

# **CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA Y COMPONENTES**

## **2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA**

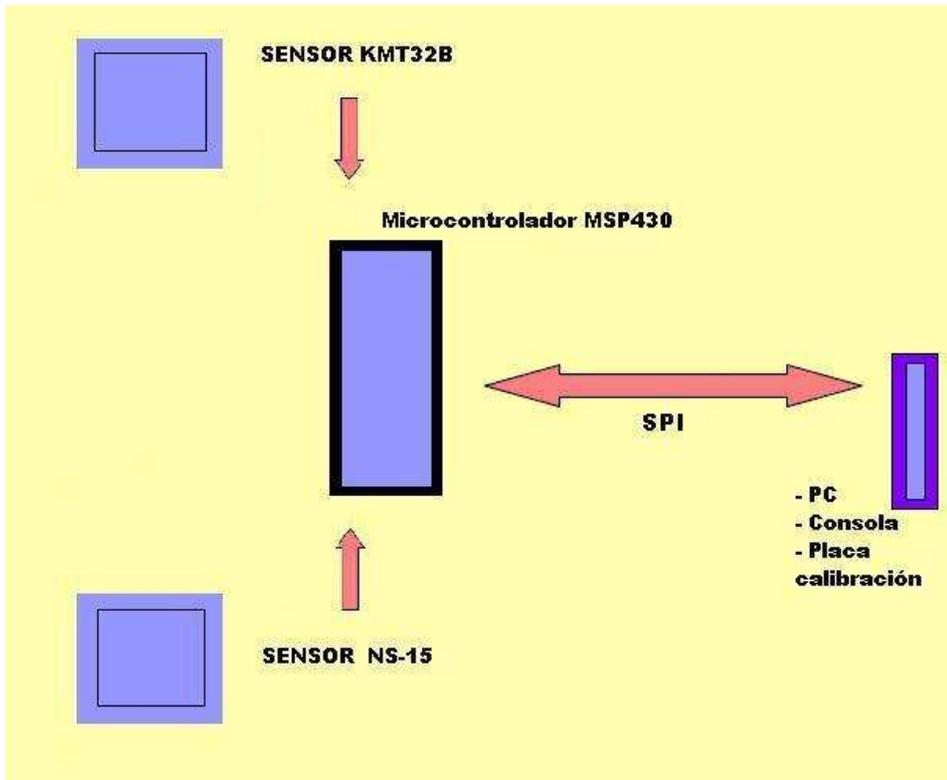
A continuación se muestra una visión general de toda la arquitectura del sistema, de forma que el lector pueda obtener una mejor comprensión del proyecto. Se exponen en forma esquematizada para una mejor visión global.

El sistema final es una convergencia de dos sistemas totalmente distintos, pero con una estructura interna parecida. Parecida es también, por tanto, la forma final del sistema.

La parte de calibración y pruebas se verá más adelante en un apartado reservado para esta placa.

En el sistema, la parte principal es el microcontrolador, hacia donde llegan las señales de los sensores, controla todos los dispositivos, y saca los resultados finales. Debe también manejar las interrupciones que genere el usuario a través del interfaz de comunicación para leer o calibrar por ejemplo.

El esquema será de la siguiente manera:



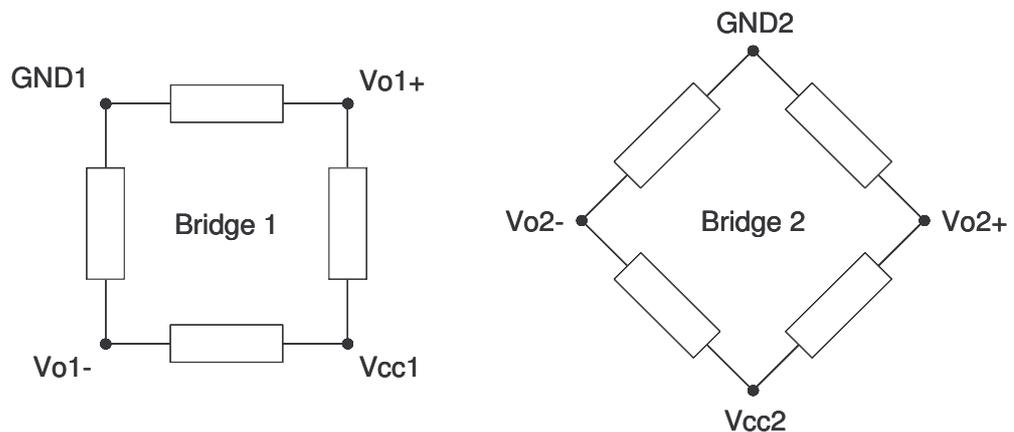
La comunicación entre sensores y micro es unidireccional, a través de circuitería electrónica con multiplexadores y amplificadores. La comunicación SPI es totalmente bidireccional.

## 2.2 COMPONENTES

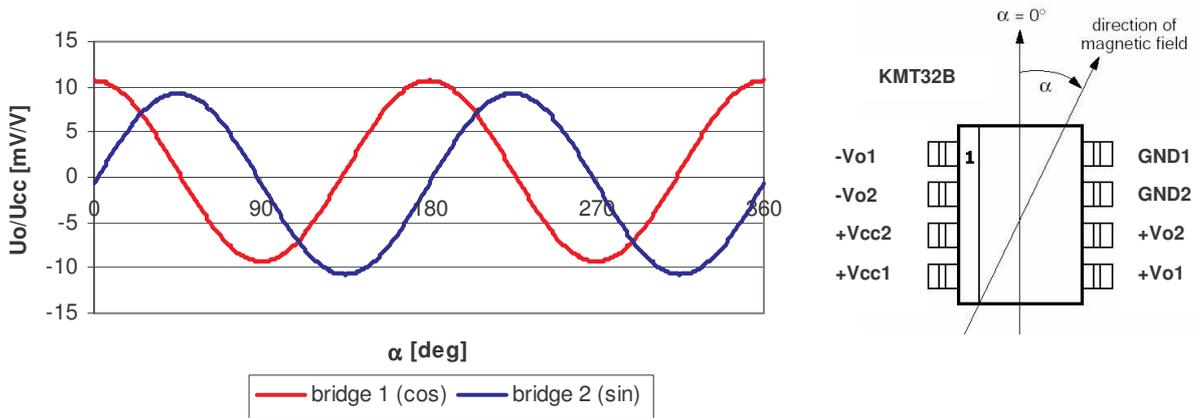
Pasemos a continuación a describir los componentes concretos que usaremos en nuestro sistema, es decir, el microcontrolador y los sensores de ángulo. No se describen en detalle elementos como los amplificadores o multiplexores.

### 2.2.1 Sensor KMT32B

Se trata de un sensor de ángulo magnético basado en el efecto magnetorresistor anisotrópico (AMR). Los sensores magnetorresistivos están indicados para la medida de ángulos y rotaciones con una escala muy precisa. Se usa un campo magnético para transformar el movimiento mecánico en una señal eléctrica.



En el caso de este magnetorresistor, MR en adelante, hay ocho resistencias dispuestas en dos puentes de Wheatstone de cuatro resistencias cada uno. Los dos puentes se encuentran rotados  $45^\circ$  el uno del otro. La rotación de un campo magnético paralelo a la superficie del chip producirá dos señales sinusoidales independientes. Una sigue la función  $\cos(2\alpha)$  y la otra la función  $\sin(2\alpha)$ , siendo  $\alpha$  el ángulo entre sensor y dirección de campo.



El sensor magnético KMT32B está diseñado para aplicaciones de medida de alta precisión bajo condiciones de campo bajo (normalmente  $H_0 = 25 \text{ kA/m}$ , aunque puede funcionar en aplicaciones de exactitud reducida con campos de hasta  $H_0 = 8 \text{ kA/m}$ , ¡hay que estar pendiente hasta del campo magnético terrestre!)

De esta manera es fácil calcular el ángulo  $\alpha$  en un rango de  $180^\circ$  a través de la relación geométrica entre seno y coseno:

$$\frac{V_{a,\sin}}{V_{a,\cos}} = \frac{\frac{V_0}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{\frac{V_0}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \cos(2 \cdot \alpha)} = \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{\cos(2 \cdot \alpha)} = \tan(2 \cdot \alpha)$$

quedándonos:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan(Y)$$

donde el radio de amplitud  $Y$  queda definido como:

$$Y = \frac{V_{a,\sin}}{V_{a,\cos}}$$

La salida del sensor son dos señales analógicas, seno y coseno. Estas señales después de ser amplificadas y demás llegan al microcontrolador a través de su convertidor analógico digital de 12 bits. Los valores digitales obtenidos son tratados, según el caso,

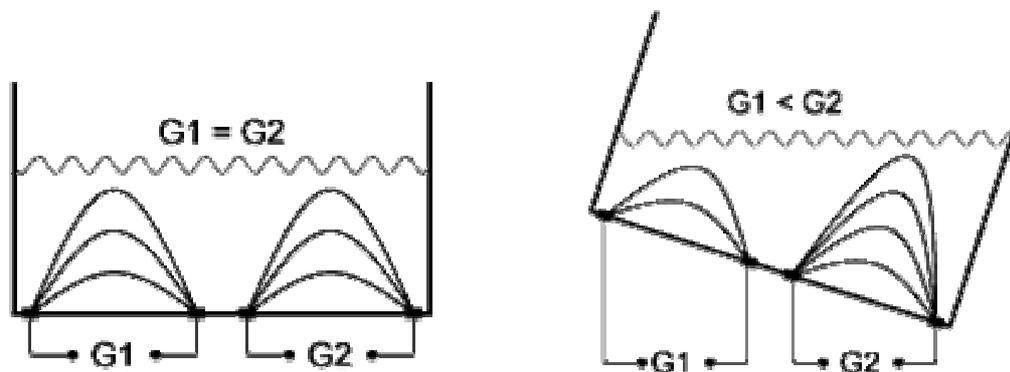
para obtener así el valor del ángulo. De cualquier manera es necesario calibrar el sensor para que los valores digitales tengan sentido. En el caso de este sensor la calibración se hace de forma manual. Se hablará de ello en el capítulo 5.

### 2.2.2 Sensor NS-15

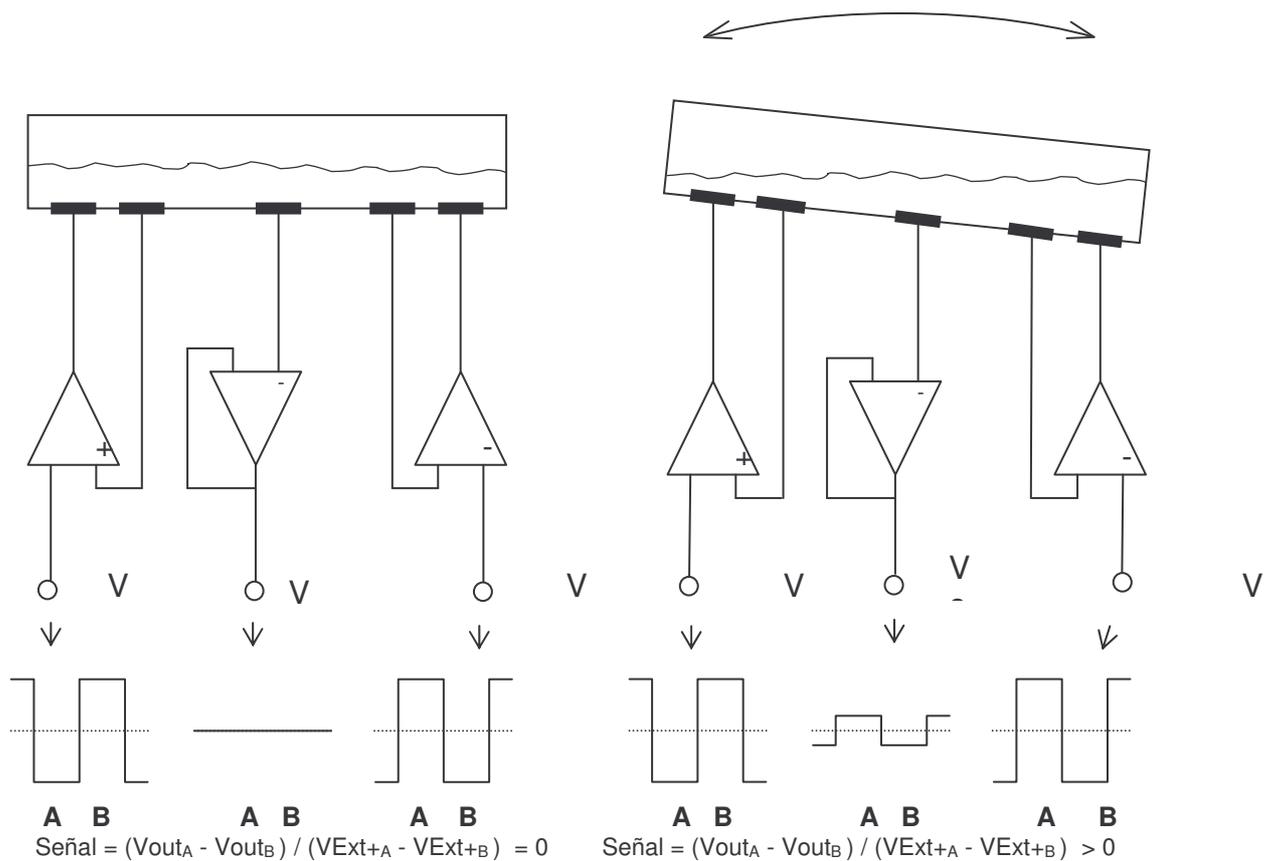
El NS-15 es un sensor de inclinación axial. Consiste en una carcasa cerámica con electrodos de platino y rellena parcialmente de líquido conductor.

Cuando los electrodos son atravesados por una tensión, la corriente eléctrica crea un campo dispersivo. Al inclinarse el sensor, la cantidad de líquido en este varía en unas zonas y otras, cambiando la resistividad del medio. De esta manera la señal procedente de los electrodos será distinta según se reparta el líquido en el interior.

Los campos típicos de aplicación son alineamiento de ruedas y sistemas de control de movimiento.



Para obtener el grado de inclinación primero se calcula la amplitud de la señal de referencia y se compara con la amplitud de la señal medida. Si la relación entre ambas es igual a uno, estamos en equilibrio, si no, la relación varía proporcionalmente con el ángulo de inclinación.



Las salidas del sensor son, obviamente, señales analógicas. Estas señales, después de amplificarlas, llegan al microcontrolador a través del convertidor analógico digital. Los cálculos necesarios para obtener el grado de inclinación se hacen en el micro.

En este caso es necesaria también una calibración del sensor, calibración que se hará de forma automática. Para ello existen programas y placas de calibración. En los capítulos 5 y 6 se hablará mas detalladamente de este proceso.



Proyecto Final de Carrera:  
Diseño y desarrollo de sistema para medida de la inclinación y rotación

### 2.2.3 Microcontrolador

Una de las partes del proyecto, de hecho la primera, consistía en migrar el sistema medidor de rotación KMS32 a uno con un micro más rápido. El micro que se eligió fue el MSP430F133 de Texas Instrument. El mismo micro que usaba el sistema DPL2, medidor de la inclinación. De esta manera, al migrar el KMS32 al nuevo micro, se facilitó mucho la tarea posterior de unir los dos sistemas en uno solo, ya que ambos trabajaban con el mismo micro.

La razón principal para tener un sistema nuevo en el mercado con otro micro era la velocidad de éste. La velocidad con la que el micro es capaz de sacar los datos influye posteriormente en la precisión de la medida del ángulo. En la siguiente tabla se puede ver como a medida que aumenta la tasa de salida de datos disminuye el error de cálculo:

Sistema KMS32: influencia de la tasa de salida de datos con la exactitud.

El tiempo de cálculo en el  $\mu$ C crea fallos en la medida del ángulo

	fallo °	Tasa de salida [Hz]													
		10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000	100000	
velocidad de rotación [rpm]	10	6	3	1,2	0,6	0,3	0,12	0,06	0,03	0,012	0,006	0,003	0,0012	0,0006	
	20	12	6	2,4	1,2	0,6	0,24	0,12	0,06	0,024	0,012	0,006	0,0024	0,0012	
	50	30	15	6	3	1,5	0,6	0,3	0,15	0,06	0,03	0,015	0,006	0,003	
	100	60	30	12	6	3	1,2	0,6	0,3	0,12	0,06	0,03	0,012	0,006	
	200	120	60	24	12	6	2,4	1,2	0,6	0,24	0,12	0,06	0,024	0,012	
	500	300	150	60	30	15	6	3	1,5	0,6	0,3	0,15	0,06	0,03	
	1000	600	300	120	60	30	12	6	3	1,2	0,6	0,3	0,12	0,06	
	2000	1200	600	240	120	60	24	12	6	2,4	1,2	0,6	0,24	0,12	
	5000	3000	1500	600	300	150	60	30	15	6	3	1,5	0,6	0,3	
	10000	6000	3000	1200	600	300	120	60	30	12	6	3	1,2	0,6	
	20000	12000	6000	2400	1200	600	240	120	60	24	12	6	2,4	1,2	

KMS32 (PIC16F88): 1.3 kHz

*KMS32A (MSP430): 5... 10 kHz*

*KMS32B (AD, ASIC): ~100 kHz*

Según estos cálculos, del micro anterior (PIC16F88) al nuevo (MSP430), el error se reduce hasta 10 veces. Posteriormente se desea implementar el sistema en otra versión, en este caso con un ASIC de la marca china FORTUNE con velocidades de hasta 100kHz, como se ve en el último capítulo de la memoria.

Otra de las ventajas de este micro es su capacidad de hacer hasta 16 conversiones analógicas/digitales distintas. De esta manera en el

Proyecto Final de Carrera:

Diseño y desarrollo de sistema para medida de la inclinación y rotación

sistema nuevo los resultados son más precisos al usar un filtro que puede utilizar hasta las 16 medidas distintas.

También cabe destacar la posibilidad de usar el módulo de comunicación serie como SPI.

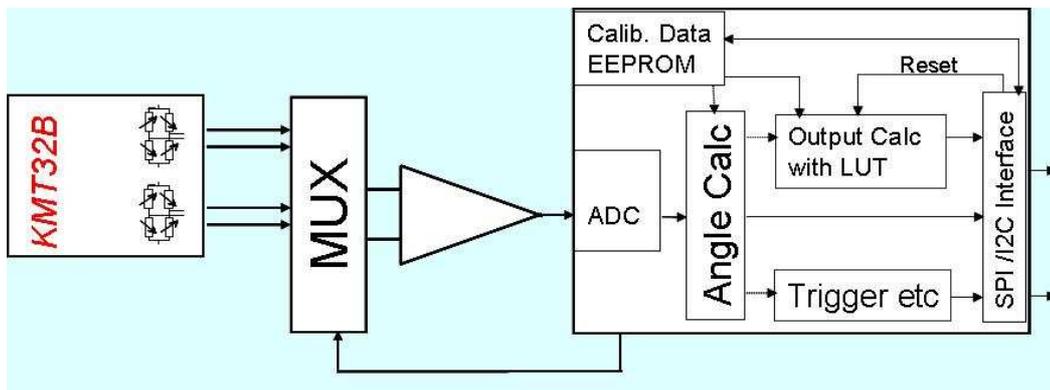
El resto de características del micro son:

- Oscilador interno de 8 Mhz.
- Arquitectura RISC de 16-Bits, Ciclo de Tiempo de Instrucción de 125 ns.
- Dos temporizadores distintos, cada uno de 16-Bits
- Sensor de temperatura
- Comparador 'on-chip'
- Interfaz serie de comunicación USART. Funciona como UART asíncrona o como SPI síncrono.
- 8KB+256B de memoria flash y 256B de RAM.

Las condiciones del micro son las óptimas para nuestro sistema, además de ser el micro que, como hemos dicho antes, ya se implementaba en el DPL2.

### 2.2.4 Multiplexador MC14052B

Con 8 entradas y dos salidas, se usa para alternar la señal que le entra al micro desde el sensor de rotación. De esta manera, primero nos entra la señal del seno y a continuación multiplexamos para leer el coseno. El multiplexador usa tres pines para el control (Inhibit, Control A y Control B). El propio micro se encarga de su control para sacar en cada momento la señal que necesitamos llevar al convertor A/D.



### **2.2.5 Otros componentes**

Además de estos componentes, la circuitería de cada sistema lleva amplificadores, condensadores y resistencias. En los anexos finales se adjuntan esquemas de los sistemas.