



“Aplicaciones de un acelerómetro para la medición de inclinaciones horizontales y verticales utilizando microcontroladores avanzados y comunicación serial datalogger e interfaz gráfica. Fuente de energía 4 pilas recargables”

Nelson Quizhpe⁽¹⁾, Luis Brito⁽²⁾, Carlos Valdivieso⁽³⁾
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
nquizhpe.....⁽¹⁾, lbrito@fiec.espol.edu.ec⁽²⁾, cvaldiv@fiec.espol.edu.ec⁽³⁾

Resumen

El módulo que presentamos en este trabajo se basa en un sensor que mide la inclinación del objeto al cual está sujeto, es un dispositivo de parallax, Sensor de mucha utilidad con múltiples aplicaciones. El sensor MX2125 trabaja sin ninguna entrada externa ya es un dispositivo que internamente está compuesto de un receptáculo cuadrado con un elemento calorífico que calienta una burbuja de gas, y cuatro sensores de temperatura, los cuales varían de temperatura dependiendo que tan cerca estén de la burbuja de gas.

Este proyecto lo abordamos porque es muy interesante encontrar aplicaciones y demostrar que estos dispositivos se pueden controlar con microcontroladores en varios lenguajes de programación, en nuestro caso Mikrobasic Pro. Tuvimos que usar dos microcontroladores por que usamos cuatro módulos CCP, dos por cada microcontrolador. La salida del sensor son señales PWM es decir anchos de pulso, para lo cual tuvimos que hacer un programa que mida el ancho de pulso por medio de dos interrupciones, una en flaco ascendente y la otra en flaco descendente, así pudimos tomar el ancho de pulso positivo que es lo que necesitábamos.

La implementación no fue muy complicada, solo tuvimos que tomar en cuenta las recomendaciones del fabricante y las seguridades de la alimentación para no averiar ningún elemento electrónico de nuestro proyecto.

Palabras Claves: mikrobasic, module CCP, PARALLAX

Abstract

The module presented in this project is about a sensor that measures the slope of an object. This is a parallax mechanism that is very usefull and has many aplications. The MX2125 sensor works without any external influence. This mechanism composed of a square receptacle with an calorific element warms up a bubbllle of gas detected by 4 temperatures sensors. Wich changes their temperature depending on how near they are from the gas bubble.

We chose this project because it is very interesting to find applications and show that theirre devices can be controlled with microcontrolers in different programming languages. In our case Mikrobasic Pro. We had to use two microcontrollers because and four CCP modules, two per each one. The outputs of the sensor are pwn signals. For this reason we made a program that measures the width of the pulse using two interruptions, one for the upgoing transition and another one for the downgoing one.

The implementation wasn't too complicated we just had to take care of the recomendations from the manufacturer and comply with the safety rules to avoid damages in our project.

Keywords: mikrobasic, module CCP, PARALLAX

1. Introducción

El presente trabajo describe el estudio para la implementación de un acelerómetro que contiene el sensor MX2125, en el cual vamos a programar dos microcontroladores 18F4431 para controlar y modificar las señales para luego mostrarlas en una pantalla LCD.

En el capítulo 1 de este documento, se describe la justificación del proyecto, las herramientas utilizadas en el desarrollo del presente proyecto, así como el alcance y las limitaciones en la elaboración del mismo.

En el capítulo 2 se muestra una perspectiva general de los fundamentos teóricos utilizados para la elaboración del acelerómetro y específicamente el funcionamiento del sensor MX2125.

En el capítulo 3 se describe el diseño y la implementación del proyecto que está compuesto por tres partes, la primera que es la conexión del sensor donde se realiza la toma de datos, la segunda que corresponde al microcontrolador que es la parte principal ya que es el intermediario entre el sensor MX2125 y el LCD y la tercera parte que es la conexión del LCD para mostrar las coordenada de X, Y, y el ángulo de inclinación dadas por el sensor MX2125 y procesadas por el PIC.

En el capítulo 4 se observan las simulaciones del circuito, y además las pruebas realizadas con el hardware y software funcionando.

2. Aplicaciones

Los acelerómetros han venido siendo incluidos en muchas aplicaciones tecnológicas, desde computadores personales hasta edificios.

En computadores portátiles permiten detectar cuando hay una caída y detener el disco duro para prevenir daños.

En vehículos son empleados para accionar *air-bags* en caso de choque.

En edificios han sido incluidos para medir inclinaciones a causa de temblores.

También han sido incluidos en mandos para el control de video juegos, en teléfonos móviles, etc.

3. Herramientas de Hardware utilizadas

En esta sección se detallan los equipos utilizados para el diseño y construcción del Datalogger compacto.

3.1 Acelerómetro MX2125

El acelerómetro MX2125 de Memsic está basado en 2 ejes. Es capaz de medir ángulos de giro, colisiones, aceleración, rotación y vibraciones en un rango de hasta +/- 3 g sobre los dos ejes X e Y.

El sensor es un circuito integrado con formato SMD que está fijado sobre una pequeña plaquita de circuito impreso diseñada por Parallax, que facilita el acceso a todas las señales del mismo así como su inserción en cualquier tarjeta de aplicación, prototipos o módulos board.



Figura 1.1: Módulo acelerómetro MX2125

Características del acelerómetro MX2125

A continuación se resumen las más relevantes:

- Medida de hasta +/- 3 g en ambos ejes X e Y
- Cada eje proporciona una señal de salida modulada en anchura (PWM) que representa la posición de los mismos.
- Se presenta en un pequeño circuito impreso con 6 patillas en formato DIP y con paso 2.54mm
- Salida analógica de temperatura por la patilla TOut
- Baja corriente de operación de 3,3 o 5 V: menos de 4 mA a 5 VCC
- Totalmente compensado en el rango de temperatura de 0 a 70°

Especificaciones Técnicas

Las eléctricas y mecánicas más importantes del acelerómetro MX2125 se citan a continuación:

- Tensión de alimentación de 3.3 hasta 5V con un consumo inferior a 4mA
- Señal de salida PWM de 100Hz (periodo de 10000 μ S) y con un ciclo útil proporcional a la aceleración. Compatible con TTL y CMOS.

- Dimensiones de 10.7 x 10.7 x 11.8 mm
- Rango de temperatura de 0 a 70°C

Tabla 0.1: Definición de pines del acelerómetro MX2125

Pin N°	Nombre	Descripción
1	Tout	Salida analógica de temperatura
2	Yout	Salida PWM del eje Y
3	GND	Tierra de alimentación
4	GND	Tierra de alimentación
5	Xout	Salida PWM del eje X
6	Vdd	Alimentación de +3.3V hasta +5V

3.2 PIC 18F4431

El microcontrolador que utilizamos en la implementación del proyecto es el PIC 18F4431.

Esta familia de microcontroladores, ofrece muchas ventajas, que hacen que este PIC, sea de alto performance, y que tenga muchas aplicaciones a nivel de control y fuerza de motores.

Tabla 3.2: Características principales del microcontrolador

Features	PIC18F4431
Operating Frequency	DC – 40 MHz
Program Memory (Bytes)	16384
Program Memory (Instructions)	8192
Data Memory (Bytes)	768
Data EEPROM Memory (Bytes)	256
Interrupt Sources	34
I/O Ports	Ports A, B, C, D, E
Timers	4
Capture/Compare/PWM modules	2
14-bit Power Control PWM	(8 Channels)
Motion Feedback module (Input Capture/Quadrature Encoder Interface)	1 QE1 or 3x IC
Serial Communications	SSP, Enhanced USART
10-bit High-Speed Analog-to-Digital Converter module	9 Input Channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-voltage Detect	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes
Instruction Set	75 Instructions
Packages	40-pin DIP 44-pin TQFP 44-pin QFN

3.3 Basic Stamp HomeWork Board

La tarjeta de pruebas de PARALLAX nos permitió realizar pruebas con el sensor MX2125 para poder comprender mejor su funcionamiento

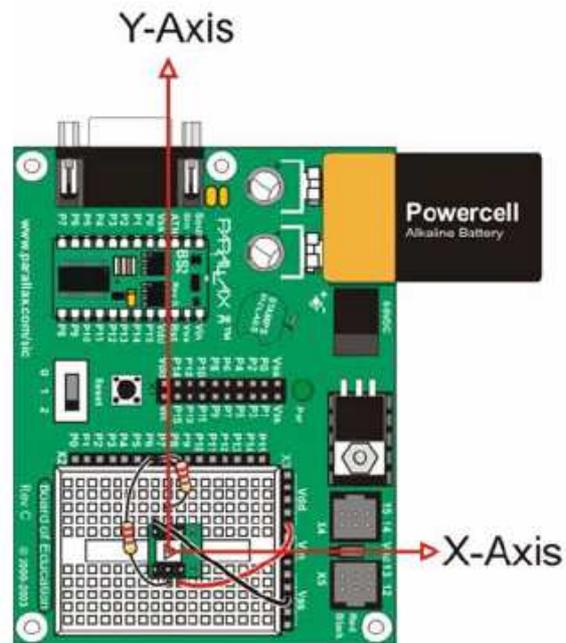


Figura 0.1: Módulo de Basic Stamp

4. Herramientas de Software

El primer paso en el desarrollo del proyecto fue utilizar la tarjeta de pruebas de BASIC STAMP que se programa en BASIC STAMP, aquí destacamos las funciones SERIN y SEROUT que describen las funciones de escritura/lectura con la memoria USB. Luego se procedió a cambiar la programación a MIKRO BASIC PRO.

4.1 BASIC STAMP

Funciones de lectura/escritura en Basic Stamp

PULSIN mide ancho de pulso de las señales PWM

```

SimpleTilt.bs2
Measure room temperature tilt.

'{$STAMP BS2}
'{$PBASIC 2.5}

x          VAR      Word
y          VAR      Word

DO

    PULSIN 6, 1, x
    PULSIN 7, 1, y

    DEBUG CLS, ? X, ? Y

    PAUSE 100

LOOP
    
```

Figura 0.2: Programación en Basic Stamp



Figura 0.2: Terminal de salida en Basic Stamp

4.2 MIKROBASIC PRO for PIC

Mikrobasic Pro for PIC pertenece a microelectrónica, muy formal y estructurado con un entorno de trabajo más elaborado que el de BASIC STAMP, en este lenguaje podemos destacar el uso de la librería de comunicación serial UART

Procedimiento que captura el valor del ancho de pulso de la señal PWM del sensor
 Se realiza mediante una doble interrupción con los módulos CCP1 y CCP2

```

sub procedure Interrupt()
  if (TestBit(pir1, ccp1IF)=1) then PREGUNTO SI HA OCURRIDO UNA INTERRUPCION POR FLANCO ASCENDENTE EN CCP1

  ccp2con=0X04 ' CONFIGURO EL MODULO CCP2 PARA QUE SE ACTIVE LA INTERRUPCION POR FLANCO DESCENDENTE
  PIE2.CCP2IE=1 ' HABILITO EL ENABLE PARA INTERRUPCION POR CCP2
  if (TestBit(pir2, ccp2IF)=1) then PREGUNTO SI HA OCURRIDO INTERRUPCION EN MODULO CCP2
    PIE1.ccp1IE=0 'DESABILITO EL ENABLE DE CCP1
    PIR1.ccp1IF=0 'DESABILITO LA BANDERA DE INTERRUPCION DE CCP1
    PIE2.ccp2IE=0 'DESABILITO EL ENABLE DE CCP2
    PIR2.ccp2IF=0 'DESABILITO LA BANDERA DE INTERRUPCION DE CCP2
    ccp1con=0 'DESABILITO EL MODULO CCP1
    ccp2con=0 'DESABILITO EL MODULO CCP2
    temp[pos]=t 'CAPTURE EL VALOR DEL CONTADOR EN UN ARREGLO WORD
    pos=pos+1 'INCREMENTO LA POSICION DEL ARREGLO
    t=0 'ENCERO EL CONTADOR DE LA SEÑAL PWM
  endif
  inc(t) 'INCREMENTO EL CONTADOR MIENTRAS NO EXISTA INTERRUPCION EN EL MODULO CCP2
endif
end sub
  
```

Figura 0.3: Programación en Mikrobasic Pro for PIC

5. Descripción del Proyecto

Hicimos la programación de dos Microcontroladores PIC18F4431 para que capture las señales enviadas por el sensor MX2125 que son señales digitales PWM y que representan a la coordenada en X y a la coordenada en Y del objeto que se quiere monitorear, el sensor va a poder moverse en el plano del eje x y en el plano del eje y, o también simultáneamente en los dos planos.

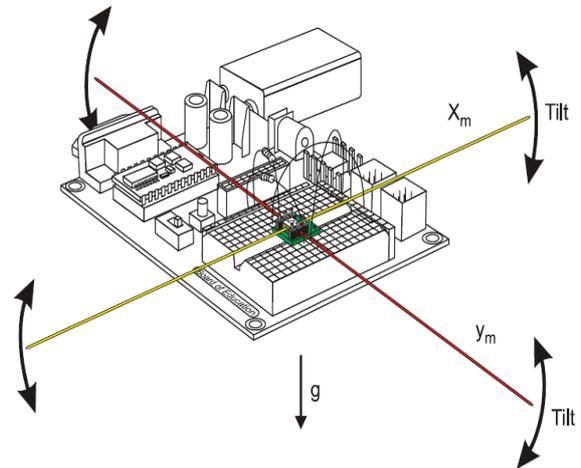


Figura 5.1: Movimiento del acelerómetro uniaxial

La estrategia para capturar las señales del sensor consiste en programar un PIC 18f4431 que reciba la señal de salida PWM del sensor que corresponda a la coordenada X y el otro PIC 18f4431 que reciba la señal de salida PWM del sensor que corresponda a la coordenada en Y.

Estas señales son convertidas en hexadecimal para mostrarse en el LCD. Cada posición del objeto, va a ser monitoreada y mostrada en la pantalla, cada vez que se requiera por el usuario mediante una botonera de captura.

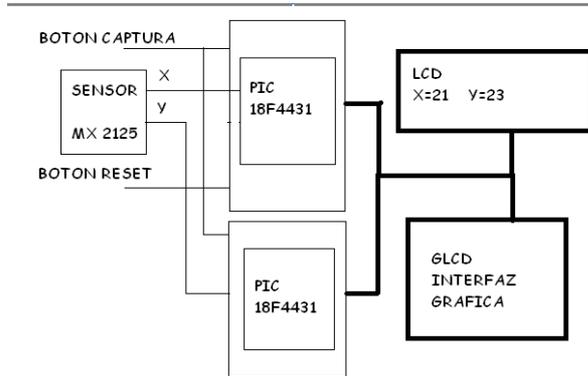
5.1 Diagrama de bloques del proyecto

El primer bloque corresponde al sensor MX2125 el cual que envía a cada instante señales PWM a los PICs.

El segundo bloque se refiere a los PICs que reciben las señales PWM del sensor MX2125, los cuales procesan estas señales y las envían a una pantalla LCD.

El tercer bloque que corresponde a la pantalla LCD donde se representan las señales enviadas por los PICs, es decir las coordenadas de la posición del sensor MX2125 y el ángulo de inclinación del mismo.

Cada uno de los bloques constituye parte fundamental y clave para el normal funcionamiento y operación del hardware.



6. Funcionamiento del proyecto

PIC 18f4431 que reciba la señal de salida PWM del sensor que corresponda a la coordenada X y el otro PIC 18f4431 que reciba la señal de salida PWM del sensor que corresponda a la coordenada en Y.

Estas señales son convertidas en hexadecimal para mostrarse en el LCD.

La señal PWM que genera el sensor es a una frecuencia de 100HZ, que es expresada en micro segundos (uS) para un mayor entendimiento de la posición de los dos ejes X e Y.

Cuando el grado de inclinación en ambos es de 0°, las señales de salida PWM para ambos ejes es del 50% del ciclo.

Según el fabricante dicho ciclo es de 10000uS (100Hz), por lo que las señales tendrán un ciclo útil (duty) de unos 5000uS en reposo (el sensor sobre un plano horizontal). Cualquier movimiento del sensor sobre el eje X o Y, hará que la anchura de salida correspondiente aumente o disminuya en función del sentido del movimiento.

La rutina de **Interrupt** del archivo de programa del Mikrobasic Pro, se encarga de leer, secuencialmente, la anchura de los pulsos que ofrecen la salida del sensor en el eje X e Y.

Emplea para ello los módulos CCP1 y CCP2 del PIC para detectar el flanco ascendente y descendente respectivamente. Estos capturan el valor de un **contador (t)**, que empieza el conteo una vez que detecta la interrupción del módulo CCP1 (Flanco ascendente) y se detiene cuando ocurre la interrupción en el módulo CCP2, flanco descendente (fin del ciclo útil).

Para el cálculo del ángulo, se hace de la siguiente manera, se aplica la formula:

$$\text{Angulo} = \text{arc tang} (y/x)$$

6.1 Gráficos de las salidas del Sensor MX2125

Por medio de un osciloscopio podemos ver las señales PWM y como varían cuando movemos el sensor:

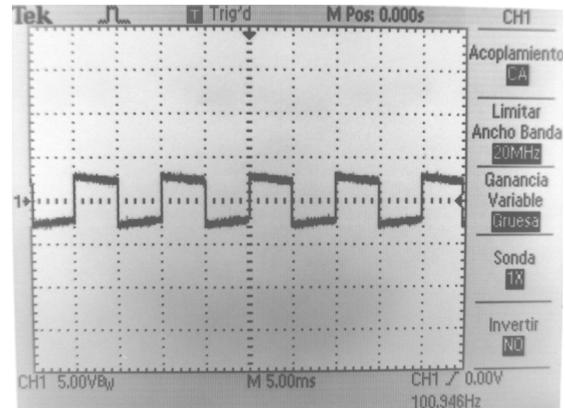


Figura 6.1: Gráfica de señal de salida sensor en reposo

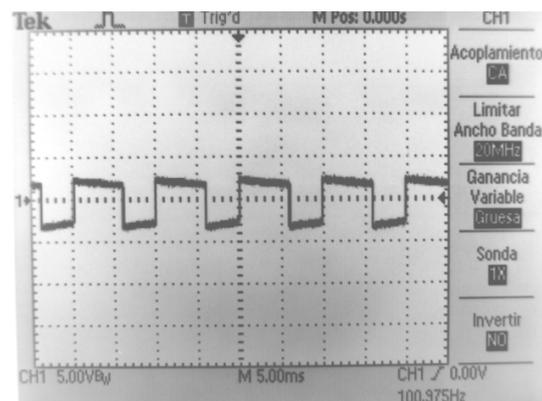


Figura 6.2: Gráfica de señal de salida cuando hay un movimiento máximo en el eje positivo

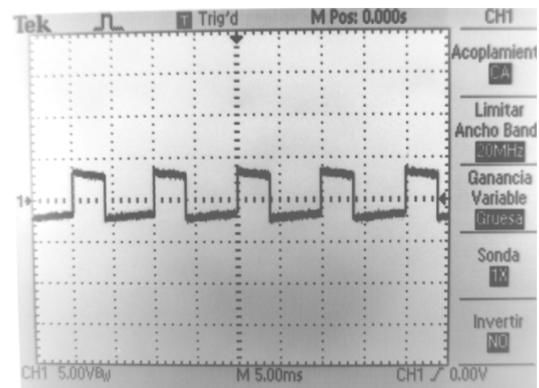


Figura 6.3: Gráfica de señal de salida cuando hay un movimiento máximo en el eje negativo

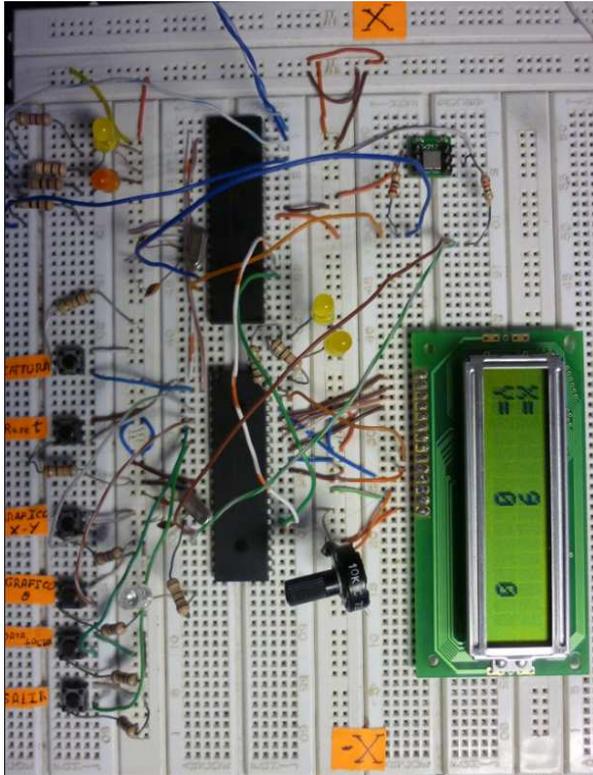


Figura 0.4: Funcionamiento del proyecto

Aquí observamos la simulación en proteus donde vemos que las coordenada en X, Y y el ángulo de inclinación, mostradas en el LCD. La simulación de una coordenada, utilizamos el PIC18f8520 para simular las salidas del sensor MX2125. El PIC18f4431 controla la señal PWM la procesa y la muestra en la pantalla LCD. En este caso solo una coordenada que es X.

7. Tarjeta electrónica PBC

El diseño se realizó en PROTEUS y ARES

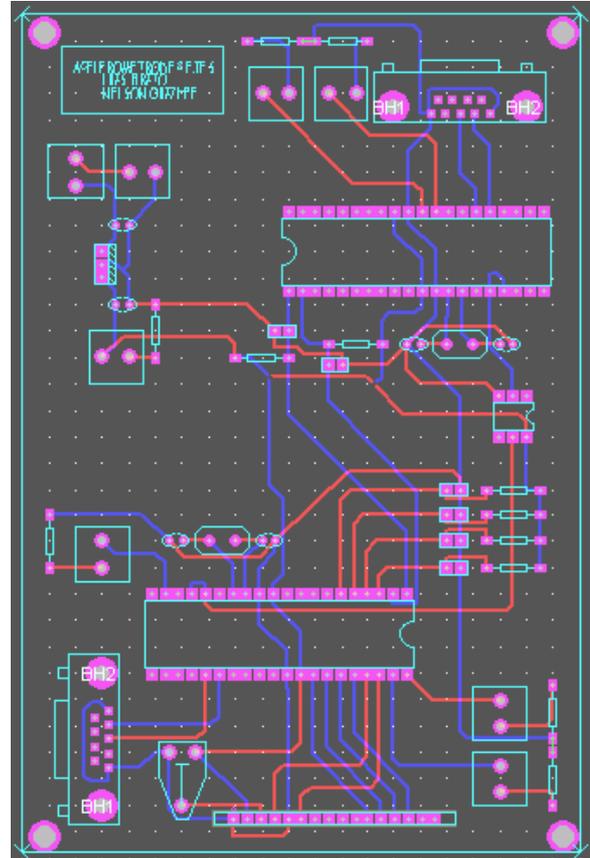


Figura 0.1: Diseño de la tarjeta electrónica

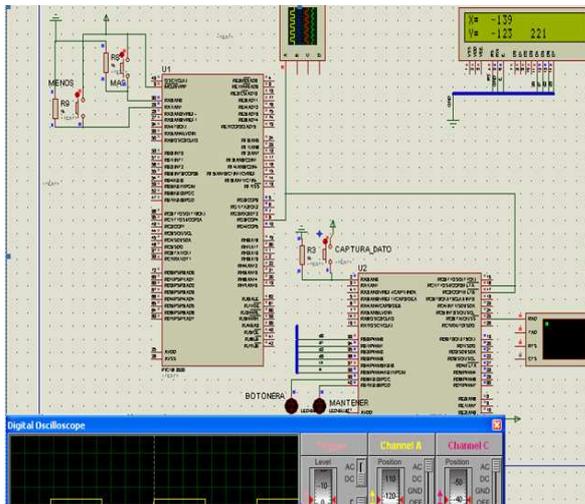


Figura 0.5: Proteus

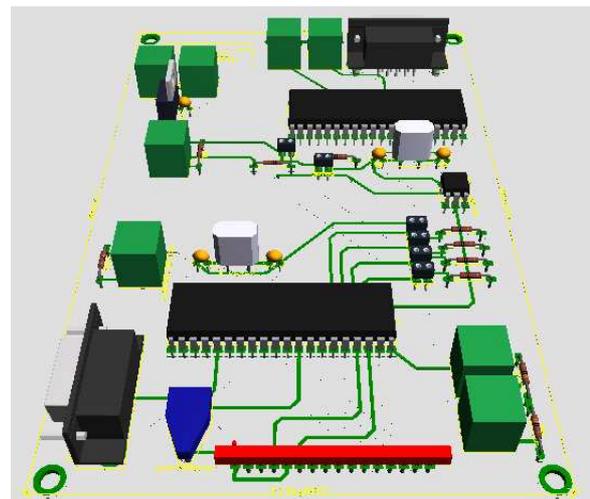


Figura 0.2: Vista 3D



Conclusiones

A continuación se sintetizan, las conclusiones más importantes, de acuerdo con los siguientes criterios;

- Estudio teórico,
 - Simulaciones
 - Datos experimentales
1. Es un sensor muy sensible a los movimientos del objeto al cual está sujeto, por lo tanto en el momento de tomar las mediciones se tiene que fijar bien el sensor al objeto, para que mida la vibración del objeto y no el movimiento del sensor debido a un mal ajuste,. También debido a que es muy sensible a los movimientos, es por eso que éste sensor tiene muchas aplicaciones a nivel industrial y tecnológico.
 2. El rango de variación del ancho de pulso a la salida del sensor (Xout, Yout) es muy pequeño, trabajan a baja frecuencia, por lo tanto hay que evitar señales parasitas tales como ruidos electrónicos, ya que según datos experimentales el sensor tiene una variación de pulsos según el ambiente donde es utilizado, para eso siempre antes de instalar el sensor en el objeto, se tiene que tomar datos de lectura, para así evitar mediciones que estén erróneas.
 3. El sensor puede trabajar en ambientes hasta 70°C, y no varía las señales de salida de PWM, ya que internamente esta encapsulado los 4 sensores de temperatura, luego de superar la temperatura el sensor, tiene un error en la señal de salida.
 4. Según prácticas experimentales, no es posible trabajar con una sola señal de captura en el microcontrolador, debido a que se necesita monitorear al mismo tiempo las dos señales, y esto ocasionaba que haya un conflicto cuando se quería mostrar las dos señales, solo capturaba una señal a la vez, por lo que se optó por utilizar un microcontrolador para cada señal PWM del sensor.
 5. Podemos concluir que el sensor puede trabajar con cualquier tipo de micro- controlador siempre y cuando tenga control de modulación de ancho de pulso, y puede tener muchas aplicaciones industriales y tecnológicas en el cual podría tener una precisión muy alta.

Recomendaciones

De acuerdo a las prácticas y pruebas de funcionamiento del proyecto, se puede recomendar lo siguiente:

1. Revisar el estado del Proto, es decir que por motivos de mal contacto en los pines del Proto, debido a un mal ajuste del sensor o dispositivo, podemos equivocarnos en el diagnóstico de los problemas.
2. Asegurarnos de que la alimentación del dispositivo sea la adecuada.
3. Ajustar bien los terminales del sensor, para que no se salgan al momento de hacer las pruebas.
4. Identificar las señales de entrada y salida, para así dar un mejor entendimiento a un eventual problema.
5. Revisar bien el manual de especificaciones y conexión del sensor y los dispositivos controladores.

Referencias

1. Parallax; Smart Sensors and Applications; <http://www.parallax.com/Education/TutorialsTranslations/tabid/535/Default.aspx>
30 Marzo 2010
2. Parallax; Smart Sensors and Applications; BASIC Stamp Syntax and Reference Manual <http://www.parallax.com/tabid/440/Default.aspx>
30 Marzo 2010
3. Mikroe; mikroICD Manual de usuario http://www.mikroe.com/eng/product_downloads/download/
30 Marzo 2010
4. Microsystems Engineering; Acelerómetro de 2 ejes #28017; <http://www.msebilbao.com/notas/downloads/Acelerometro%20de%20%20ejes%2028017.pdf>
8 de Abril 2010
5. Wikipedia; Acelerómetro; <http://es.wikipedia.org/wiki/Aceler%C3%B3metro>
8 de Abril 2010
6. Hipermegared ; Curiosas aplicaciones para el Acelerómetro de tu Celular; <http://hipermegared.net/2008/10/20/curiosas-aplicaciones-para-el-acelerometro-de-tu-celular/>
8 de Abril 2010