

## CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRONICO DE ADQUISICION

En el Capitulo anterior se explico el diseño y construcción del elemento mecánico flexible, que se deformara por causa del torque producido por el motor o maquina en análisis.

Para que la deformación de dicho elemento nos sirva para realizar un calculo del torque producido por la maquina, es necesario desarrollar un sistema de adquisición que nos permitan cuantificar la deformación existente en el elemento flexible.

Para el diseño del sistema de adquisición, fue necesario en primer lugar realizar acabo un análisis de los sensores que permitan mesurar la deformación angular que el torque producido por el motor ejerza sobre el elemento elástico.

### 3.1 Selección de los transductores para el sistema de adquisición

Comercialmente existen diversos sensores que nos permiten medir la deformación de un sólido, el ejemplo más conocido de estos sensores son las galgas extensométricas. Estos dispositivos al ser adheridos a la pieza de la cual se quiere medir la deformación, varían su resistencia de manera proporcional a la deformación a la que se encuentra expuesta, dicha variación puede ser mensurada cuando la galga se conecta a un circuito acondicionador.

Sin embargo la implementación de las galgas para este proyecto en particular resulta especialmente complicada pues, como se ha mencionado anteriormente, requieren una conexión física con el circuito de acondicionamiento proporcionada por medio de cables, medio que resulta imposible de utilizar pues el ensamble se encuentra rotando de manera continua, o por anillos de fricción , que implican una construcción y mantenimiento complicados.

El hecho de que el elemento flexible se encuentre girando hace necesario la búsqueda de un sensor capaz de medir la deformación que el elemento flexible este experimentando sin que exista contacto entre el sensor y dicho elemento.

De igual manera debido a la falta de contacto de los sensores contra el elemento flexible, será necesario utilizar un sensor en cada extremo del ensamble, para que mediante una comparación de las señales entregadas por los sensores sea posible estimar la deformación angular existente y por ende el torque.

Como ya se ha mencionado anteriormente los sensores a ser utilizados deberán ser capaces de realizar la medición sin que exista contacto físico entre ellos y el elemento flexible, algunos de los transductores que pueden ser utilizados son los de capacitancia o inductancia variable, los sensores magnéticos y los sensores optoelectrónicos.

Los sensores de capacitancia variable así como los magnéticos requieren del diseño y construcción de un sistema de acondicionamiento de señales que permita la conexión de los voltajes entregados por estos dispositivos y los componentes digitales a ser utilizados posteriormente para realizar el cálculo del torque.

Los sensores que proporcionan la mejor capacidad para realizar mediciones sin la necesidad de contacto físico son los sensores ópticos. Para esta aplicación en particular, del amplio rango de sensores ópticos disponibles, se decidió que los más adecuados para la implementación de este proyecto son los opto actuadores y encoders ópticos.

El funcionamiento básico de ambos dispositivos es semejante, se trata de acuerdo con Khazan [7] básicamente de un emisor de luz, usualmente un led infrarrojo, y un receptor de luz, generalmente un fototransistor. Cuando se permite que la luz generada por el emisor sea captada por el receptor, este dispositivo actuará como un interruptor cerrado, sin embargo cuando se impide que la luz emitida por el led llegue a ser detectada por el transistor este se comportará como un interruptor abierto.

Existen diferentes formas de permitir y bloquear el paso de la luz, se puede utilizar una superficie reflectante o transparente a la cual se realizan una serie de marcas opacas, o por otra parte es posible utilizar una superficie sólida con una

serie de perforaciones. Las transiciones que producen las marcas o perforaciones conforman el así llamado código del sensor óptico.

Los encoder ópticos se tratan de dispositivos, contruidos de diversas maneras. Una de las mas comunes es por varios pares emisor-receptor. La construcción mediante varios pares de emisor-receptor permite que las transiciones que integran el código que el encoder reconocerá sean muy pequeñas. De manera adicional esta característica permite la existencia de dos tipos de encoders ópticos: los incrementales y los absolutos.

Los encoders absolutos son aquellos capaces de cuantificar con gran precisión la posición de un objeto, ya sea linear o angular, de un objeto al utilizar varios canales de código, el disco de código para un encoder absoluto puede ser observado en la figura 3.1, adicionalmente se puede observar en la figura 3.2 el principio básico de cómo funciona un encoder absoluto. Los encoders incrementales permiten únicamente conocer el número de cambios entre conducción y corte que han ocurrido.

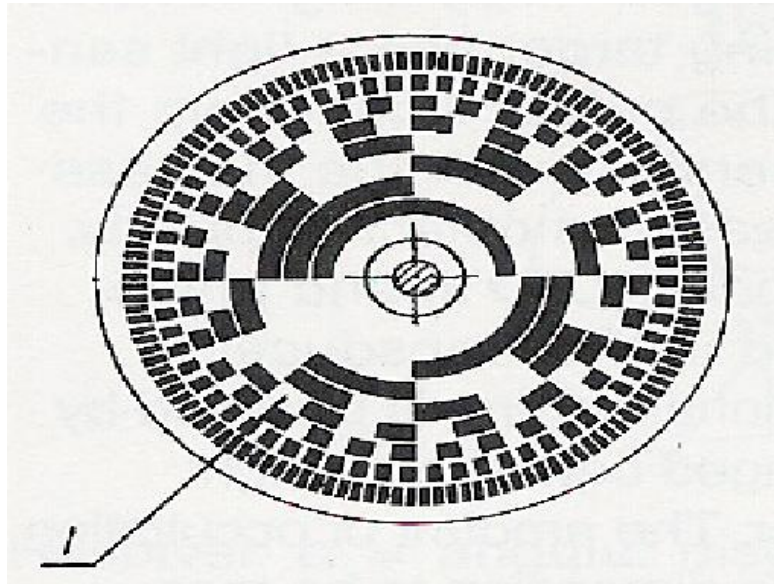


Figura 3.1 disco de un encoder absoluto

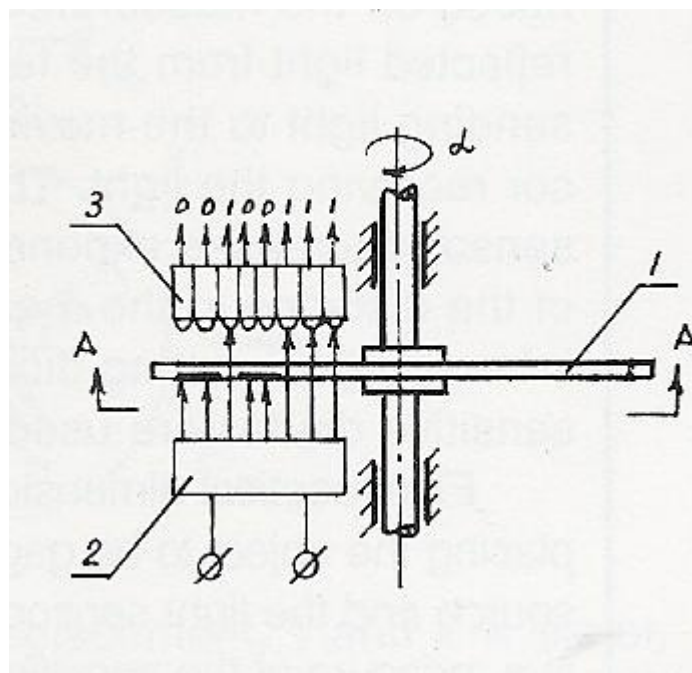


Figura 3.2 funcionamiento de un encoder absoluto

Los opto interruptores son dispositivos ópticos conformados por un único par de emisor receptor, su funcionamiento es semejante al de los encoder ópticos incrementales; sin embargo su construcción mediante un único par emisor receptor limita su aplicación a frecuencias mas bajas y a la utilización de perforaciones o superficies no reflectantes mas grandes en las líneas de código.

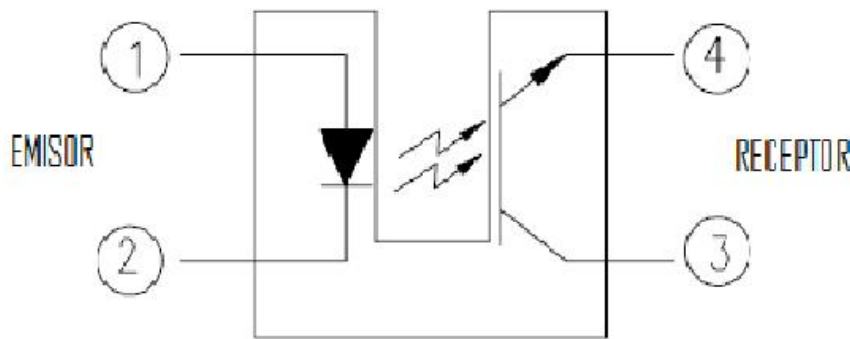


Figura 3.3 construcción típica de un opto interruptor

De manera ideal los encoder ópticos incrementales tienen la ventaja de ser los dispositivos que permitirían una mayor precisión en las medidas del sensor de torque al poder reconocer códigos con transiciones muy pequeñas.

Sin embargo los encoders disponibles de manera comercial permiten únicamente trabajar con códigos de alta precisión en discos de radio pequeño y a bajas revoluciones por minuto del motor, aunque existen un par de modelos capaces de trabajar con códigos de alta precisión en discos de mayor diámetro y a altas revoluciones por minuto, sin embargo se trata de sensores que se fabrican por encargo y con costos bastante elevados.

En cuanto a los discos, con el código para los encoders, disponibles de manera comercial, presentan la desventaja de ser de diámetros pequeños, usualmente menores a la pulgada y media de diámetro. De igual manera es posible encargar la manufactura de discos de código de diámetros mayores sin embargo se tratan de artículos que se manufacturan exclusivamente bajo pedido y que generalmente tienen un tiempo de espera de varios meses y que conlleva un elevado costo.

Para la implementación del sensor de torque se decidió, en base a los pros y contras de cada dispositivo, utilizar un par de opto interruptores con discos cuyo código consiste en una única ranura en la periferia del disco.

El modelo de opto interruptor elegido para el desarrollo de la presente tesis se trata del ITR8102. El ITR8102 se trata básicamente de un diodo emisor de luz infrarroja, de arseniuro de galio, acoplado a un fototransistor de silicio, en una carcasa de plástico [8].

Este modelo de opto interruptor fue seleccionado por la capacidad de sus componentes de operar dentro de un rango de voltajes amplio, de 0 a 30v, su capacidad de brindar corrientes de hasta 1 Ampere y por su disponibilidad de manera comercial.

### 3.2 Diseño del sistema de adquisición

El sistema de adquisición diseñado para el sensor de torque se construirá en base a un microcontrolador Microchip, para ser más específicos un pic 16F877A. La elección de dicho modelo de microcontrolador fue realizada en base a los siguientes puntos: capacidad de funcionar con un cristal de excitación externo de hasta 20Mhz, interrupción por desborde de los timers, interrupción por cambio de estado, interrupción a la recepción por comunicación serial., disponibilidad de las herramientas necesarias para su programación y depuración en el laboratorio de ingeniería electrónica de la universidad.

Las características del microcontrolador, son de igual manera importantes pues permiten reducir de manera importante el número de componentes que conformaran el circuito de captura.

En primer lugar se busco la manera de conectar los opto interruptores, se encontró finalmente una forma de conexión recomendada por diversos fabricantes



en sus hojas de datos, la forma de conectar el opto interruptor se puede apreciar en la figura 3.4.

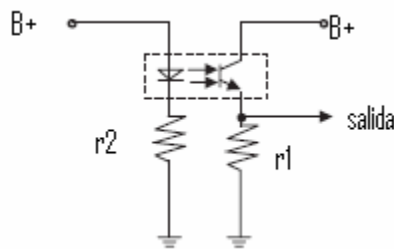


Figura 3.4 forma de conexión del opto interruptor

Las variables mostradas en el esquemático anterior fueron dimensionadas posteriormente de la siguiente manera. El voltaje B+ fue determinado de manera experimental, de manera que cuando el fototransistor estuviera conduciendo, comportándose como un interruptor cerrado, el voltaje de salida fuera aquel de un uno lógico en niveles TTL, es decir de 5V DC. El voltaje B+ que cumplió con dicha condición fue de 25V DC.

Una vez que se definió el valor del voltaje B+ los valores de las resistencias r1 y r2 fueron calculados de manera tal que los valores de corriente máxima del emisor y del receptor fueran respetados. De esta manera el valor necesario para garantizar que el flujo de corriente a través del emisor sea igual al máximo recomendado por las especificaciones del fabricante, para nuestro caso 50mA [8], r1 deberá tener un valor de 330 ohms. Mientras que la resistencia R2 deberá de tener el valor de 390 ohms para garantizar que la corriente máxima sugerida por el fabricante de 50 miliamperes sea respetada.

Aunque el nivel de salida del opto interruptor fue dimensionado para brindar un uno lógico dentro de los niveles TTL, nivel al cual trabaja el microcontrolador, se decidió utilizar un buffer no inversor CD4050 con el propósito de acoplar impedancias y garantizar que la señal proveniente de los opto interruptores sea capaz de accionar los pines de entrada del microcontrolador. De esta manera el circuito de adquisición que accionara el microcontrolador puede ser apreciado en la figura 3.5

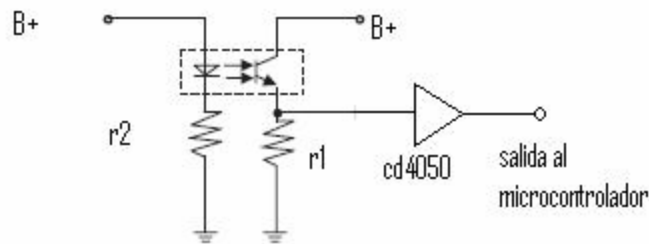


Figura 3.5 circuito de captura del sistema electrónico de adquisición

El siguiente paso en el desarrollo del sistema de adquisición consistió en analizar y determinar las funciones que el microcontrolador debería de realizar. Al analizar la forma en que se espera que el sistema funcione en conjunto el microcontrolador debería de realizar dos tareas básicas:

- 1.- cuantificar en tiempo el desfase existente entre las señales provenientes de los opto interruptores,
- 2.- transmitir los valores obtenidos por medio del protocolo RS232 a la computadora.

El desarrollo del código, capaz de realizar las funciones especificadas anteriormente se realizo utilizando el IDE MPLAB 8.10 de Microchip al cual se le

agregó el compilador CC5X el cual permite desarrollar el código para el Pic en C, un lenguaje de alto nivel, lo que facilita la programación del microcontrolador .

En primer lugar se procedió a declarar las variables locales que el pic utilizará para el manejo interno de la información. Posteriormente se procedió en el código a configurar el pic de la siguiente manera: se habilitó la recepción y transmisión asíncrona continua de palabras de 8 bits por medio del puerto serial del microcontrolador, adicionalmente se configuró la interrupción por recepción del puerto serial.

Se configuró el timer 1 para usar el reloj del pic como señal de control, se le asignó a dicho timer un pre escalador de 1:1 y se habilitó la interrupción por desbordamiento de los registros de conteo del timer1.

Se declararon dos pines del puerto B del pic como entradas digitales, para ser más específicos los pines 2 y 6. En el caso del pin 6 se habilitó la interrupción de cambio de estado, efectiva para los pines 4-7 del puerto B.

Una vez configurado el microcontrolador se desarrolló el código para la implementación del sistema de adquisición. Se decidió utilizar el servidor de interrupciones, debido a que cuando una bandera de interrupción se activa, el programa automáticamente entra a él sin necesidad de estar revisando

manualmente en el código las distintas condiciones que se desean monitorear. El funcionamiento que se diseñó para el programa es el siguiente:

1. Al iniciar su funcionamiento el microcontrolador efectuará los pasos de configuración mencionados con anterioridad, una vez configurado el programa del pic, el timer 1 empezará a funcionar.
2. En caso de que el pic no reciba señal alguno en sus pines de entrada antes de que los registros de conteo del timer 1 se desborden se activará la bandera de desborde del timer 1, esto forzará al programa a su rutina de servidor de interrupciones, y realizara la subrutina programada para el caso del desbordamiento del timer 1 , esta rutina incrementara el valor de una variable global del programa llamada on.
3. El pic esperará a que el pin 6 del puerto B cambie de estado, es importante para el correcto funcionamiento del sensor el cerciorarse que el pin 6 sea el primero en recibir la señal de los opto interruptores, esto activará la interrupción por cambio de estado.
4. La subrutina que el servidor de interrupciones tiene para la interrupción por cambio de estado realiza lo siguiente:
  - 1.- almacenará en variables globales el valor de los registros del

timer 1 (timer 1 alto y bajo) mas el valor de la cuenta de desborde del timer1.

2.-una vez almacenados estos valores el programa reinicia el valor de los registros de conteo del timer 1, y espera por que llegue la señal proveniente del opto interruptor al pin2.

5. En cuanto el microcontrolador recibe la señal del segundo opto interruptor el programa, que todavía se encuentra operando dentro del servidor de interrupciones, tomará los valores de los registros de conteo del timer y los almacenará en otro par de variables globales. Una vez almacenadas todas las variables necesarias. La subrutina enviará por el puerto serial un único carácter al sistema de procesamiento, finalmente reiniciará los valores pertinentes y finalizara.

6. Una vez que la subrutina que atiende la interrupción provocada por el cambio de nivel del puerto b, el microcontrolador esperará a que el sistema de procesamiento de datos reciba el carácter enviado y a continuación responderá enviando un carácter, el objetivo último de este intercambio de caracteres consiste en sincronizar ambos dispositivos de manera manual.

7. La recepción del carácter enviado por el sistema de procesamiento activa la interrupción por recepción en el puerto serial. La subrutina del servidor de interrupciones que da servicio a dicha interrupción procederá a enviar las 5 variables almacenadas con anterioridad al sistema de procesamiento por medio del puerto serial del microcontrolador.

El código completo descrito en los párrafos anteriores se encuentra en la sección de anexos del presente reporte, bajo el anexo b.

Es importante mencionar que debido a que el sistema de adquisición y el de procesamiento serán implementados con dispositivos distintos, el de adquisición con un microcontrolador mientras que el de procesamiento se implementara con una pc, es necesario utilizar un dispositivo externo que permita la conexión entre ambos, debido a los diferentes niveles de voltaje que manejan ambos dispositivos.

Este dispositivo se trata de un circuito integrado max232, que cumple la función de cambiador de niveles, por ejemplo si recibe la señal con niveles ttl (0 y 5v) de un pic , este integrado convertirá los niveles de la señal a (-8.5 y 8.5 v) nivel al cual opera el puerto serial de una computadora. La operación inversa ocurrirá cuando el flujo tiene origen en el puerto serial de una computadora y como destino ultimo un microcontrolador.

Al integrar todos los elementos que conforman el sistema de adquisición del sensor de torque, obtenemos el circuito mostrado en la figura 3.6

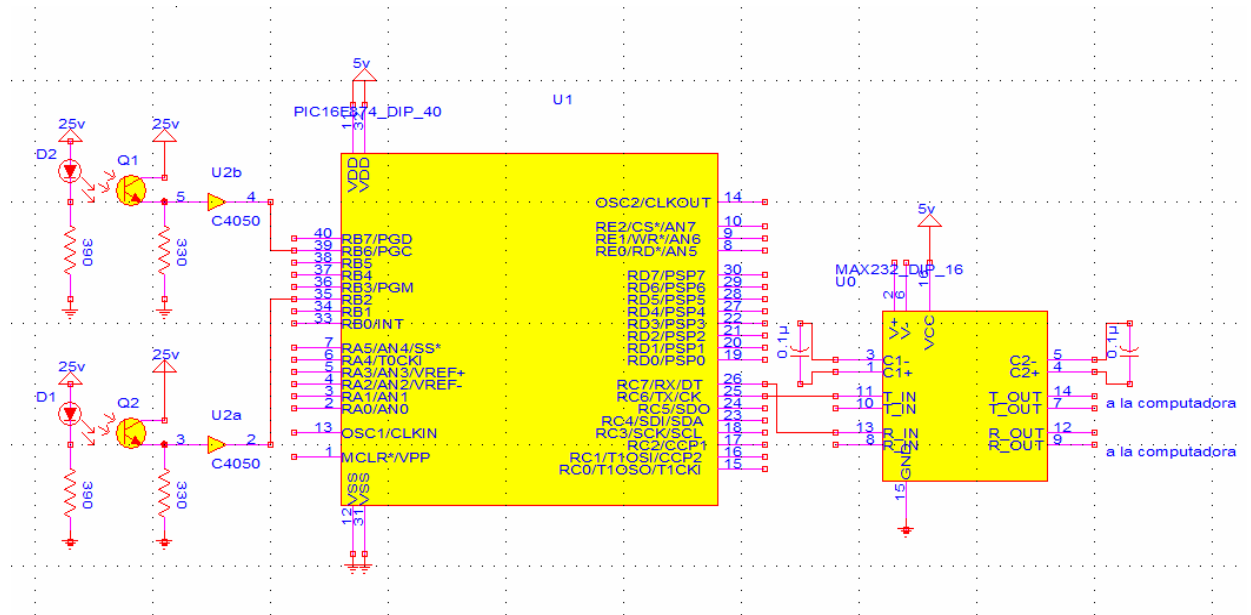


Figura 3.6 Esquemático del sistema de adquisición