del laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos, para esto se utilizó el sensor de temperatura que viene incorporado en la planta y cuya señal esta acondicionada de 0 a 5 V, entregando un valor de temperatura en el rango de 20 a 70 °C. La señal que ingresa al actuador de la planta obedece un rango de 0 a 5 V generado por la salida analógica de la tarjeta entrenadora.

Las curvas del proceso se visualizaron en el TFT y en el computador utilizando la interfaz RS 232, las variables representadas en las gráficas son set point, variable de proceso y variable de control.

3.6.1. PRUEBA DEL CONTROL PID DISCRETO

Para ajustar los parámetros del control PID se utilizó el método del tanteo, para obtener los valores de la tabla 3.8 de las constantes KP, KD y KI.

Tabla 3. 8

Valores de las constantes KP, KD y KI

Constante	Valor
KP	20
KD	0.018
KI	0.65

Con estos valores y aplicando una señal escalón al proceso se pudo observar el comportamiento del proceso tal como se aprecia en la figura 3.19.

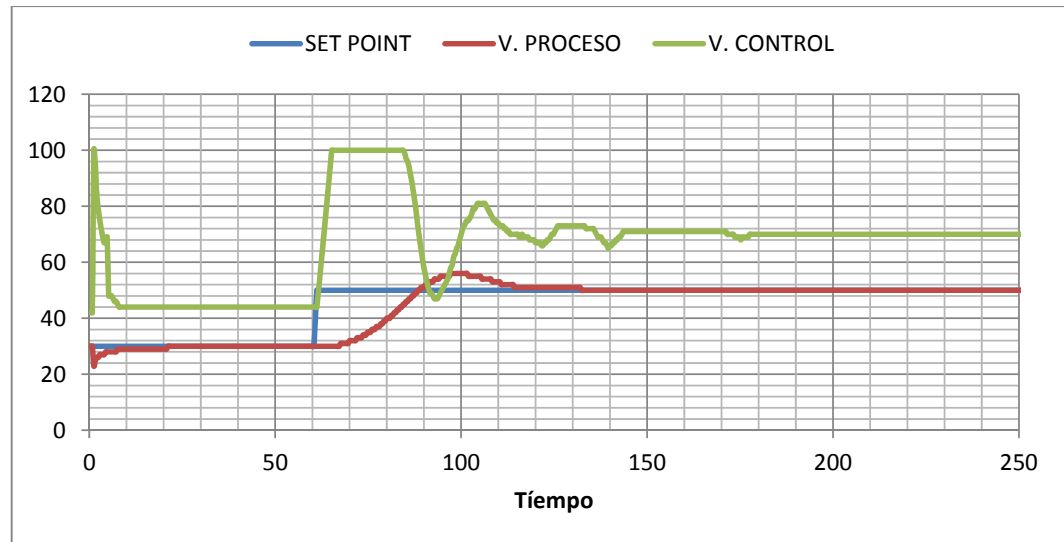


Figura 3. 19: Respuesta del control PID Discreto

En la figura 3.20 se aprecia la reacción del proceso al aplicar señales escalón de manera ascendente y descendente.

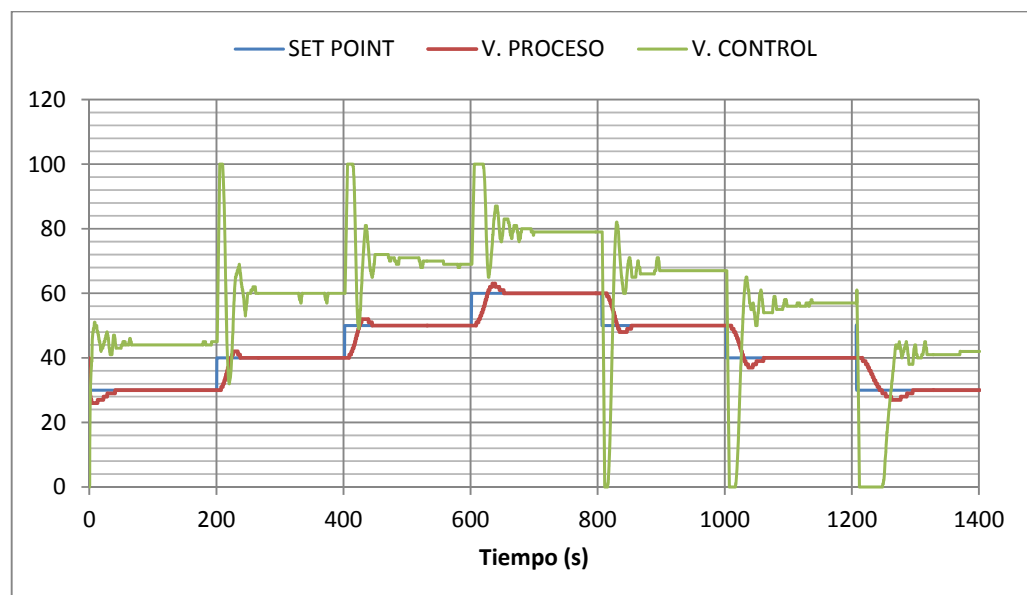


Figura 3. 20: Respuesta del control PID discreto a escalones ascendentes y descendentes

3.6.2. PRUEBA DEL CONTROL FUZZY LOGIC

Para este controlador se consideró como variable de entrada al error, se empleó tres funciones de membresía a la entrada, llamadas error negativo, error positivo y cero organizadas tal como se puede apreciar en figura 3.21

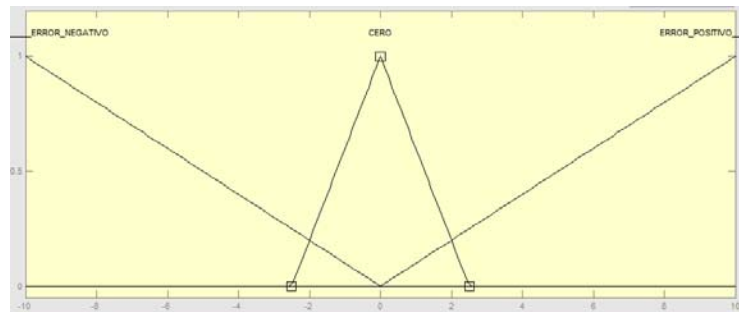


Figura 3. 21: Funciones de membresía del error a la entrada del control

La salida del control Fuzzy Logic está determinada por 3 funciones de membresía calentar, cero y enfriar como se puede ver en la figura 3.21.

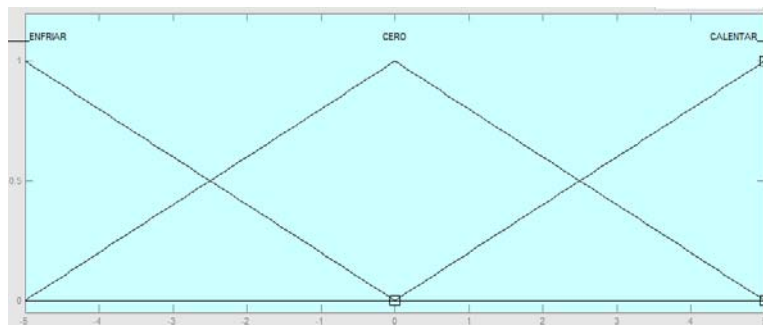


Figura 3. 22: Funciones de membresía de la salida del control

El método Mandami fue usado para la inferencia de las reglas, estas se pueden visualizar en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9

Reglas del controlador difuso

Regla
Si ERROR NEGATIVO entonces ENFRIAR
Si ERROR CERO entonces CERO
Si ERROR POSITIVO entonces CALENTAR

Para la defusificación se utilizó el método de cálculo de centro de gravedad. El diagrama de bloques del control difuso se puede ver en la figura 3.22.

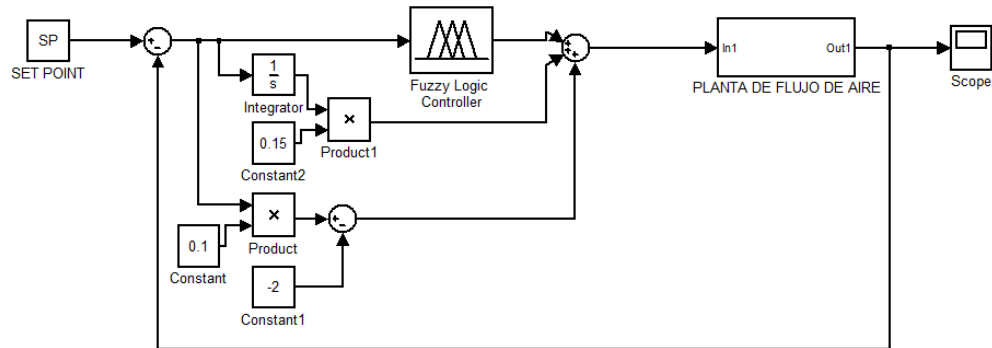


Figura 3. 23: Diagrama de bloques del controlador difuso de temperatura de la estación de flujo de aire

Aplicando una señal escalón al proceso visualizo el comportamiento del proceso tal como se aprecia en la figura 3.24.

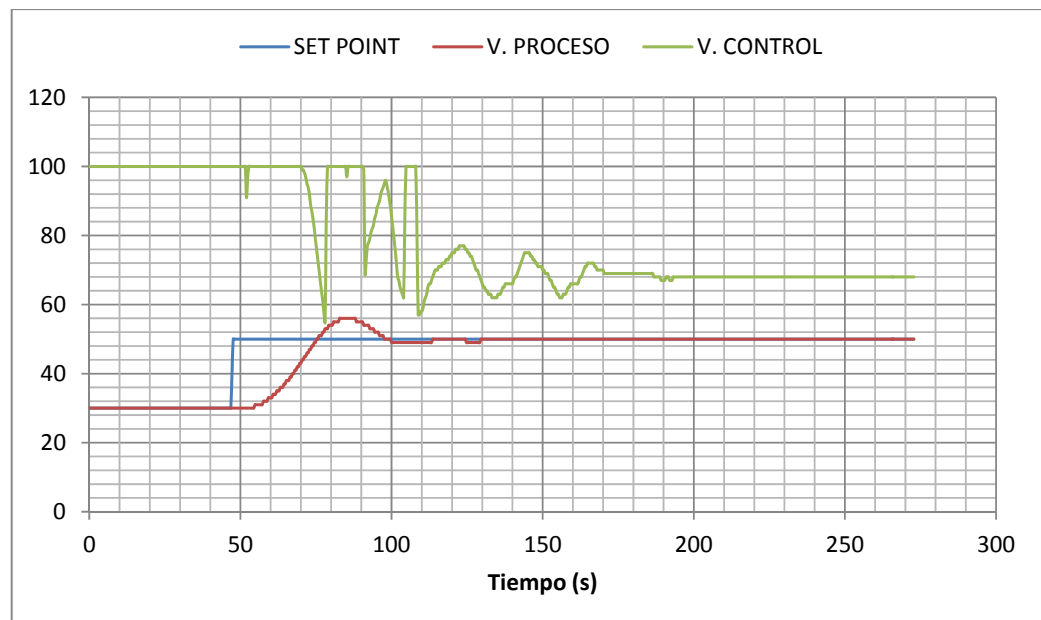


Figura 3. 24: Respuesta del control difuso

En la figura 3.25 se aprecia la reacción del proceso al aplicar señales escalón de manera ascendente y descendente.

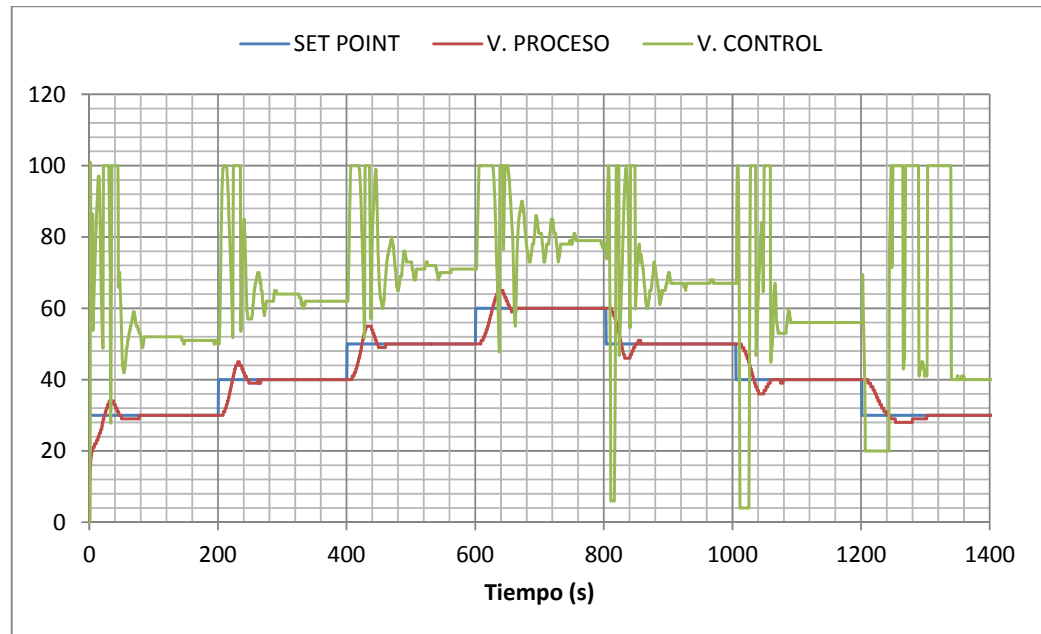


Figura 3. 25: Respuesta del control PID discreto a escalones ascendentes y descendentes

3.6.3. COMPARACIÓN ENTRE EL CONTROL PID DISCRETO Y EL CONTROL DIFUSO

En la gráfica 3.26 se puede observar claramente el comportamiento del proceso al aplicar los 2 tipos de control, esta prueba se dio en idénticas condiciones para cada control.

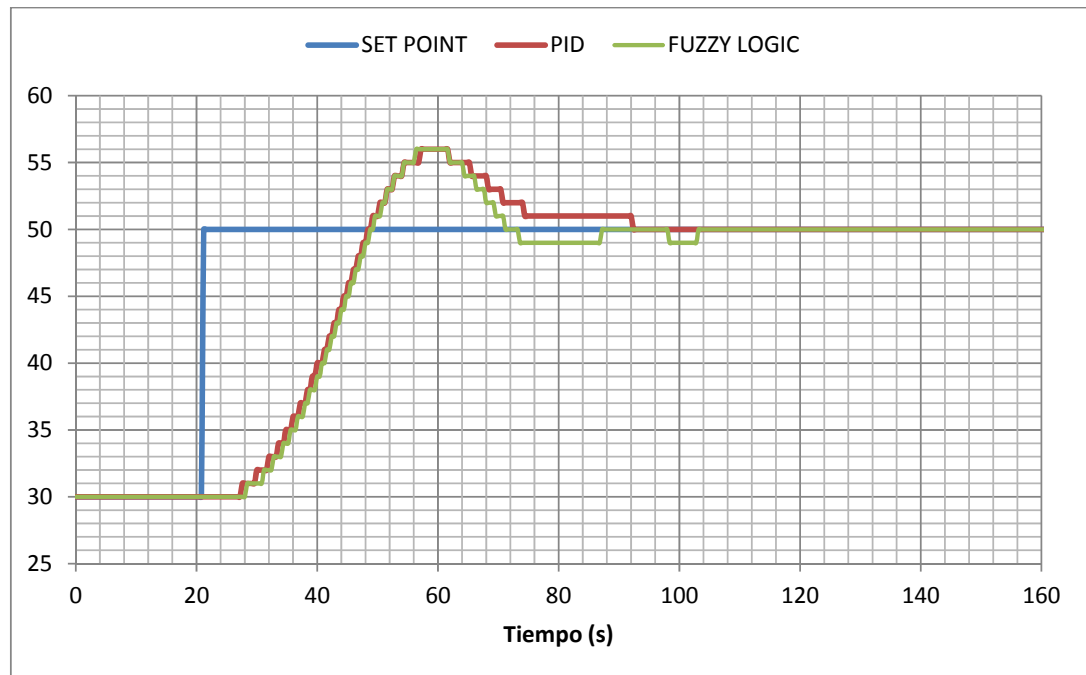


Figura 3. 26: Respuesta al escalón de los controles difuso y PID.

En la tabla 3.10 se denota los parámetros obtenidos del análisis de la respuesta de cada controlador.

Tabla 3. 10

Tabla de comparación de parámetros de los controladores PID y difuso

PARAMETRO	CONTROL PID	CONTROL DIFUSO
Tiempo de Retardo	6 s	7 s
Tiempo de Subida	20.4 s	19 s
Tiempo Pico	39 s	40 s
Sobre impulso Máximo	6	6
Tiempo de asentamiento	71 s	82 s

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.CONCLUSIONES

- Se implementó un módulo didáctico para la programación y aplicación de los microcontroladores Atmel de baja y media escala, mediante programación en lenguaje de alto nivel, como resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la formación académica de la carrera permitiendo tener una visión general de la estructura y etapas de un proceso.
- Existen varios entornos de programación en lenguaje de alto nivel, de los cuales el software ATMEL Studio 6.2 que utiliza un compilador avr – gcc y admite lenguaje C y ensamblador proporciono las suficientes facilidades para la programación de la tarjeta entrenadora ya que está especializado para estos microcontroladores, es gratuita y contiene una variedad de ejemplos de guía.
- La placa electrónica construida contiene los periféricos de entrada y salida más comunes para que los estudiantes realicen prácticas y obtengan un aprendizaje completo.
- El software que esta adjunto a la tarjeta entrenadora contiene varias librerías para cada dispositivo que hacen muchos más amigable la programación y optimizan el código para conseguir un mejor aprendizaje.
- El entrenador de microcontroladores es totalmente flexible, ya que existen diversas posibilidades de crear proyectos, sin contar con que se lo puede expandir para crear proyectos más grandes.
- El hardware interno que se integra en los microcontroladores ATMEL para las comunicaciones posibilita la compatibilidad con una gran cantidad de dispositivos que comparten los mismos protocolos.
- El uso del protocolo I2C simplifico el diseño de la tarjeta entrenadora, comunicó el microcontrolador con los circuitos integrados PCF 8574

con la función de expandir los puertos del microcontrolador, así también el uso de la comunicación SPI permitió tener un microcontrolador funcionando como esclavo para manejar la matriz de leds y los displays de 7 segmentos.

- La variedad de los dispositivos de visualización colocados en la tarjeta entrenadora que incluyen pantallas LCD graficas monocromáticas y policromáticas, LCD Alfanumérico y dispositivos basados en LEDS, garantizan que el estudiante pueda conocer el uso y las características de cada uno, para que a futuro los pueda implementar en aplicaciones prácticas.
- La tarjeta entrenadora está diseñada para que soporte todos los microcontroladores de gama media y baja, de 28 y 40 pines orientados al uso de los periféricos, por lo que la tarjeta es muy versátil en cuanto a su uso y su estructura.
- La pantalla TFT dispuesta en la tarjeta es una de las pantallas más avanzadas, la resolución de 320 x 240 permite visualizar imágenes de alta calidad con una extensa gama de colores, aparte posee una lámina resistiva sensible al tacto, lo cual la hace una gran herramienta para que los estudiantes puedan realizar aplicaciones complejas.
- Al juntar todos los periféricos de entrada, de salida y demás dispositivos dispuestos en la tarjeta entrenadora se logró desarrollar un complejo banco de pruebas para que los estudiantes puedan realizar experimentos que no estén especificados en la guía de prácticas.
- Después de implementar los controles PID y Fuzzy Logic con la tarjeta entrenadora se concluye que el control PID discreto proporciona una mejor respuesta en estado estable obteniendo un menor tiempo de establecimiento que el Fuzzy Logic.

4.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para empezar a utilizar la tarjeta entrenadora se tenga un conocimiento alto de programación en lenguaje C, ya que toda la programación realizada en la tarjeta esta en este lenguaje, sin embargo se puede utilizar otros compiladores, la ventaja del Lenguaje C es que brinda libertades para la programación, lo que no se da en otros compiladores que tienen funciones ya desarrolladas.
- Para familiarizarse con el hardware de la tarjeta es conveniente realizar las practicas propuestas en la guía, con esto se conseguiría tener conocimiento de lo que se necesita para poder manejar cada dispositivo, y posteriormente desarrolla aplicaciones propias del estudiante.
- Es indispensable leer el manual de instrucciones antes de la realización de las prácticas, ya que este explica las consideraciones que se deben tomar para el correcto uso de la tarjeta y evitar fallas en el funcionamiento de la misma.
- Se aconseja que al momento del grabado se ponga atención en los fuse bits, los cuales son muy importantes para varios aspectos del microcontrolador tales como el tipo y frecuencia del reloj, estado del perro guardián, activación de la comunicación SPI, entre otros aspectos que son fundamentales, ya que una mala configuración de los mismos pueden dejar al microcontrolador inutilizable.
- Para un correcto funcionamiento de la lámina resistiva existente en la pantalla TFT se recomienda utilizar un lápiz óptico para conseguir una mejor lectura y para evitar daños en la misma se debe considerar la fuerza que se aplicada a esta.
- Para el control de los motores DC existe una entrada de voltaje externa, la cual debe estar acorde con las especificaciones del motor a utilizarse, tomando en cuenta el rango de voltaje que soporta el puente H L293D que es de: 5 a 40 V.

- La tarjeta contiene una salida analógica, la cual es muy exacta pero al conectarla a otros sistemas puede provocar efecto de carga, por lo que se recomienda colocar un seguidor de tensión a la salida.
- La tarjeta contiene una memoria EEPROM 24LC128, pero se pueden utilizar varias memorias para que cada una tenga datos diferentes guardados, con la ventaja de que cada circuito tiene un zócalo y puede ser cambiado cuando se desee.
- Es indispensable para el correcto funcionamiento que exista un solo maestro en la comunicación I2C, ya que si en el zócalo de 28 como en el de 40 pines se actúa modo maestro no va a existir comunicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Trevennor, Practical AVR Microcontrollers: Games, Gadgets, and
1] Home Automation with the Microcontroller used in Arduino, Apress, 2012.

S. F. Barrett, Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and
2] Interfacing, Wyoming: Morgan & Claypool Publishers, 2012.

A. Corporation, «www.atmel.com,» Julio 2010. [En línea]. Available:
3] <http://www.atmel.com/images/doc2466.pdf>. [Último acceso: 18 Marzo 2014].

A. Corporation, «www.atmel.com,» Febrero 2013. [En línea].
4] Available: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf. [Último acceso: 18 Marzo 2015].

A. Corporation, «Atmel,» [En línea]. Available:
5] http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6/. [Último acceso: 18 Marzo 2015].

C. A. Reyes, Microcontroladores PIC Programación en Basic, Quito:
6] RISPERGRAF, 2008.

R. L. Boylestad y L. Nashelsky, Electrónica: Teoría de Circuitos,
7] Mexico D.F.: Prentice Hall, 1997.

Y. Ramirez , «www.monografias.com,» [En línea]. Available:
8] <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>. [Último acceso: 18 Marzo 2015].

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Brian David Viteri Naranjo bajo nuestra supervisión.

.....
Ing. SIXTO REINOSO
DIRECTOR DEL PROYECTO

.....
Ing. MARCO PILATASIG
CODIRECTOR DEL PROYECTO

.....
Ing. FRANKLIN SILVA
DIRECTOR DE LA CARRERA

.....
Dr. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADÉMICO
UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO