



PROYECTO DE FIN DE CARRERA

“Control de fuerza ejercida en dispositivos tensores diseñados para aplicaciones biomédicas”

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Pública de Navarra

Tutor: Ignacio Del Villar Fernández

Alumno: Guillén Berasain Gómez de Segura

INDICE DEL PROYECTO

1: Memoria:	4
1.1: Objeto del proyecto.	7
1.2: Antecedentes.	8
1.3: Características más importantes del proyecto.	8
1.4: Distintos tipos de sensores disponibles en el mercado	9
1.5: Realización de pruebas con sensores:	14
1.5.1 Piezoresistivo FSR.	14
1.5.2 Sensor hall:	19
1.5.3- Galga extensiométrica:	38
1.6: Solución Adoptada	41
1.7: Descripción de lo proyectado:	41
1.7.1 Galga extensiométrica	41
1.7.2- Circuito de adaptación	41
1.7.3 Diseño circuito impreso	43
1.7.4 Reducción de tamaño del circuito	47
1.7.5 Uso de Arduino	49
1.7.6 Programación:	50
1.7.7 Monitorización de datos	63
1.7.8 Configurar el valor óptimo de los sensores	64
1.7.9 Resultados:	68
1.7.10 Extensión del sistema de forma inalámbrica	70
1.7.11 Conclusiones:	76
1.7.12 Posibles mejoras:	76

2: Cálculos:	77
2.1: Cálculo de referencia de tensión	78
2.2: Cálculo de las deformaciones de la galga	79
3: Presupuesto	82
4: Anexo memoria	86
4.1: Programa Arduino	88
4.2: Resultados pruebas	90
4.1.1: FSR	90
4.1.2: Hall	91
4.3: Hojas de características:	95
- INA 333	98
- WSH 201	103
- A1234	107
- HE244	109
- HE144	111
- Tekscan FSR	117
- Galga CEA-13-24UZ-120	120
- Amtel	121
4.4: Líneas de código Matlab para sensores HALL	130
4.5: Líneas de código Visual C# para modulo inalámbrico	133
5: Bibliografía	139

MEMORIA

Índice de la Memoria

1.1: Objeto del proyecto	7
1.2: Antecedentes.	8
1.3: Características más importantes del proyecto.	8
1.4: Distintos tipos de sensores disponibles en el mercado	9
1.4.1: Sensores piezoresistivos	9
1.4.1.1-Sensor FSR	9
1.4.1.2-Galga extensiométrica	10
1.4.1.3-Células de carga	11
• Sensor Capacitivo	11
• Sensor óptico	12
• Sensores magnéticos:	12
-LVDT	12
-HALL	13
1.5: Realización de pruebas con sensores:	14
1.5.1 Piezoresistivo FSR.	14
• Calibrado	15
• Resultados	15
1.5.2 Sensor hall:	19
1.5.2.1- Sensor A1324	20
1.5.2.2- HE244 y HE144	27
1.5.2.3- Imán en forma de anillo	29
1.5.2.4- Doble sensor HALL	32
1.5.2.5- Resumen y decisión	27

1.5.3- Galga extensiométrica:	38
1.6: Solución adoptada	41
1.7: Descripción de lo proyectado:	41
1.7.1- Galga extensiométrica	41
1.7.2- Circuito de adaptación	41
1.7.3- Diseño circuito impreso	43
1.7.4- Reducción de tamaño del circuito	47
1.7.5- Uso de Arduino	49
1.7.6- Programación:	59
1.7.6.1: Programación desde Labview	51
1.7.6.2: Programación híbrida, Arduino y Labview	60
• Software de Arduino	60
• Software de Labview	61
1.7.7 Monitorización de datos	63
1.7.8 Configurar el valor óptimo de los sensores	64
1.7.9 Resultados:	68
1.7.10 Extensión del sistema a su utilización de forma inalámbrica	70
1.7.11 Conclusiones:	76
1.7.12 Posibles mejoras:	76

1.1: Objeto del proyecto

El objetivo de este proyecto es poder medir, procesar y monitorizar la compresión que sufren una serie de sensores diseñados para aplicaciones biomédicas.

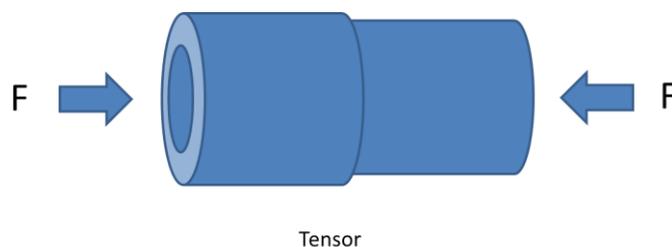


Figura 1: Tensor

De cara a la sencillez del sistema final es preciso implementar una arquitectura de comunicación de tipo inalámbrico en el que un ordenador, que hace las veces de nodo central, debe recibir datos de los nodos instalados en cada uno de los sensores. Los nodos deben tener un tamaño mínimo y contener todos los elementos necesarios para convertir la señal de compresión (la fuerza ejercida sobre el tensor) en una señal de tipo eléctrico que se transmita de forma inalámbrica. Para ello se incorporará en cada tensor el sensor, la electrónica, una batería y un módulo inalámbrico que permita transferir los datos a una unidad central.

En primer lugar, es necesario analizar los distintos tipos de sensores, capaces de transducir una señal de fuerza, que podemos encontrar hoy en día en el mercado, para posteriormente decidir cuál es el sensor apropiado para esta aplicación. Posteriormente, se debe caracterizar dicho sensor para conocer su comportamiento y verificar si cumple los requisitos principales que requiere el proyecto.

Por otra parte, se deben realizar los circuitos de adaptación en los que se conecten los distintos sensores. Estos circuitos se encargarán de convertir las lecturas de los sensores en una tensión para posteriormente poder ser analizada.

También es necesario un dispositivo capaz de leer la tensión la salida de los circuitos y que permita representar los datos en un ordenador, para así poder analizar y monitorizar a tiempo real los valores de los sensores. En esta parte se hará hincapié en una solución no inalámbrica y se dejará planteado cómo extender dicha solución al dominio inalámbrico, teniendo en cuenta que, al ser un dispositivo biomédico, se debe de estudiar si las frecuencias del dispositivo inalámbrico son aptas para su futuro uso. Aunque para la solución no inalámbrica el valor de tensión con el que se trabaje en el circuito no tiene especial relevancia, en los diseños se tendrá en cuenta la cuestión de reducir la tensión de trabajo al mínimo, para de este modo reducir el consumo y por tanto aumentar la autonomía de los dispositivos instalados en los sensores, cuyo funcionamiento dependerá de una batería.

También hay que diseñar el software que permita procesar la señal eléctrica recibida por cada uno de los nodos conectados a los sensores, deducir con ello la fuerza aplicada en el tensor y ajustar el valor óptimo de tensión.

Para terminar, el precio de los elementos a utilizar es un factor a tener en cuenta, por lo que se podrían descartar posibles soluciones en caso de que tengan un precio excesivo.

1.2: Antecedentes

Para realizar este proyecto se parte del conocimiento adquirido en distintas asignaturas como Electrónica Industrial, Instrumentación, Electrónica digital y Laboratorio de electrónica digital.

La universidad proporciona una zona de trabajo en un laboratorio de electrónica, así como un ordenador con una amplia variedad de software, diverso material eléctrico y electrónico y distintos tipos de sensores. Además se dispone de la posibilidad de realizar circuitos impresos.

1.3: Características más importantes del proyecto

Este proyecto requiere los siguientes aspectos:

- 1.- Elegir el sensor que realice la medida de la fuerza que se ejerce
- 2.- Adaptar la señal obtenida por el sensor
- 3.- Disponer de hardware que pueda leer la señal para un ordenador
- 4.- Realizar cálculos para obtener el valor de Fuerza en Newton
- 5.- Calibrar el sensor
- 6.- Programar para representar en el ordenador el valor de la fuerza ejercida
- 7.- Permitir resetear el valor cuando el tensor no esté sufriendo ningún tipo de fuerza.
- 8.- Programar para representar gráficamente el valor en función del tiempo
- 9.- Programar para lograr un software que permita almacenar el valor óptimo de fuerza así como permitir que posteriormente se pueda ajustar la fuerza a ese valor

1.4: Distintos tipos de sensores disponibles en el mercado:

Como ya se ha mencionado, el sensor que se utilice en el proyecto deberá de tener varios requisitos, para empezar el precio deberá de ser ajustado, además el tamaño es un factor muy a tener en cuenta, y también su posible alimentación a una baja tensión, igual o inferior a 3.3V.

Para las posibles soluciones se pensó en dos formas distintas de tomar la medida. La primera de ellas fue mediante un dispositivo pasivo (no requiere baterías), las soluciones existentes en el mercado son por lo general de tamaño demasiado grande, como es el caso de las aplicaciones basadas en la patente de Intel WISP (Wireless Identification and Sensing Platform), utilizada para aplicaciones como detección de deformaciones de una galga, [1], o bien son de tamaño pequeño pero aún están en proceso de desarrollo y no alcanzan las prestaciones de una galga extensométrica, como es el caso de los trabajos realizados hasta la fecha mediante interrogación de metamateriales [2-4] La segunda forma son los dispositivos activos (requieren baterías), donde se barajaron varias posibilidades. Una de las formas era medir directamente la fuerza mediante sensores como células de carga, galgas o sensores FSR. La otra opción fue emplear un muelle que convirtiese la fuerza en un desplazamiento para poder medir dicho desplazamiento mediante sensores tipo hall o LVDTs. Esta última opción trae un impedimento, y es que la estructura del tensor con el muelle aumenta significativamente su tamaño.

1.4.1- Sensores piezoresistivos: Son sensores que varían su resistividad en función de la variable de medida.

1.4.1.1: Sensor FSR:

Es un sensor que mide la fuerza que se ejerce en su superficie. Su nombre viene de las siglas “Force sensing resistors”, que quiere decir “Resistencia detector de fuerza”. Consisten de un polímero conductor, que cambia la resistencia de una manera predecible después de la aplicación de la fuerza a su superficie. Por lo general se suministran como una lámina de polímero o de tinta que se puede aplicar por serigrafía. La película de detección se compone de dos capas conductoras y de partículas no conductoras en suspensión. Las partículas tienen tamaños sub-micrométricos, y están formulados para reducir la dependencia de la temperatura, mejorar las propiedades mecánicas y aumentar la durabilidad de la superficie. La aplicación de una fuerza a la superficie de un sensor de la película hace que las partículas toquen los electrodos conductores, que produce el cambio de la resistencia de la película.

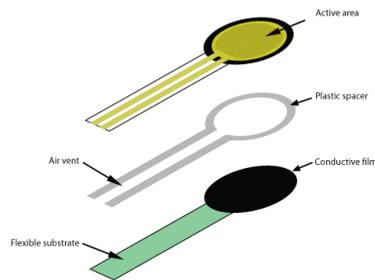


Figura 2: FSR tekscan

1.4.1.2: Galga extensiométrica:

Estos sensores varían su resistividad en función de la deformación de los mismos. La unidad que representa es épsilon, esta unidad es adimensional y expresa el cambio de longitud sobre la longitud inicial.

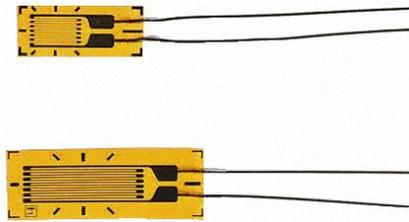


Figura 3 Galga uniaxial vishay 120Ω

Existen varios tipos de galgas en el mercado, siendo las principales las galgas metálicas y las de semiconductor.

Por una parte, la galga de metálicas disponen de unas pistas conductoras largas y estrechas, que cuando la galga se comprime, estas disminuyen su longitud y se ensanchan, por lo que su resistencia decrece. Cuando la galga se expande, realiza el proceso inverso, por lo que el valor de su resistencia aumenta. Estas son principalmente las usadas en los laboratorios.

Por otro lado, las galgas de semiconductor sustituyen el hilo conductor por una pista de un elemento semiconductor. Estas galgas pueden ser de un tamaño mucho más reducido, además, tienen mayor sensibilidad (unas 50 veces más que las metálicas), mejor resistencia a la fatiga y una menor histéresis.

El tamaño de las galgas es muy reducido, lo que las hace idóneas para este proyecto, además, el precio, que ronda entre los 5 y los 30 euros, no es excesivamente alto.

Como parte negativa, la única pega de las galgas es que requieren algo más de electrónica, ya que es un sensor resistivo y no da directamente la tensión, pero este inconveniente no es importante, ya que la electrónica necesaria para transducir el cambio resistivo de la galga a un valor de tensión es muy sencilla.

1.4.1.3: Células de carga:

Es un transductor que se emplea para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Está basado en sensores de tipo piezoeléctricos, por lo que cabría pensar que se pueden utilizar como dispositivos pasivos. Sin embargo, la señal obtenida es muy débil y debe utilizarse un amplificador de carga, lo que provoca un aumento de precio que impide la utilización de este sensor para este trabajo.



Figura 4: Célula de carga LORENZ K-1250

1.4.2- Sensor capacitivo: Estos sensores reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse o alejarse de la superficie activa modifican la capacidad entre el sensor y el objeto a detectar. Los valores capacitivos varían también en función del material que se detecte.

El problema de este sensor es que al detectar objetos con capacidad dieléctrica, también detecta el dedo humano, por lo que para esta aplicación se introducirían interferencias, esto lo hace inservible para este proyecto.

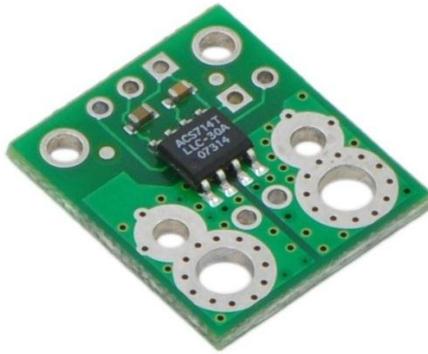


Figura 5: Sensor Capacitivo AC5714T

1.4.3- Sensor óptico basado en fuente de luz y fotodetector: Estos sensores se basan en el envío de una señal de luz hacia el objetivo y, en base al tiempo en que regresa y es detectada por el detector, o al ángulo con que se reciben deducen la distancia entre el el sensor y el objetivo. Se podrían utilizar en caso de aplicar un muelle al tensor y deducir la distancia recorrida por el muelle, pero su elevado tamaño (alrededor de $3 \times 3 \times 2 \text{cm}^2$) hace imposible su utilización.



Figura 6: Sensor óptico CONTRINEX LTK

1.4.4- Sensores magnéticos: Utilizan el magnetismo para realizar la medida y existen varios tipos:

1.4.4.1- LVDT:

Un material ferromagnético desplazándose dentro de una bobina hace variar sus características en función de la posición del mismo.

El tamaño no se ajusta a los requisitos del proyecto, ya que los más pequeños miden desplazamientos de 30 mm. Además, el precio no se ajusta a las exigencias.



Figura 7: LVDT MDCT series

1.4.4.2- Sensor Hall:

Estos sensores generan una señal en función del campo magnético del entorno. Utilizan el efecto hall para detectar dicho campo.

El efecto hall se sirve de un conductor por el que circula una corriente, en presencia de un campo magnético perpendicular al movimiento de las cargas, aparece una separación de cargas que da lugar a un campo eléctrico en el interior del conductor, perpendicular al movimiento de las cargas y al campo magnético aplicado.

La rapidez de su respuesta, junto a su precisión y bajo precio hacen que sea una buena opción para implementarlo en el proyecto



Figura 8: Sensor hall Ss441A

1.5: Realización de pruebas con sensores:

En vista de los inconvenientes de algunos de los sensores presentados en la anterior sección se realizó una selección de tres de ellos que pueden resultar adecuados para la aplicación final: sensor piezoresistivo FSR, sensor HALL y Galga extensiométrica.

1.5.1 Sensor piezoresistivo FSR:

Se decidió realizar pruebas con este sensor debido a que el montaje necesario para su funcionamiento es muy simple (basta situar el sensor entre dos partes del tensor para que funcione), además su precio no es excesivamente caro. Por otro lado también tiene inconvenientes:

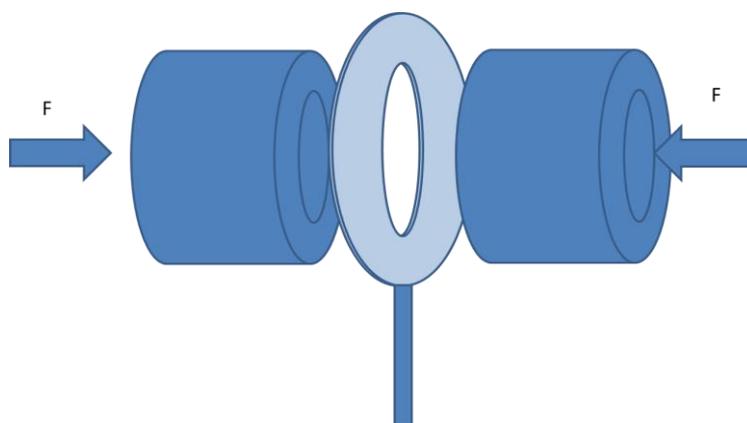


Figura 9: estructura FSR

La principal desventaja que presentan los sensores piezoresistivos es que aunque pueden ser utilizados para mediciones dinámicas, generalmente solo se obtienen resultados cualitativos. Los rangos de precisión de fuerza son de aproximadamente $\pm 5\%$ a $\pm 25\%$. [5]

Hay dos proveedores comerciales conocidos este tipo de productos, Interlink Electronics, y Tekscan. Estos disponen de distintas variantes. Tekscan produce un sensor llamado el sensor FlexiForce y tiene una multitud de las gamas de fuerza disponible, mientras que Interlink Electronics indica la saturación de la resistencia en tan sólo 10 kg de aplicada peso.

Ambos sensores pueden ser manipulados mediante un circuito de adaptación para proporcionar rangos más deseables y sensibilidad en base a la tensión de alimentación y la resistencia de referencia utilizados en dicho circuito. Ambos sensores son muy delgados, 0.46 mm para el Interlink Electronics FSR y 0.208mm para la Tekscan Sensor FlexiForce. [6]

Para nuestro proyecto hacía falta un sensor en forma de anillo, pero en el mercado no existen sensores con estas características. Tras consultar a fabricantes, éstos propusieron dos alternativas, la primera fue que el fabricante

diseñase exclusivamente un sensor para éste proyecto, pero ésta solución elevaba excesivamente el precio del dispositivo. Como alternativa también se propusieron realizar un agujero en el centro del sensor circular, como ésta opción resultaba más económica, se optó por realizar un agujero.

Finalmente se optó por el sensor A201 de tekscan que mide una fuerza máxima de 20 N. El precio unitario ronda los 16 euros.

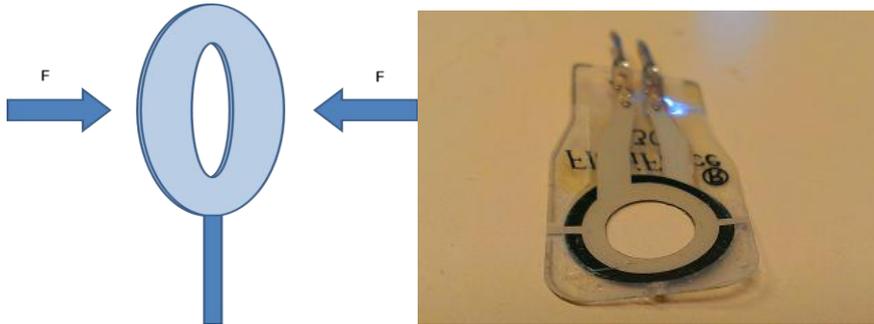


Figura 10: FSR flexiforce A201

Desde las primeras pruebas se veía que el sensor tenía mucho ruido y su histéresis era muy alta. Además su altísima resistencia impedía su implantación en un circuito con amplificadores operacionales.

- Calibrado: Antes de su uso, es preciso calibrar este tipo de sensores. Para ello, se deben realizar los siguientes pasos:

-Limpiar la zona de trabajo

-montar el siguiente circuito:

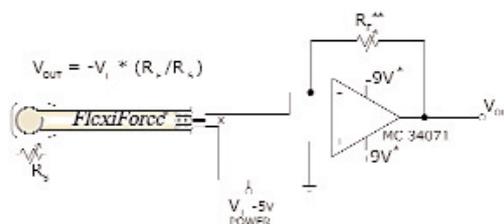


Figura 11: Esquema FSR Flexiforce (A201 datasheet)

-poner un 110% del peso máximo del sensor (en nuestro caso 10Kg) sobre el mismo durante 3 segundos

-repetir este último paso durante 3 ocasiones.

- Primeros resultados: En un primer momento, llamó la atención el altísimo valor de su resistencia, pero a simple vista no parecía una mala opción.

- Pruebas con pesas: Una vez adquiridas las pesas se procedió a tomar datos, y fue cuando se apreció claramente que los datos no eran fiables debido a su baja repetibilidad, alta histéresis y alto ruido.
- Resultado pruebas: El principal problema que se encontró en el sensor es que, al ir aumentando progresivamente la masa de las pesas, en el momento de tener que quitar pesas pequeñas para poner unas pesas mayores la media cambiaba demasiado. Por ejemplo, tras tomar la medida de dos pesas de 500gr se retiran y se pone una de 1kg la media varía considerablemente. Esto es debido a su mala repetibilidad.

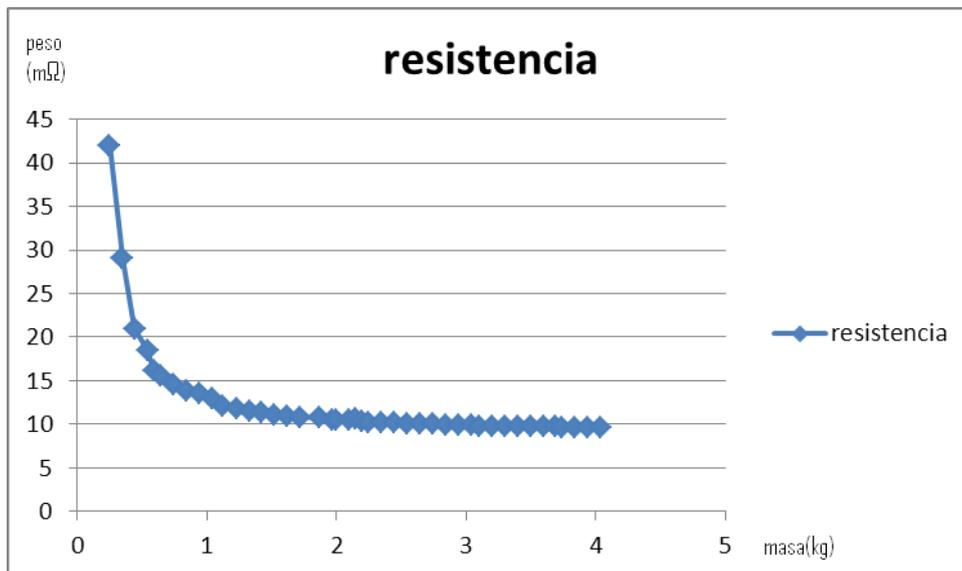


Figura 12: Resistencia en función del peso

Invirtiendo la resistividad se consigue la conductancia:

$$G = \frac{1}{R}$$

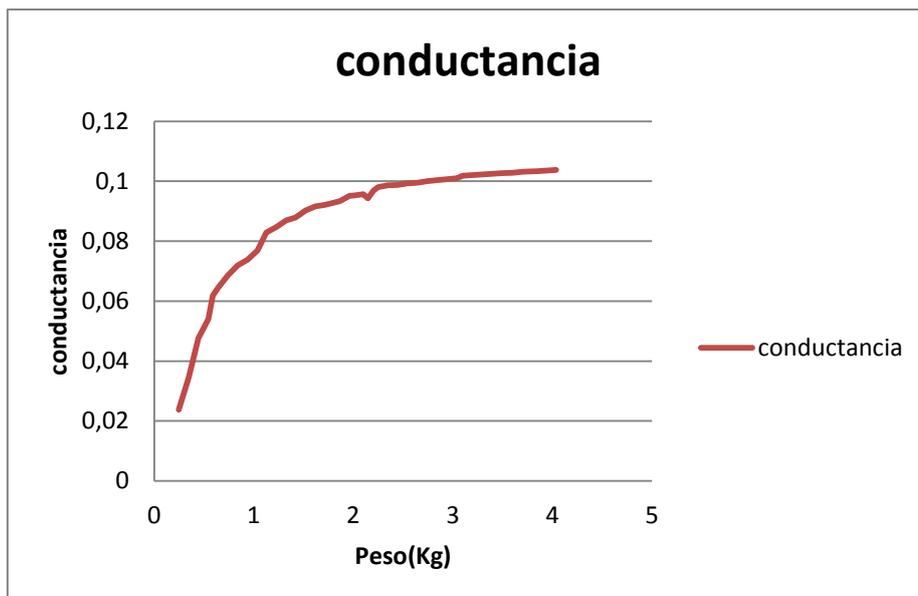


Figura 13: Conductancia en función del peso

- Resultados de repetibilidad:

Para las pruebas se han empleado pesas de 1,2,3 y 4 kg

1 Kg(MΩ)	2 Kg(MΩ)	3 Kg(KΩ)	4Kg(KΩ)
1,47	0,63	456	350
1,55	0,6	354	226
1,38	0,72	521	379
1,44	0,55	397	355
1,43	0,6	433	224
1,52	0,71	482	263
1,42	0,74	514	235
1,47	0,69	498	295

Tabla 1: Repetibilidad del sensor FSR de Tekscan

Para la calcular la repetibilidad se va a tomar la pesa de 3 Kg.

El valor medio es 456.875

La desviación típica es 55.26852

Como se puede observar, los resultados no son los esperados, ya que su repetibilidad es muy baja.

- Ruido y rango:

Uno de los problemas de este sensor es el rango de resistencia que tiene, y es que el moverse entre los 200 k Ω y 100 M Ω dificulta el procesamiento de la señal. Otro de los problemas es que el ruido es muy alto. En una de las pruebas se podía observar que con una pesa de 2kg el ruido es de 300k Ω .

- Acondicionamiento de la medida mediante operacionales:

Después de medir la resistividad del sensor piezoresistivo se trató de acondicionar la medida mediante amplificadores operacionales. En las hojas de características del sensor se recomienda el sensor de microchip MCP 6002 que es con el que se procedió a realizar las pruebas.

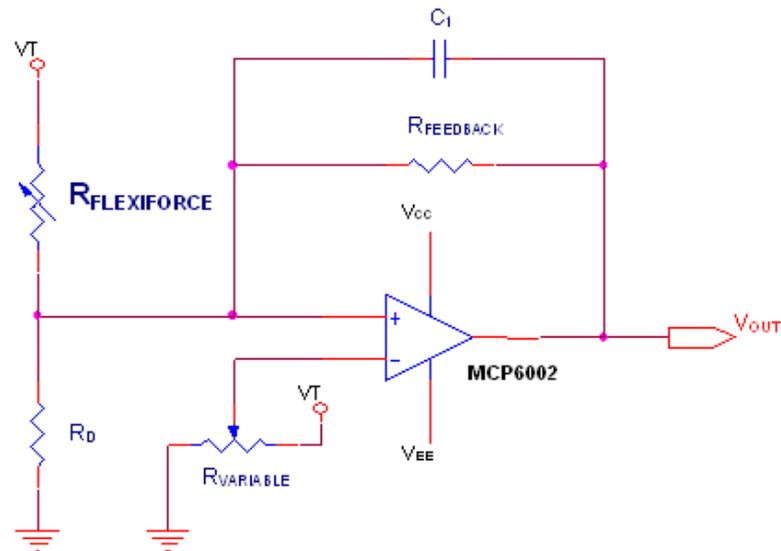


Figura 14: circuito para FSR

Pronto se pudo observar que la alta resistencia (mínimo 9M Ω) del sensor impedía su correcto acondicionamiento, Además en las primeras pruebas con el circuito se pudo observar que este sistema no mejoraba los datos de repetibilidad. Esto influyó considerablemente en el descarte del sensor para ser utilizado en el proyecto.

1.5.2 Sensor Hall

El sensor Hall se sirve del efecto Hall para medir los campos magnéticos y con ello determinar la posición de un imán. Como lo que se quiere es medir es la fuerza ejercida sobre el tensor, se emplea un muelle para convertir dicha fuerza en un desplazamiento.

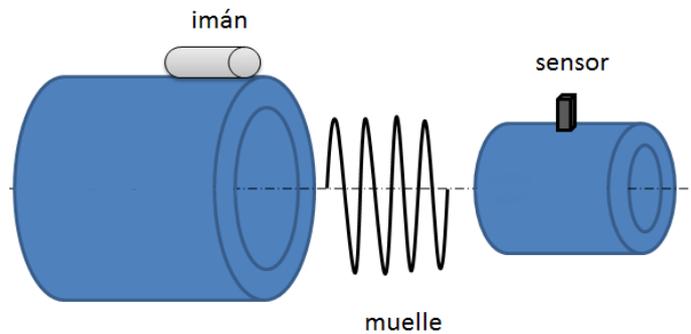


Figura 15: estructura del tensor

Una característica importante que debe tener el sensor es su posible alimentación a 3.3V o menos, de cara a reducir su consumo y a utilizar el dispositivo como nodo inalámbrico utilizando un módulo que funciona a esa tensión.

Para esta prueba se han utilizado tres sensores, el WSH201, el HE244, el HE144, el A1324 y dos imanes, uno cilíndrico y otro en forma de anillo.



Figura 16: Imán cilíndrico



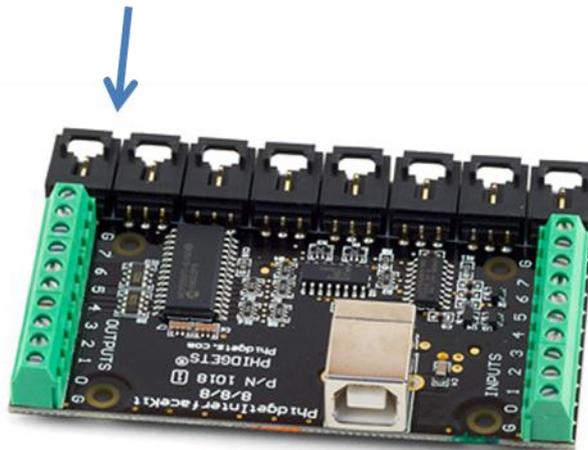
Figura 17: Imán en forma de anillo

1.5.2.1- Sensor A1324:

Para estas pruebas se utilizó un dispositivo phidget, que permite monitorizar en el ordenador el valor de distintos sensores conectados a esta placa. Para nuestro caso, necesitamos un sensor de efecto hall.

El dispositivo se conecta al sensor A1324 de allegro, que tiene unas muy buenas características, con una gran precisión, bajo ruido y baja histéresis

Entrada del Sensor



Conexión USB

Figura18: Phidget Interface

Los siguientes datos se tomaron con el imán circular de neodimio, sus características son las siguientes:

- Imán de Neodimio
 - Longitud: 8.7mm
 - Diametro: 4.97
 - Campo magnetico: 500 Gauss
- Caracterización de sensor A1324.

Para caracterizar el sensor se ha optado por colocar el imán de forma trasversal, es decir, el imán no va de frente al sensor, sino que sigue el siguiente esquema:

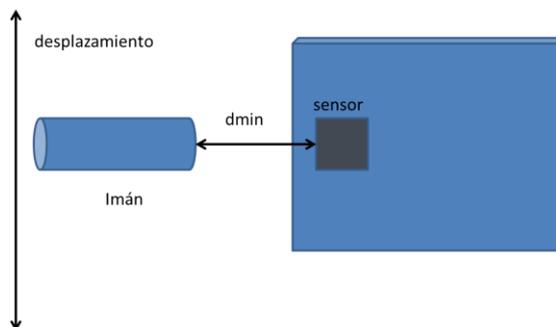


figura19: desplazamiento hall

El imán se sitúa a una distancia “Dmin” del sensor, y el desplazamiento en vez de ser perpendicular al sensor (acercándose a él) es paralelo.

El punto 0 es cuando más cerca está el imán del sensor. Y conforme se desplaza va aumentando la distancia a ese punto, “desplazamiento” o “d”.

Para los siguientes resultados se ha tenido el imán a una distancia Dmin=2mm

- Repetibilidad: Para comprobar la repetitividad se adquiere el valor de tensión que se obtiene al posicionar el imán varias veces a la misma distancia $d = 4\text{mm}$ se tomaron los siguientes datos.

1.804
1.803
1.803
1.804
1.803
1.803
1.804
1.803

Tabla 2: Repetibilidad

Podemos observar los datos son buenos, la desviación típica es:

Desviacion típica: 0.000451

ida	vuelta
1.813V	1.814V
1.814V	1.814V
1.813V	1.814V

Tabla 3: histéresis del sensor hall

- Histéresis: Para ver la histéresis se toman datos pasando del punto $d=15\text{mm}$ al punto $d=7\text{mm}$, se adquiere el valor en esa posición, después se desplaza hasta el punto 0 y se vuelve al punto 7. Se repite la toma de datos y se compara con el punto 7. Se puede observar que a pesar de que tiene algo de histéresis, es muy pequeña

-Resultados de pruebas: Para estas pruebas, se utilizaron dos métodos de medición:

- Mediante el ordenador: El phidget alimenta al sensor a 5V y después capta la salida del sensor. El ordenador representa mediante un porcentaje (de 0 a 100) el valor de la salida del sensor
- Mediante un multímetro: Se alimenta el sensor a 3.3V y se mide la salida mediante un multímetro. Es importante mencionar que en las características del sensor aparece que la alimentación mínima es de 5V, por lo que los resultados nos mostrarán si se puede implementar en un circuito que funciona a 3.3 ya que esta tensión es la que interesa para éste circuito.

Para comparar los datos, los datos obtenidos a 3.3 se escalarán a 5V.

La medida se tomará desplazando el imán de distinta forma, colocando el imán de frente, o colocándolo de forma trasversal como se muestra en la siguiente imagen:

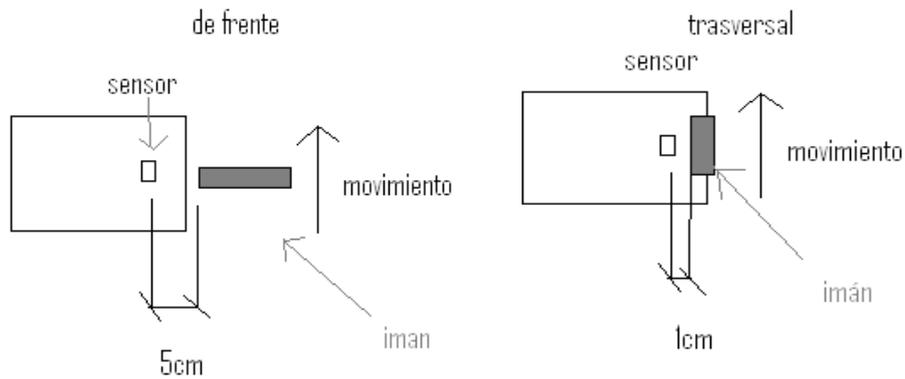


Figura 20 Posiciones del imán

- **Trasversal:**

En el siguiente gráfico (la figura 22) se puede observar cómo el sensor sufre un cambio de polaridad, en una posición la medida es inestable, eso se debe a que cuando esta en la posición “-3” el polo más cercano es el polo “N”. Conforme se va desplazando el sensor se sitúa entre medio de los dos polos por lo que su medida pasa a ser inestable. Tras pasar ese tramo, el sensor vuelve a estar más cerca de un polo que de otro, por lo que la señal se vuelve estable, pero como el polo es el opuesto (polo “S”) la señal pasa a ser positiva.

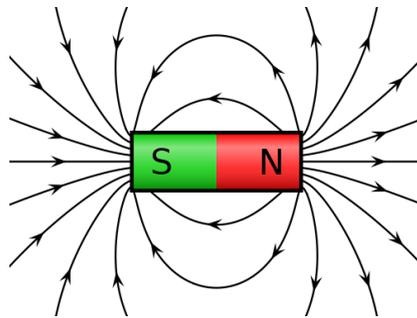


Figura 21

Por otra parte, en el gráfico también se puede observar que de esta manera se consigue más sensibilidad, esto es lógico ya que sufre un cambio de polaridad.

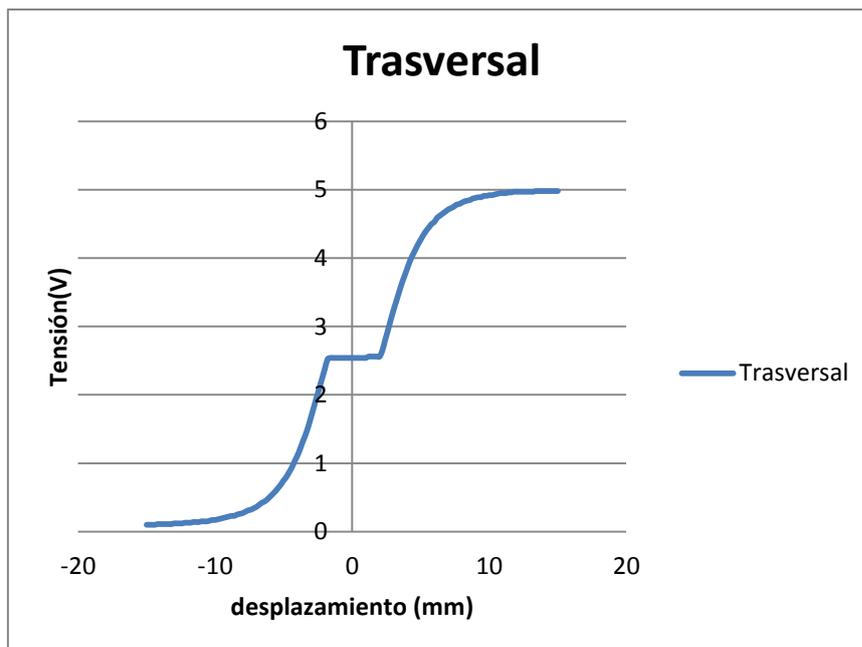


Figura 22: desplazamiento transversal

- De frente:

Para estas pruebas el desplazamiento se realiza mediante un microposicionador manual

Tomamos datos con el ordenador (PC), y con el sensor alimentado a 5V. Por otra parte, como nos interesa alimentarlo a 3.3V, también tomamos datos con el sensor alimentado a esta tensión y escalamos los resultados al rango de 5V. Así los podemos comparar con los datos del sensor alimentado a 5V:

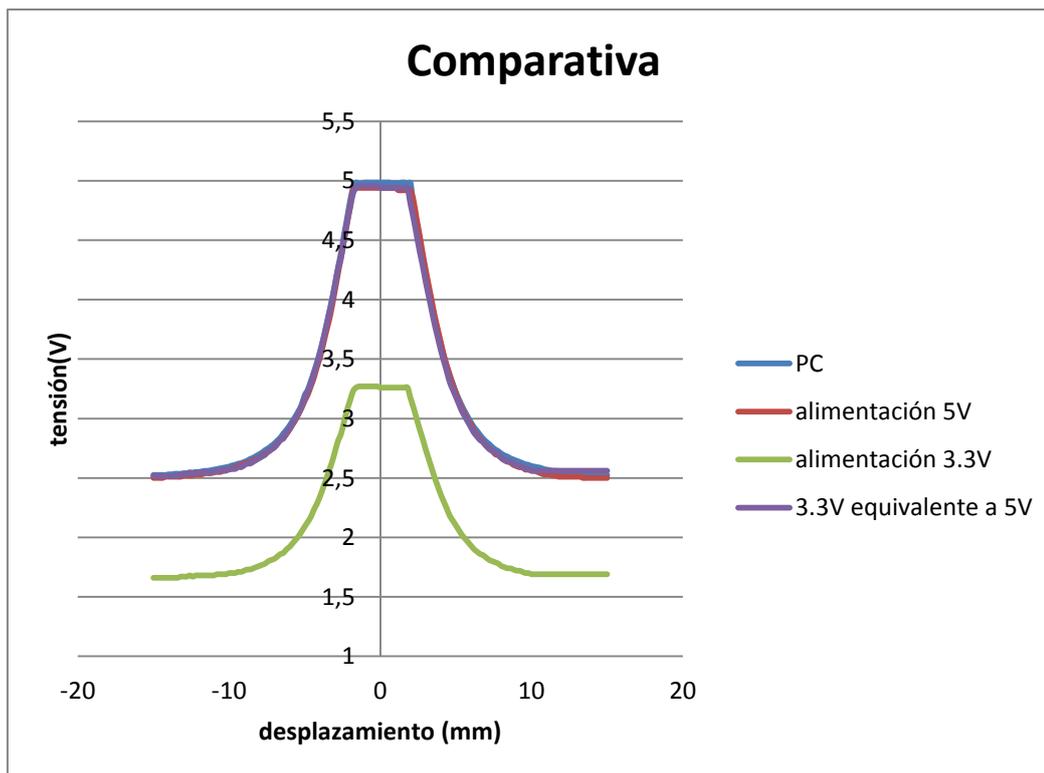


Figura 23: Comparativa a distintas formas de alimentación

- Interpretación de los resultados: como se puede observar la alimentación no influye en el resultado (hablando de porcentajes) ya que la medida realizada a distintas tensiones a sido muy parecida, por lo que para este caso el sensor aparentemente puede ser alimentado a 3.3V
- Búsqueda de la distancia mínima: Como el circuito deberá ir alimentado a 3.3V, se procederá a tomar medidas con esta tensión a diferentes distancias para hallar cuál de ellas es la adecuada entre el sensor y el imán:

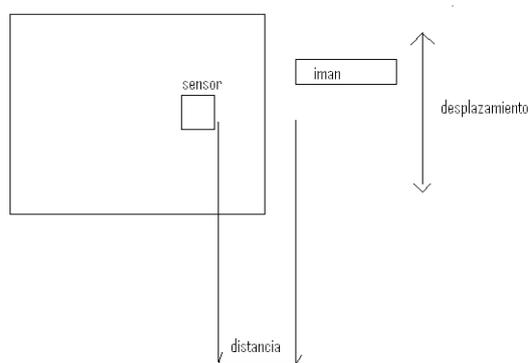


Figura 24: posición del imán

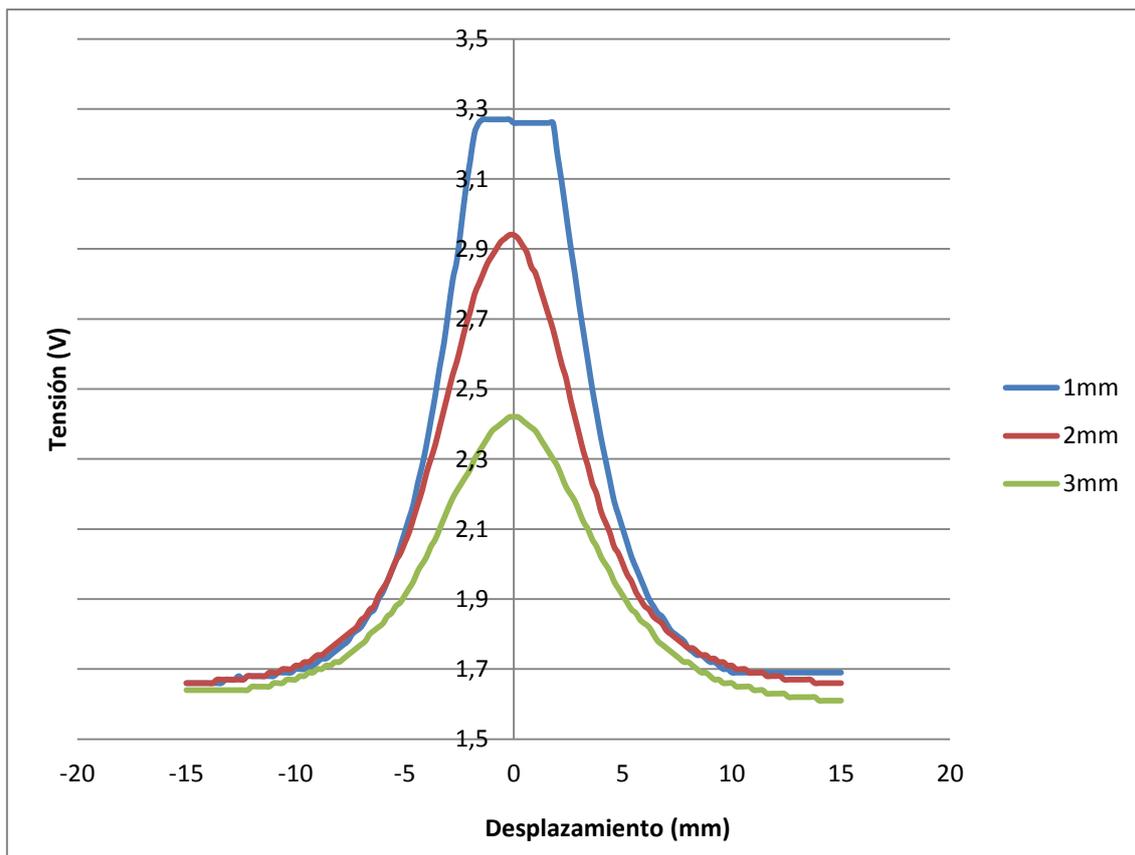


Figura 25: datos a distintas distancias

- Interpretación de resultados: Como se puede observar para la distancia mínima $d=1\text{mm}$ la sensibilidad es mayor, pero también disminuye el rango de medida. Para este caso la sensibilidad es más importante que el rango, ya que la distancia que queremos medir es muy pequeña.

Resultados:

	1 mm	2mm	3mm
Sensibilidad (V/mm)	0,3022727	0,19166667	0,103703704
Span (V)	8	8	8.2

Tabla 4: sensibilidad y rango

- Búsqueda sensor de mayor sensibilidad: Como el desplazamiento a medir es muy pequeño (en torno a 2mm) interesa que la sensibilidad sea máxima. Para ello, se han buscado en el mercado sensores con alta sensibilidad. De todos ellos, se ha optado por realizar las pruebas con el sensor he244.

La salida de este sensor es diferencial, por lo que se debe adaptar mediante amplificadores de instrumentación. Esto nos permitirá adaptar la señal a nuestras necesidades, con la ganancia adecuada.

1.5.2.2- Sensores HE244 y HE144:

Tras ponernos en contacto con Hoeben, nos enviaron dos sensores de muestra, el HE244 y el HE144. Los dos tienen similares características, principalmente se diferencian en el encapsulado y en la resistencia interna del alimentación, por lo que las pruebas se realizan únicamente con el sensor HE244. A diferencia del sensor A1324 no dispone del amplificador de instrumentación, lo cual por un lado es una desventaja (mayor tamaño) pero por otro es una ventaja la que se puede regular la ganancia del dispositivo

- Resultados obtenidos con este sensor:

Al necesitar un amplificador de instrumentación, se pueden obtener distintos valores cambiando la resistencia que varía la ganancia (Rg). Es importante mencionar que el desplazamiento máximo que se desea para la aplicación es de 3mm, es decir, que cuando el tensor sufra la fuerza máxima, el muelle solo se deformara esa distancia, por lo que no es necesario que el rango del sensor sea alto.

Las siguientes medidas se tomaron con un amplificador operacional alimentado a +/-15 y con un circuito de operacionales alimentado a 3.3V:

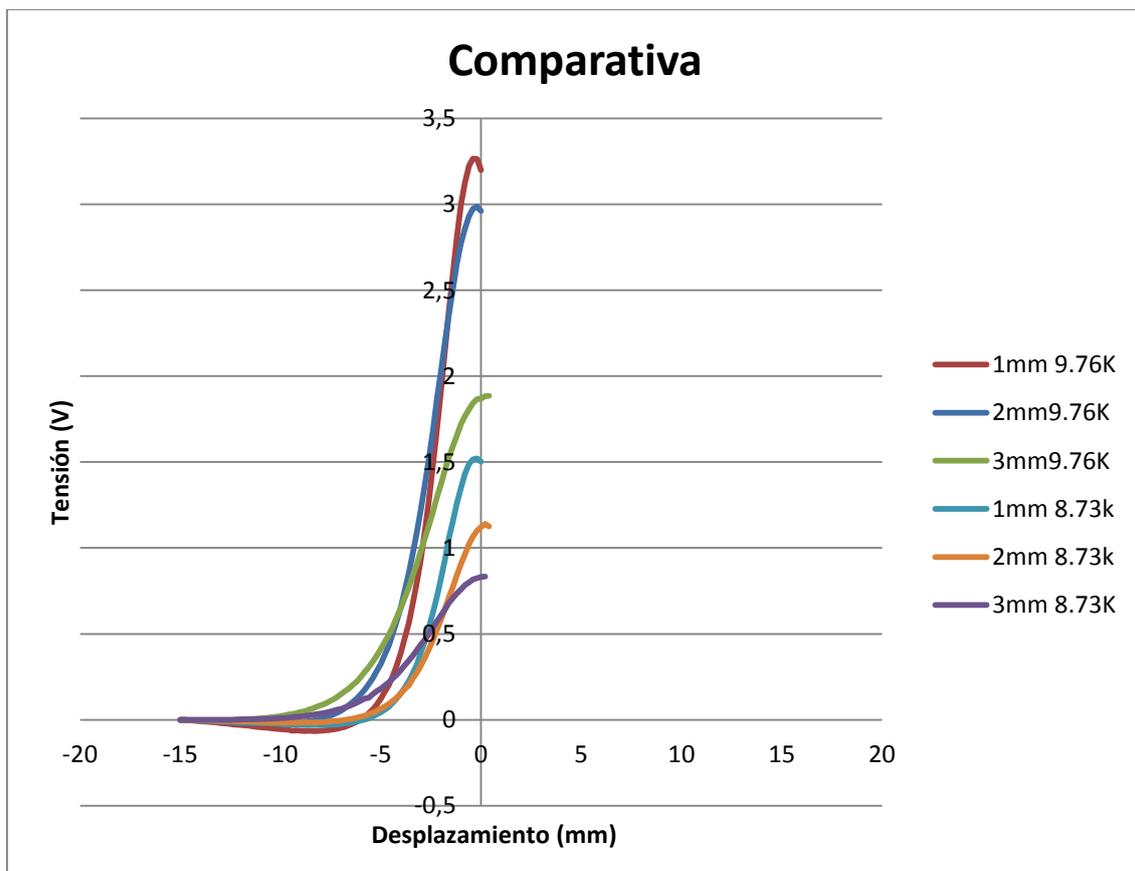


Figura 26: distintas sensibilidades

- Interpretación: se puede observar que con el circuito de adaptación realizado, variando la resistencia “Rg” que ajusta la ganancia del amplificador, se puede lograr, sacrificando el rango una gran sensibilidad, que es lo que nos interesa.

-Comparativa:

En la siguiente tabla se pueden observar los distintos sensores. El primero es el HE244 con el primer amplificador que se utilizó, alimentado a $\pm 15V$. El segundo es el mismo sensor, pero esta vez con un amplificador alimentado a 3.3V. Como se ha ajustado la ganancia del mismo para producir un máximo de 3V, la sensibilidad es mucho mayor. Los dos últimos son el A1324 y el WSH201, que tienen el amplificador incorporado por lo que no se puede ajustar la sensibilidad.

	Distancia	Rg(para Ganancia)	sensibilidad(V/mm)
Sensor he244 con operacional alimentado a $\pm 15V$	1mm	9.76k	0,914642857
	2mm	9.76k	0,6728125
	3mm	9.76k	0,335294118
	1mm	8,66k	0,365526316
	2mm	8,66k	0,23275
	3mm	8,66k	0,145789474
HE244 con amplif. a 3.3V	0,5	180k	2
	1	180k	
A1324	1mm	-	0,302272727
	2mm	-	0,191666667
	3mm	-	0,103703704
WSH201	4mm	-	0,1851851

Tabla 5: comparativa

- Decisión

Tras comprobar que el sensor HE244 es el más apropiado para el trabajo ya que para el rango necesario (unos 3mm) tiene la mayor linealidad y sensibilidad, por lo que se va a seguir realizando pruebas con este sensor.

1.5.2.3- Pruebas realizadas con el imán en forma de anillo:

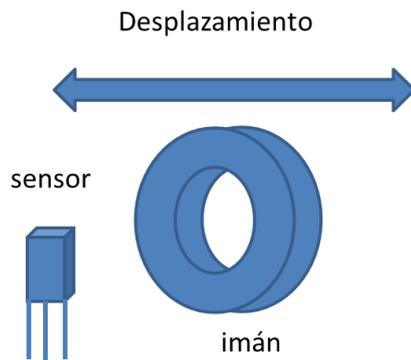


Figura 27; posición sensor

-Se ha podido observar que el imán cilíndrico es menos potente, por lo que habrá que variar la ganancia del amplificador cambiando R_g .

Características del imán:

- Iman de Neodimio
- Diametro interior: 14mm
- Diametro exterior: 16mm
- Campo magnético: 458 Gauss

En la siguiente prueba se han tomado medidas con la resistencia R_g anterior y con la optimizada (para dar un valor máximo de 3V) los resultados son los siguientes:

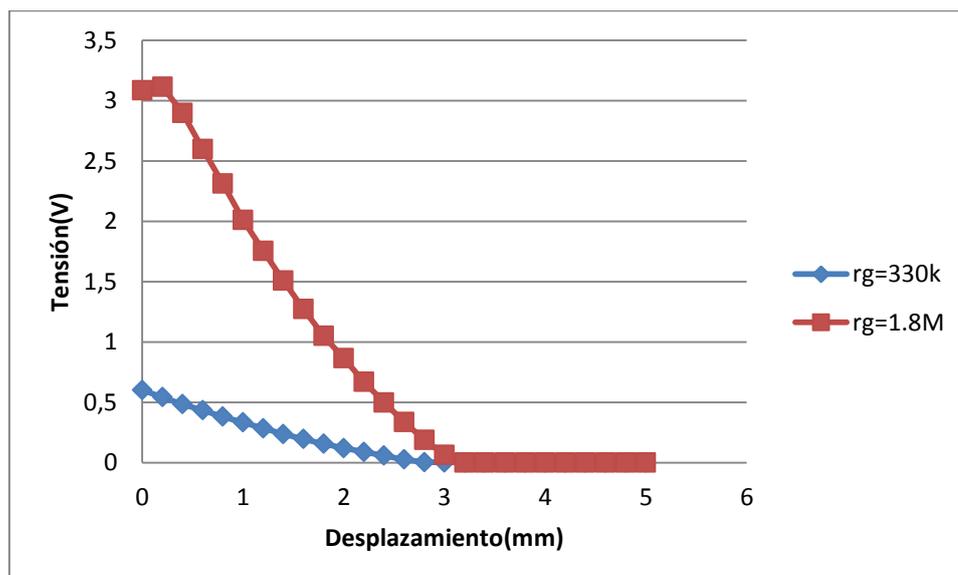


Figura 28: prueba sensor en forma de anillo

Como se puede observar, a partir de $d=3\text{mm}$ el valor es 0, esto es debido a que el amplificador operacional está alimentado a tensión únicamente positiva por lo que no alberga tensiones negativas. Cuando la salida diferencial del sensor es negativa, el amplificador de instrumentación es incapaz de amplificarlo, por lo que a su salida el valor es 0.

Para corregirlo, se pasa a alimentar el sensor con la misma tensión que el amplificador, 3.3V ya que antes estaba alimentado a 3V, y se cambia la ganancia a $G=4.84$.

Tras esta corrección, el sensor funciona correctamente, como se puede observar en la siguiente gráfica:

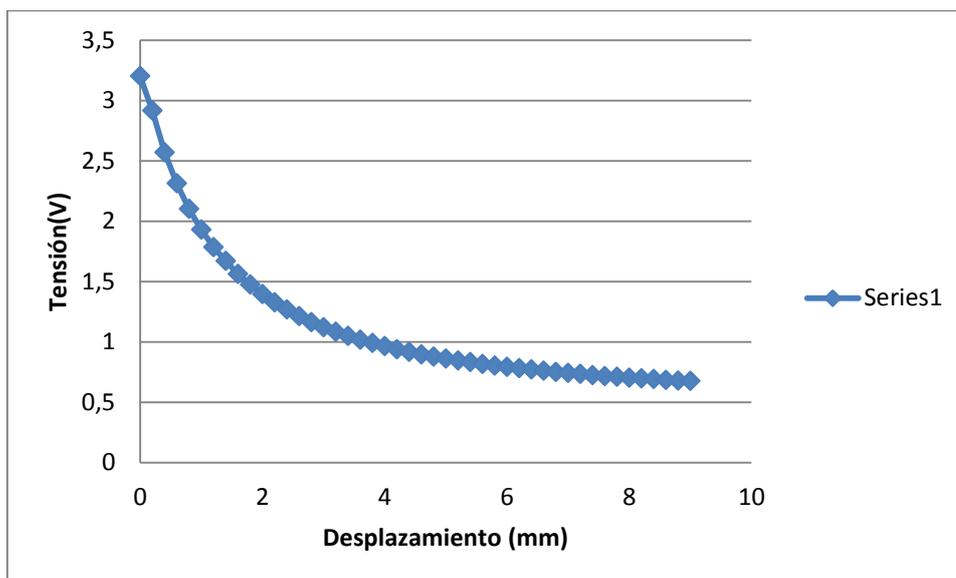


Figura 29: datos del sensor

- Repetibilidad e Histeresis

Como podemos observar en las tablas obtenidas (en el anexo de la memoria) el resultado es el siguiente:

El máximo error por histeresis es de 3%

Y la repetibilidad para la distancia $d=5\text{mm}$ es del 0,692 %

La desviación típica es de 0.00389

- Interferencia de los otros imanes:

En la aplicación se necesitan cuatro sensores con sus respectivos imanes. La distancia entre estos cuatro imanes es muy reducida (unos 14 mm) por lo que éstos introducen errores entre sí.

Esta interferencia puede llegar a ser muy elevada (de unos 0.5V), por lo que se ha pensado en introducir dos sensores y mediante software reducir la interferencia.

1.5.2.4- Reducir la interferencia mediante dos sensores:

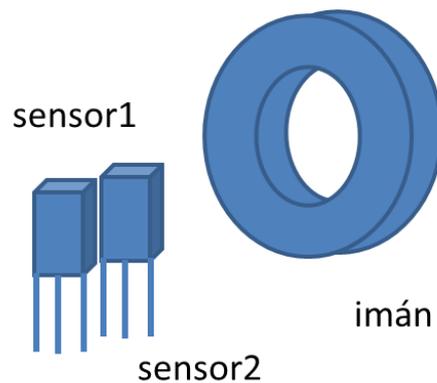


Figura 30; Doble sensor

Se ha empleado el sistema de dos sensores para tener un sistema diferencial que reduzca la influencia del ruido magnético.

El funcionamiento es el siguiente: El software conoce los datos de la calibración, por lo que sabe cómo deberían de ser los resultados en ambos sensores.

Antes de realizar la medición, el tensor se sitúa en una posición determinada, para que se calibre su posición.

El software, realizado con “Matlab” sabe que para un determinado valor que da un sensor, el otro sensor debe dar otro determinado valor, en caso de que no den el valor teórico, el software logra reducir el error cometido por la interferencia.

Para esta prueba se han utilizado los sensores HE244 y HE144 de “Hoeben”, amplificados mediante dos amplificadores operacionales INA133.

Estos amplificadores darán una ganancia de $G=4.84$, debido a las resistencias que se les ha puesto, de 13K cada una.

El circuito es el siguiente:

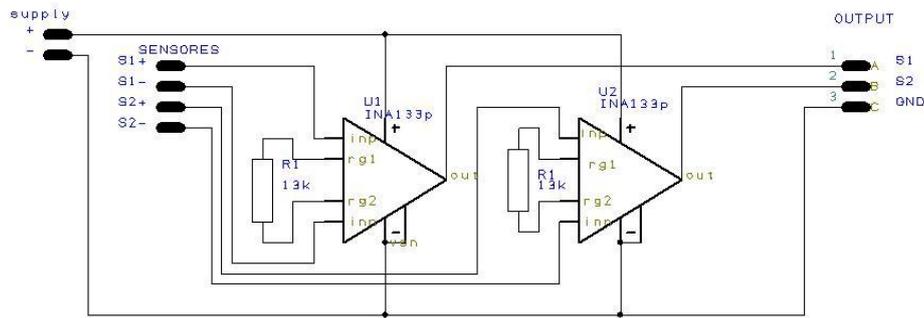


Figura 31: Esquema circuito he244

Para ahorrar costes se pidieron sensores de muestra, así que solo se dispone de un sensor de cada tipo por lo que es necesario conocer las características de los 2 sensores que se dispone, para poder comparar los datos obtenidos con los dos.

Como se puede observar en la hoja de características de los dos sensores Hoeben, ambos tienen similares características, la principal diferencia es la resistencia interna de alimentación del “HE144” es el doble (1000Ω) que la del “HE244” (500Ω).

Esto significa que por un sensor circula el doble de corriente que por el otro, y como el sensor funciona por corriente, la alimentación de uno es el doble que el otro. Para solucionar este problema, se introdujo una resistencia de 500Ω en serie con el sensor “HE244”. El circuito queda de la siguiente manera:

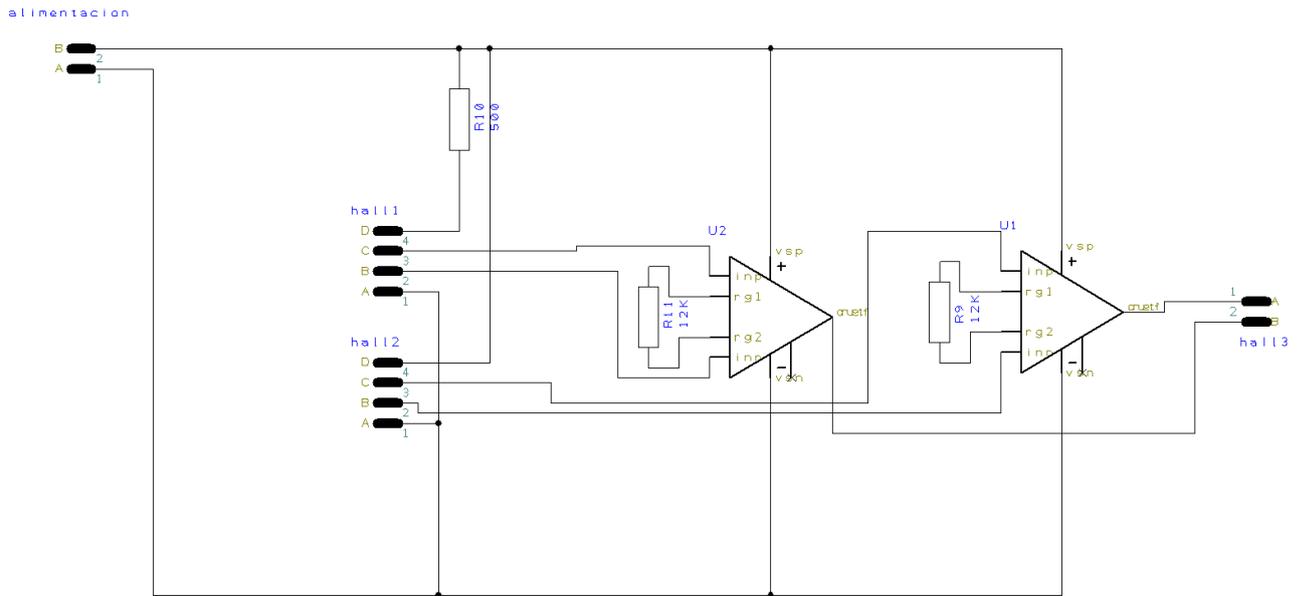


Figura 32 circuito sensor doble

Al tomar datos se pudo comprobar que este sistema consigue que los dos sensores funcionen de la misma manera, como se puede observar en la siguiente gráfica:

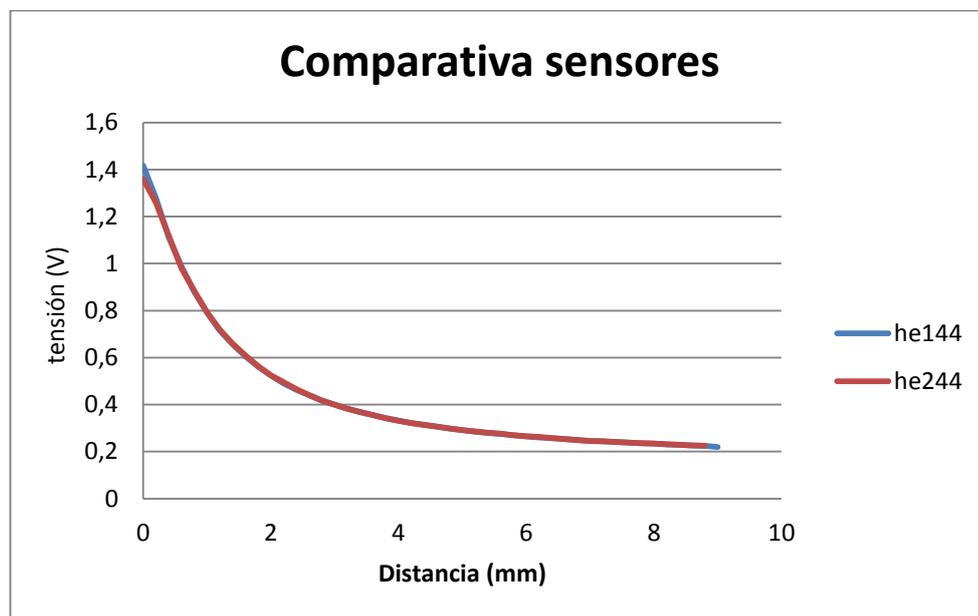


Figura 33: diferencia de sensores

En un principio se realizó el montaje de circuito en una placa Ariston. Los sensores están separados 3mm entre sí

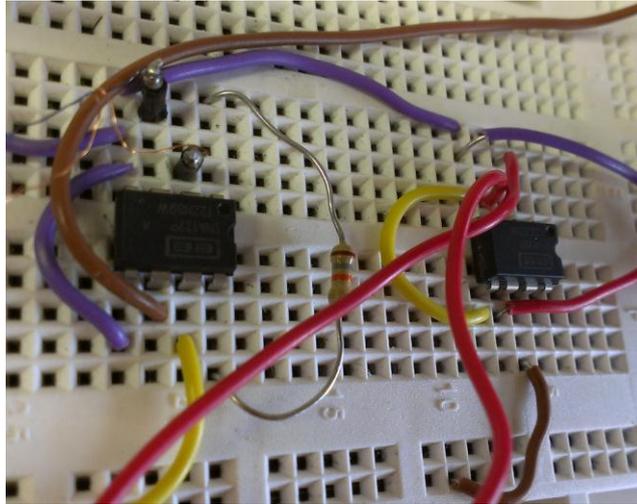


Figura 34: Placa ariston

Al comprobar que el funcionamiento era correcto se procedió a realizar el circuito en una placa de pruebas:

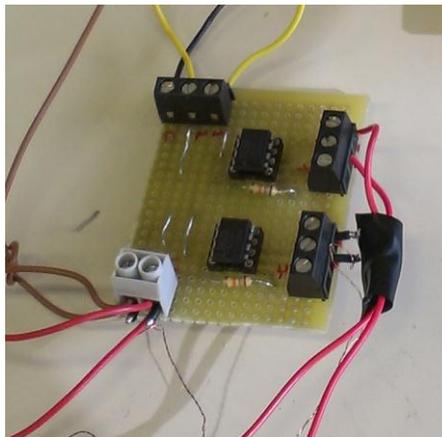


Figura 35 circuito en placa de pruebas2

Con este sistema las salidas se dirigen a un multímetro y se van tomando datos en una tabla Excel:

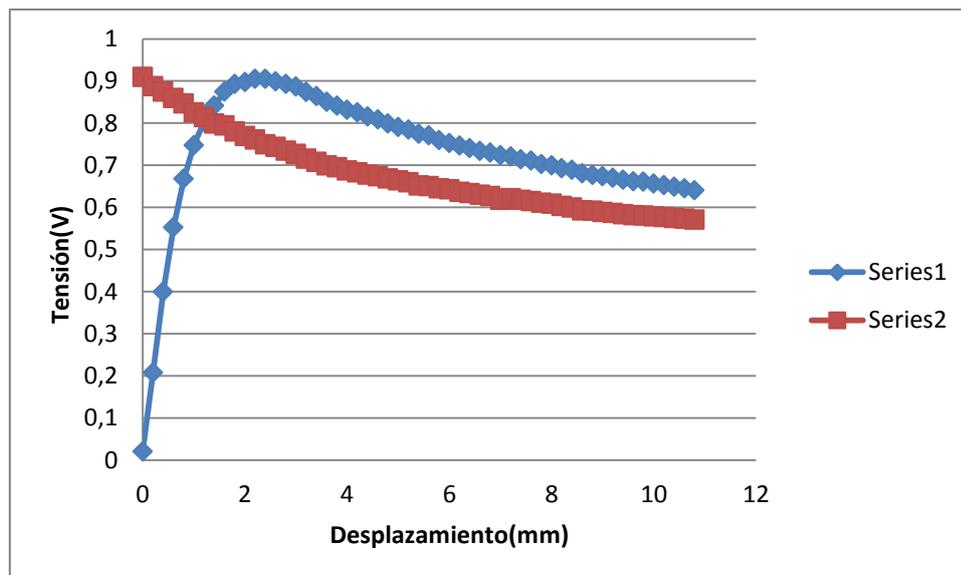


Figura 36: dos sensores simultáneamente separados 3mm entre sí

El software hace lo siguiente:

- Tiene la forma de la gráfica obtenida mediante la calibración de un sensor (Figura 33). De modo que con obtener la señal a distancias se puede obtener la curva de otro sensor
- Se hace lo mismo con el segundo sensor
- El software (Incluido en el anexo) calcula y corrige el error en presencia de interferencia (al estar los dos sensores cerca el uno del otro la interferencia electromagnética debe ser similar)

-Resultados:

Como podemos observar, el software introduce un error, que es más pequeño cuando el sensor está a una distancia de $d=1$ mm y aumenta conforme se aleja de dicho punto.

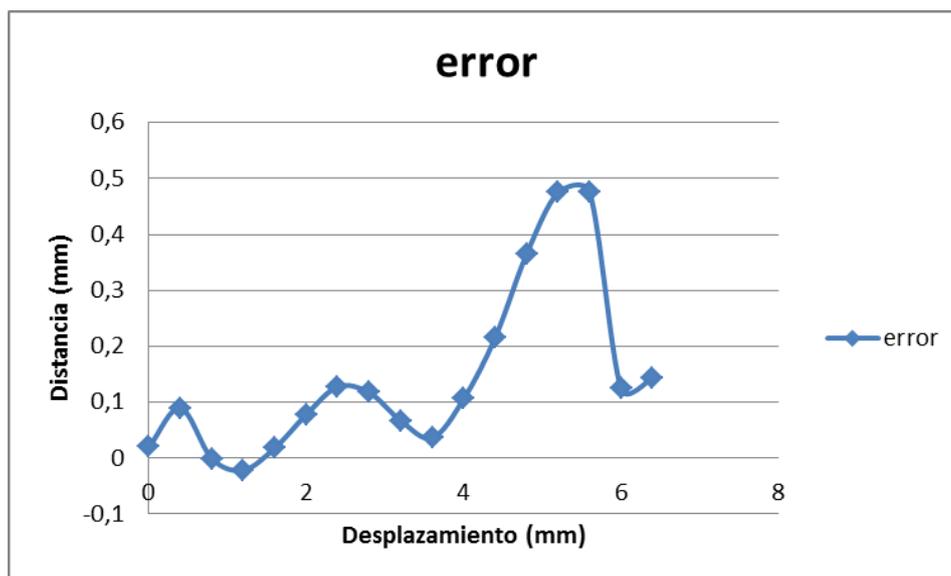


Figura 37: Error cometido por el software

-Resultado de las interferencias: En distintas pruebas realizadas se observa que en el rango de distancias de 0.8 a 1.4 mm el software reduce la interferencia de los otros imanes, pero en el resto de distancias el error es mayor que sin el software.

- Resumen y decisión

Resumiendo, este sensor resulta excelente para medir distancias, pero existe un problema si se utiliza más de un imán, ya que los otros imanes introducen interferencias. Además, el conjunto de muelle e imán aumentan considerablemente el tamaño. Por otra parte, el muelle del tensor ejerce una fuerza sobre el elemento que se desea tensar, y cuando se retira el tensor con el muelle, dicho elemento se destensa, por lo que el tensor no realiza correctamente su trabajo.

Teniendo en cuenta todos estos inconvenientes, se decide dejar de lado este sistema de trabajo y proceder a realizar pruebas con otro sistema.

1.5.3 Galga extensiometrica:

Esta opción consiste en situar la galga en la superficie del tensor para que en cuanto éste se deforme por la fuerza de compresión el valor de la resistencia de la galga varíe.

El diseño de este sistema es más sencillo, ya que no requiere de sistemas mecánicos y se reducen de una manera muy eficaz las interferencias, por lo que finalmente ha sido la solución adoptada para este proyecto.

Para situar la galga en el tensor de nylon, hay que realizar los siguientes pasos

- Se limpia la zona dónde se va a situar la galga con un producto especializado
- Se lija la zona
- Se coge la galga con cinta adhesiva
- Se sitúa la cinta con la galga en su posición final

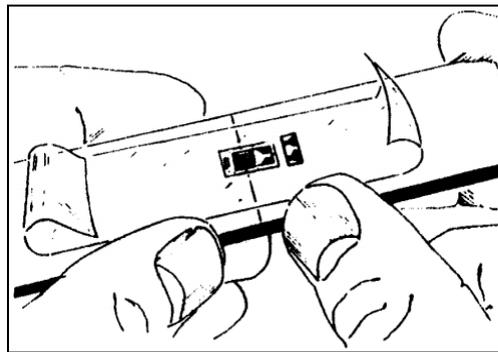


Figura 383

- Se levanta para proceder a verter el pegamento

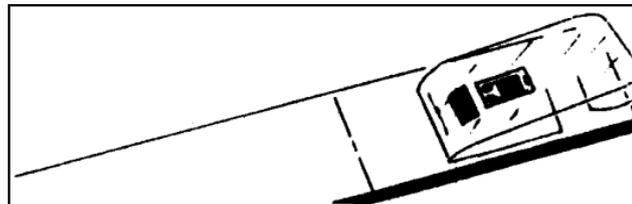


Figura 39

- Se impregna la parte inferior de la galga con el catalizador
- Hay que dejar que el catalizador se seque un minuto
- Se impregna el tubo de nylon con pegamento

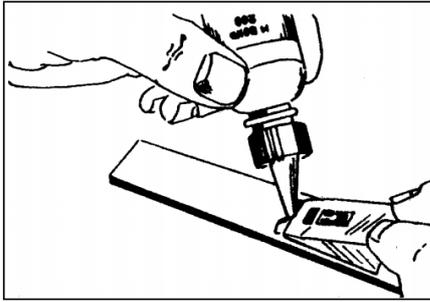


Figura 404

- Se vuelve a situar la galga con la cinta en su sitio
- Se ejerce presión durante un minuto a la galga para que el pegamento haga efecto

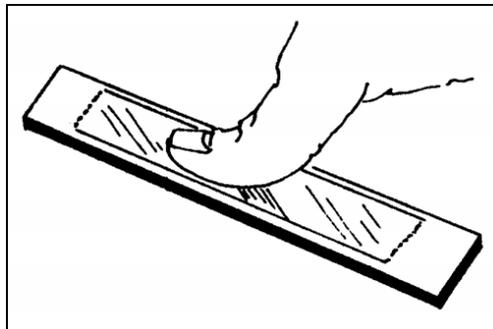


Figura 415

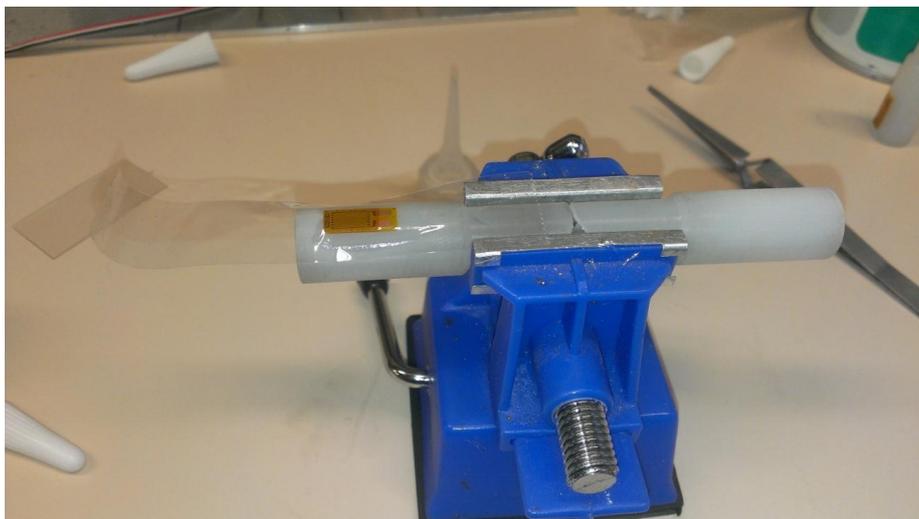


Figura 426: resultado galga

El resultado es el siguiente:

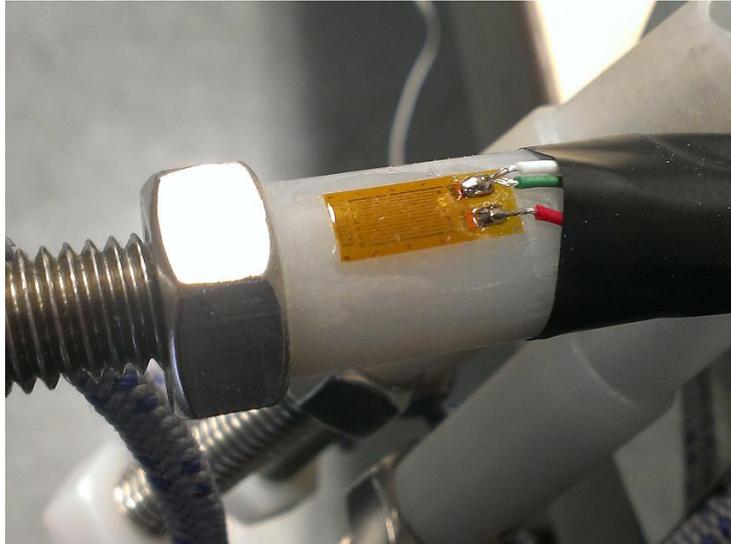


Figura 43: galga en funcionamiento

Para las primeras pruebas, se realizó un circuito en una placa Ariston compuesto por un puente de Wheatstone y un amplificador de instrumentación.

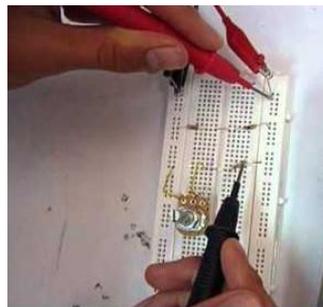


Figura 44: Puente de Wheatstone

Para el puente se utilizaron dos resistencias de 120Ω , un potenciómetro y la galga. Como amplificador se utilizó el INA144 con una resistencia de $200K\Omega$.

En las primeras pruebas se pudo observar que existía una deriva térmica, pese a ello, el resultado fue bueno, ya que la galga respondía correctamente a las fuerzas ejercidas en el tensor. El problema de la deriva tenía solución, por lo que se concluyó que este sistema era el ideal para este proyecto.

También se barajó la posibilidad de usar galgas de semiconductor, que tienen una sensibilidad unas 60 veces superior, pero su precio es muy elevado (más de 500 euros un paquete de 2 unidades) y, en vista de que con las metálicas se consigue detectar la fuerza con una precisión aceptable, se decidió descartar esta opción. La hoja de características de la galga de semiconductor se puede encontrar en el anexo.

1.6: Solución adoptada:

Tras probar los distintos sensores finalmente se optó por utilizar para este proyecto galgas extensiométricas, ya que tienen un tamaño muy reducido, una respuesta excelente y un precio reducido.

1.7: Descripción de lo proyectado:

Para este proyecto finalmente se optó por un tensor fabricado en nylon, en el cual se pondría una galga extensiométrica para medir la deformación producida por la fuerza de compresión del tensor.

1.7.1 Galga extensiométrica:

En este proyecto se han utilizado las galgas extensiométrica utilizadas en la Universidad, concretamente las CEA-13-240UZ-120, que tienen 120Ω . En el anexo se sitúa la hoja de características.

1.7.2 Circuito de adaptación:

Como se quiere transformar la variación de la resistividad de la galga en un voltaje, es necesario un circuito de adaptación. Este está compuesto por un puente de Wheatstone y un amplificador de instrumentación para adaptar la señal.

En un principio, en el puente de Wheatstone se pensó en poner tres resistencias de 120Ω y la galga (de 120Ω), pero en las primeras pruebas se observó que la medición no era estable, ya que debido a la alta corriente que circulaba por la galga, ésta se calentaba ligeramente y el valor de su resistividad aumentaba, es decir, una deriva térmica.

Con el fin de eliminar este problema, se pensó aumentar el valor de las cuatro resistencias, pero como en el laboratorio sólo se dispone de galgas de 120Ω quedaron dos opciones, reducir la tensión del puente o aumentar la resistencia de dos de las resistencias del puente.

Tomamos distintos valores con distintas resistencias y el resultado fue el siguiente:

Resistencia (Ω)	Sensibilidad (mV)	Ruido
120	10	Deriva térmica hacia tensión superior
330	8	Deriva térmica hacia tensión superior
440	6	Deriva térmica hacia tensión superior
570	5	Deriva térmica lenta
1K	5	0.01 mV

Tabla 6: Resistencias del puente de wheatstone

La opción más razonable fue utilizar dos resistencias de $1K\Omega$, la galga y otra resistencia de 120Ω . Para un puente de Wheatstone no es la forma más adecuada de colocar las resistencias, ya que se aconseja que los valores sean lo más parecidos posibles, pero para una versión inicial es suficiente.

Por otra parte, para disminuir el error que introduce la resistividad del cable, se emplea el montaje a tres hilos, dicho montaje funciona de la siguiente manera:

De la galga salen tres cables, dos de ellos salen de uno de los bornes de la galga, el otro cable del otro borne de la galga. Dos cables se dirigen a la alimentación de dicha galga y el otro a la entrada del amplificador como se puede observar en la figura 45.

Este sistema reduce el error cometido por el valor de la resistencia del cable.

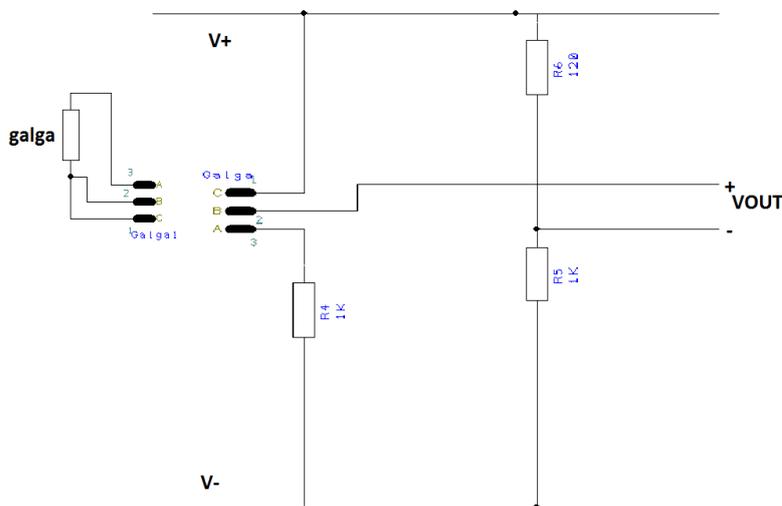


Figura 45: puente de Wheatstone

En el circuito también se utiliza un amplificador de instrumentación, para su elección, se tuvo en cuenta el poder alimentarlo a una única tensión de 3.3 V y poder de obtener una alta ganancia. Finalmente se optó por el INA333 ya que es un dispositivo barato y que cumple con los anteriores requisitos, ya que dispone de una ganancia de hasta 1000 y su alimentación es desde $+1.8\text{ V}$ a $+5.5\text{ V}$. La hoja de características se encuentra en el anexo de la memoria.

Se colocan a la salida del amplificador un filtro pasa bajo y condensadores en distintos puntos del circuito para reducir el ruido.

Para terminar, se utilizara una referencia de tensión para garantizar una alimentación estable, a 3.3 V . Para ello se emplea la referencia de tensión “TL431ACZ”, de “Stmicroelectronics”

La referencia de tensión necesita una resistencia en la que caiga la diferencia de tensión, se ha procedido a calcular su valor en el apartado “Cálculos”

El circuito quedaría de la siguiente manera;

1.7.3 Diseño circuito impreso:

Para esta aplicación es necesario que el circuito sea lo más pequeño posible, ya que en este tipo de aplicaciones biomédicas hay un gran interés de que el equipamiento electrónico sea de tamaño reducido, además, la intención es situar el circuito impreso sobre el tensor y éste tiene poca superficie en la que situar la electrónica.

En un principio es necesario utilizar un potenciómetro para comprobar mediante pruebas cual es la ganancia óptima del amplificador, pero como éste ocupa demasiado espacio, va a ser inevitable sustituirlo por una resistencia fija.

Para el diseño del circuito impreso se utiliza designspark, un programa gratuito de diseño de circuitos.

Empezamos creando un nuevo proyecto

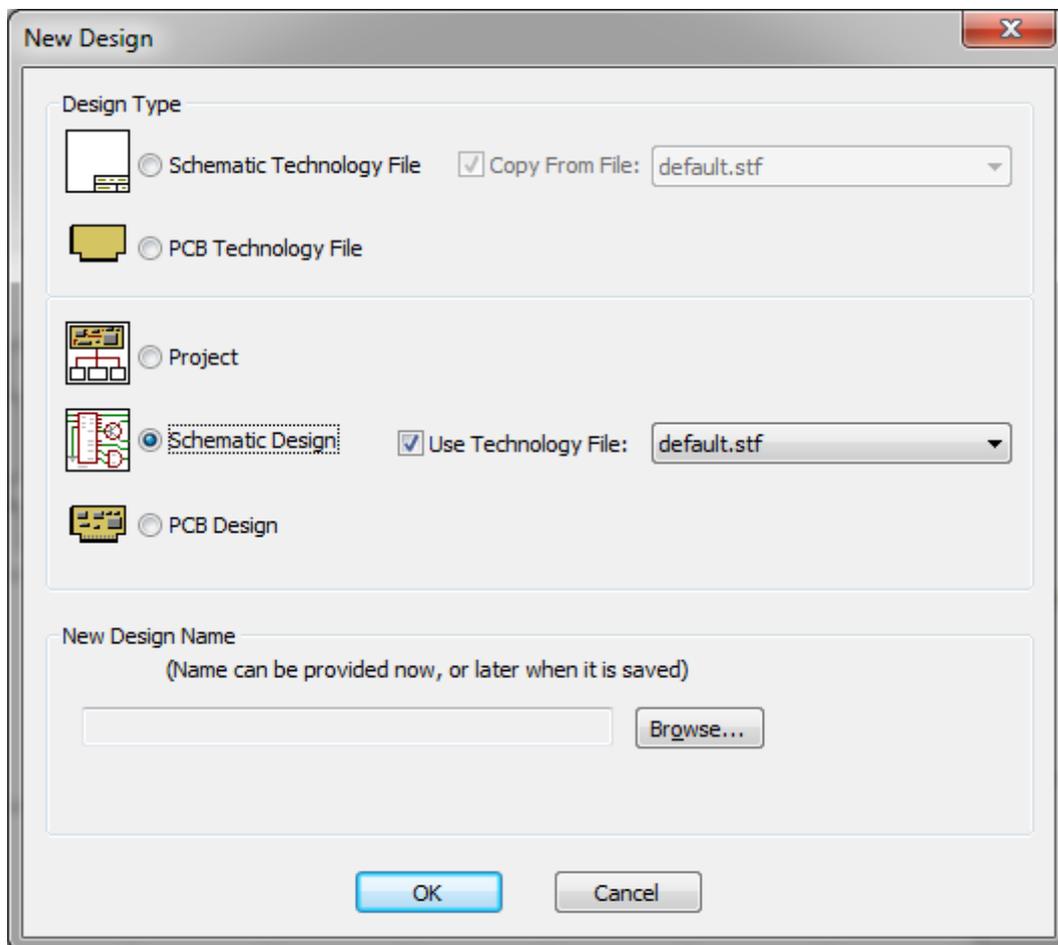


Figura 47: crear proyecto

Se añaden los componentes del circuito y se unen.

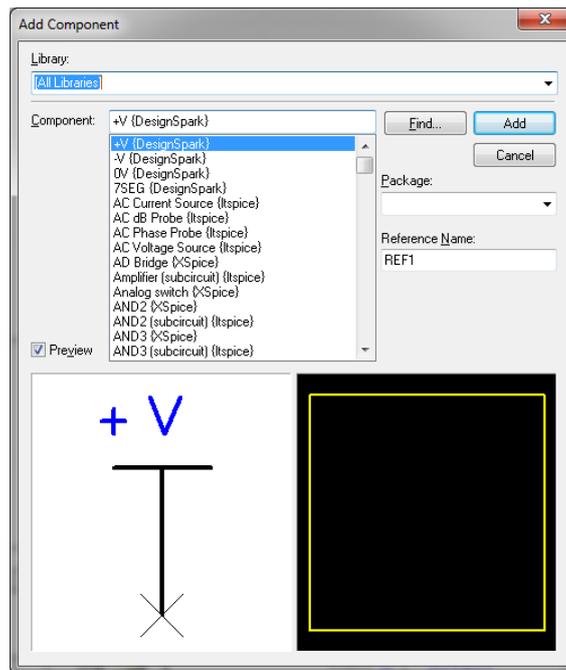


Figura 48: añadir componente

El circuito quedará como se muestra en la imagen 19.

Después, se traslada el circuito a la PCB.

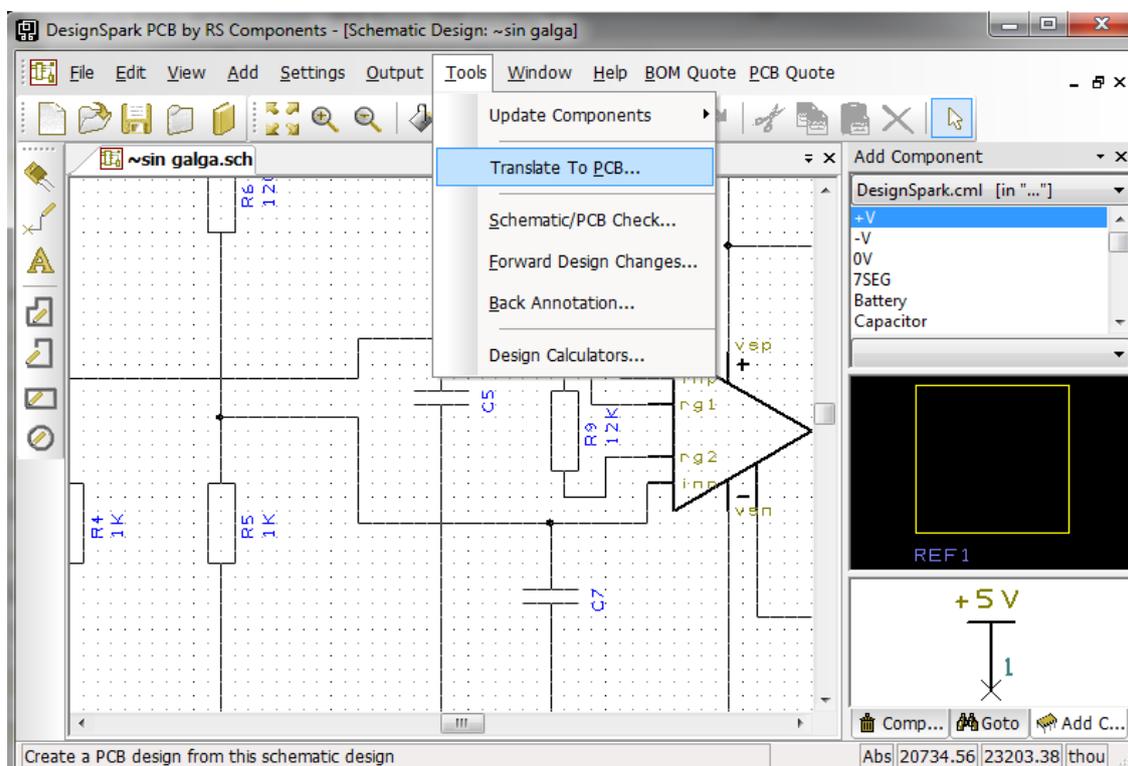


Figura 49: pasar a PCB

Esta opción ayuda a la hora de conectar los componentes, ya que indica dónde van unidos, Para ello hay que dirigirse a Tools>Translate To PCB

Una vez hecho esto, saldrá una ventana en la que hay que configurar datos como las unidades, el número de capas, el tamaño de la PCB y también sale la opción de que el mismo programa te sitúe los componentes de forma automática.

En este caso no se ha utilizado esta última opción, ya que no sitúa correctamente todos los componentes.

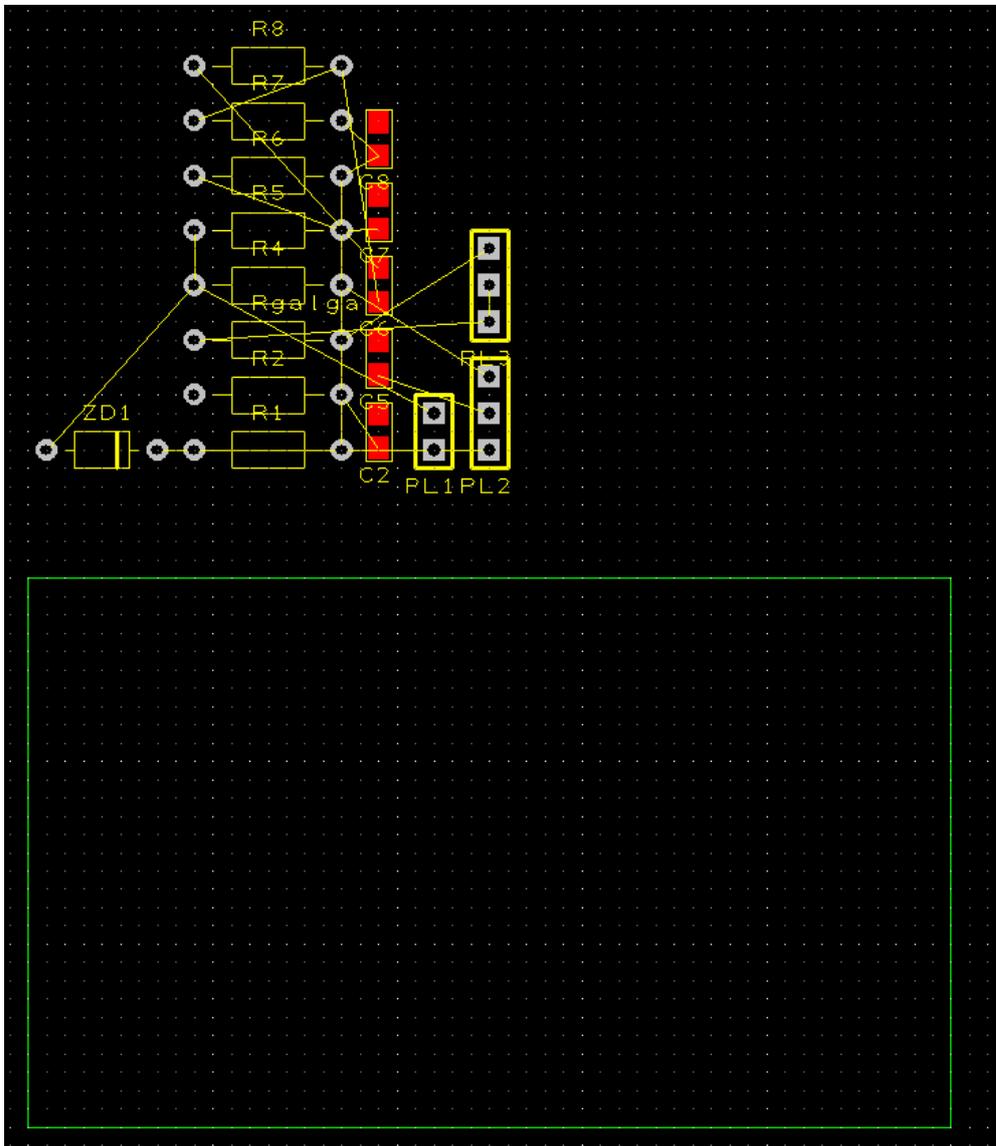


Figura 50: colocar componentes

Al disponer de poco espacio se ha optado por poner resistencias y condensadores de tipo superficial (SMD) y de reducido tamaño (0805).

Como disponemos de componentes tanto de montaje superficial como pasantes, lo más apropiado es realizar un circuito de doble capa.

Se van colocando los componentes en su sitio jugando con el espacio que se dispone:

1.7.4 Reducción de tamaño:

Debido al poco espacio que se dispone en el tensor, es importante reducir el tamaño lo máximo posible. Además, al conocer ya el valor de la ganancia se puede cambiar el potenciómetro por una pequeña resistencia SMD

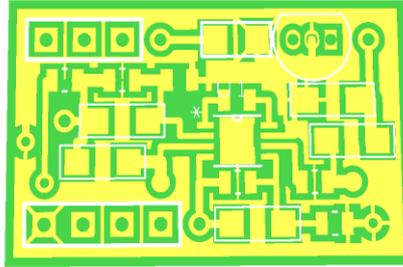


Figura 537: nuevo circuito impreso

Tras realizar estos cambios, se ha logrado reducir el tamaño en más de un 50%, hasta lograr un tamaño de 2.47x1.64cm.

Después de diseñar el circuito se procede a soldar los componentes.

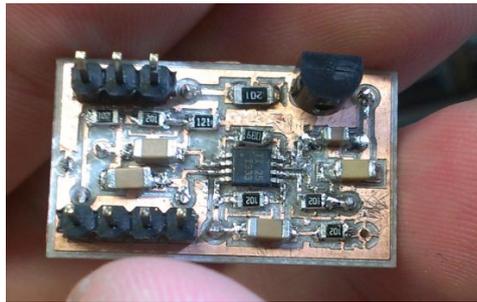


Figura 54: resultado

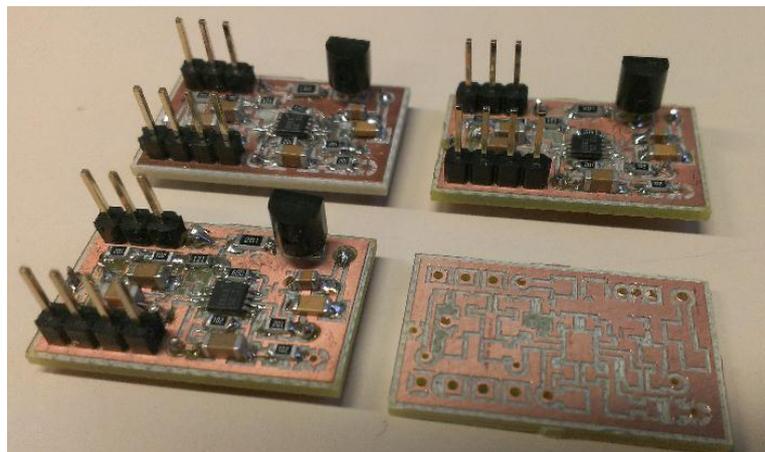


Figura 55: los cuatro circuitos8

1.7.5 Uso de Arduino:

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo con distintas entradas y salidas tanto analógicas como digitales que se pueden programar para diferentes usos relacionados con la electrónica.

En nuestro caso, se utiliza un módulo Arduino, además de una pantalla LCD con botones, para monitorizar distintas tensiones en la pantalla y en el ordenador. Las salidas del circuito impreso irán directamente a las entradas analógicas del Arduino, que se conectara mediante el puerto USB al ordenador.

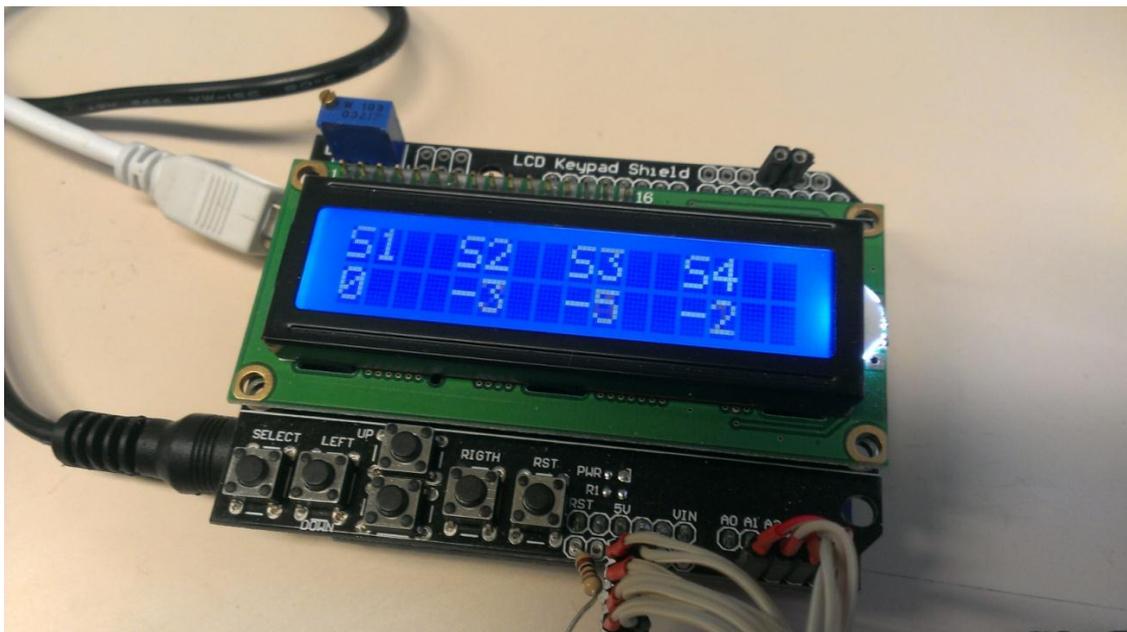


Figura 56: Display conectado a la placa Arduino

1.7.6 Programación:

El módulo Arduino permite su conexión con el ordenador mediante el puerto USB, como en nuestro caso hace falta monitorizar los datos en el ordenador, es inevitable tener que realizar un programa para el ordenador. Para ello, se optó por utilizar Labview.

Una librería de dicho programa permite controlar el microcontrolador Arduino desde Labview, obteniendo datos de las distintas entradas, ajustando las salidas e incluso con la configuración adecuada pudiendo mostrar los datos en la pantalla del Arduino.

El propósito del software es leer 4 entradas analógicas, filtrar la señal, procesarla para convertir el voltaje en fuerza aplicada al tensor correspondiente, escribir en la pantalla del Arduino dicho valor y monitorizarlo en el ordenador. Además otra parte del software, tiene que ser capaz de almacenar los valores óptimos de las tensiones y compararlos con los monitorizados al instante.

Uno de los problemas es que en cuanto se desconecta el ordenador, el módulo Arduino queda totalmente fuera de servicio, por lo que se pensó en una segunda opción, programar directamente en el Arduino y monitorizar en el ordenador mediante el puerto serial. Esto trae una gran dificultad, ya que se debe realizar dos programas distintos con un mismo fin.

Debido a las ventajas e inconvenientes de ambos métodos se ha procedido a realizar la programación de dos formas distintas, controlando el Arduino desde Labview y programando en Arduino y leyendo los datos del serial desde Labview.

1.7.6.1: Programación únicamente desde Labview:

En esta parte se utiliza el programa Labview para programar el software que se encargue de representar la medida.

Para realizar el software hay que empezar descargando cuatro programas que permiten controlar el Arduino desde Labview, el programa oficial Arduino, “VI Pack Manager”, “Ni Visa” y “Arduino ERW”

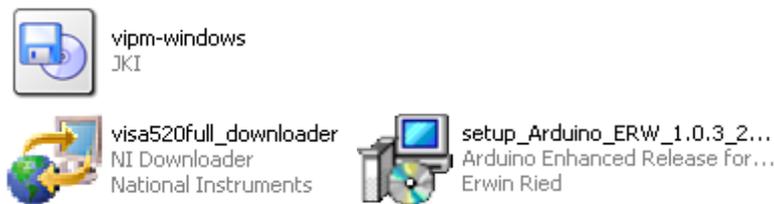


Figura 57: programas a instalar9

Para descargar Ni Visa es necesario acceder a la pagina oficial de National Instruments, al siguiente enlace: <http://www.ni.com/visa/> y darle a “download”, se escoge la última versión y se descarga. Este programa se encarga de permitir que Labview pueda leer en tiempo real datos de un hardware externo.

En la misma página también se puede encontrar el programa “VI package manager”, este programa se encarga de instalar las librerías y paquetes necesarios para controlar el Arduino.

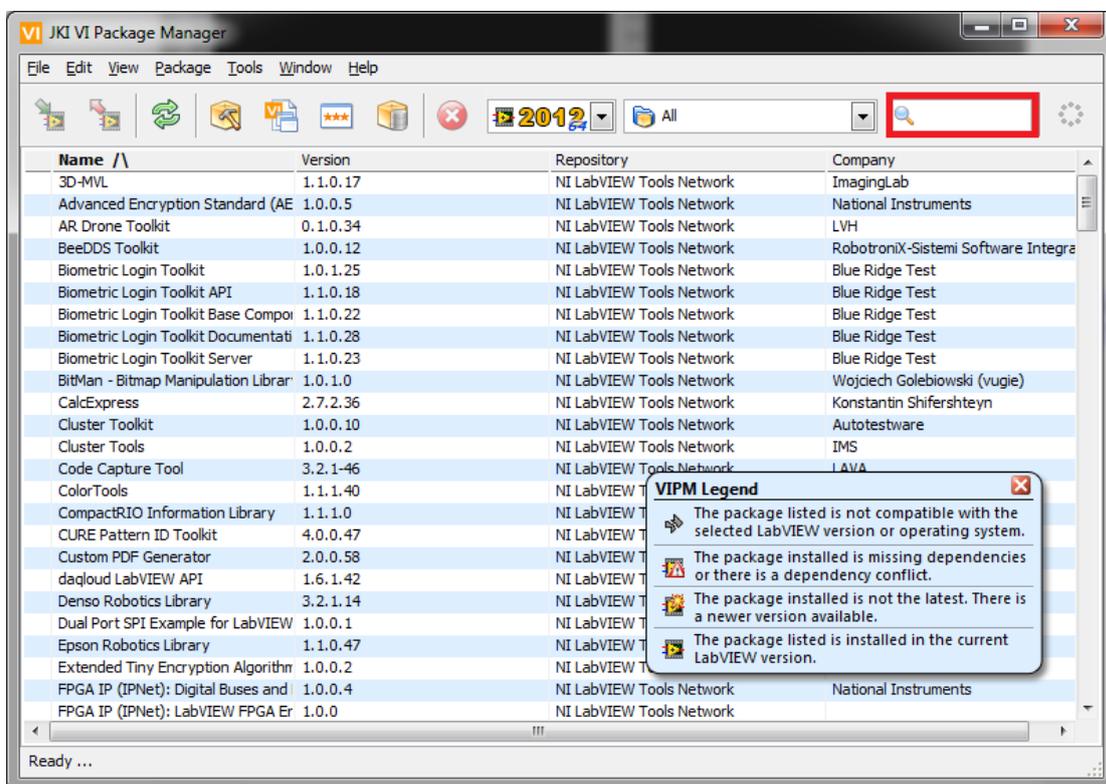


Figura 58: “Vi Package Manager”10

En el programa aparecen distintos paquetes para instalar en Labview, en el buscador de arriba a la derecha introducimos “Arduino” para filtrar la lista.

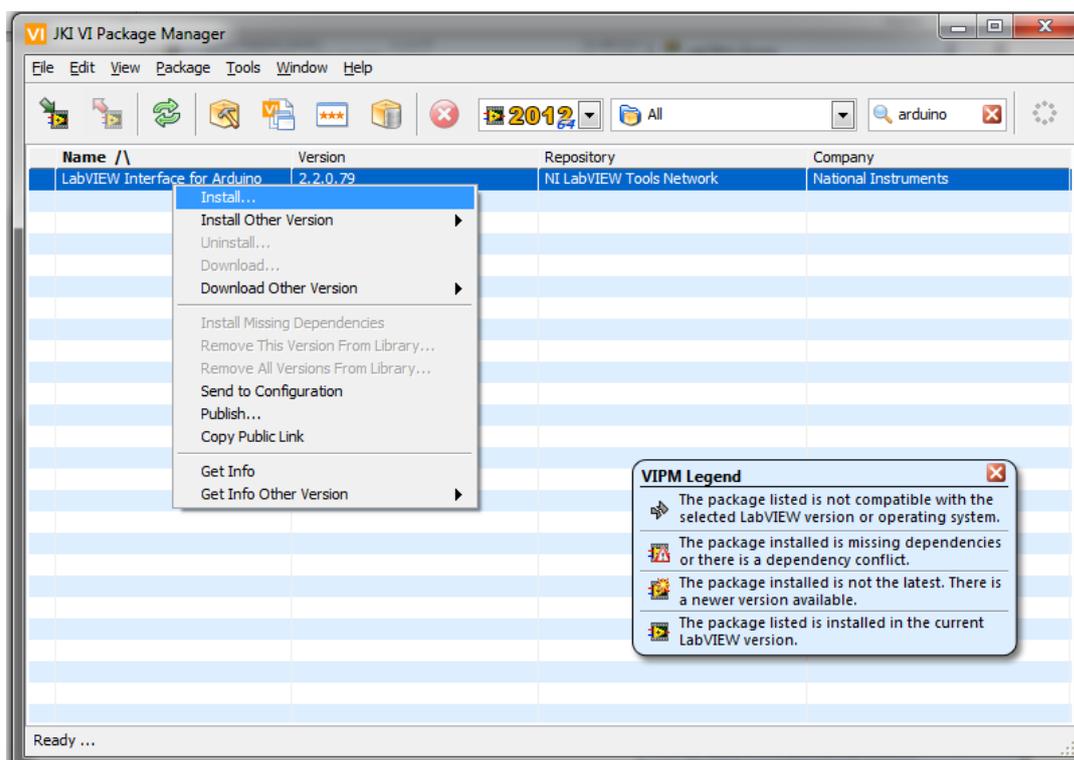


Figura 59: “librería arduino”

Únicamente quedara una herramienta llamada “LabVIEW Interface for Arduino”, Se clicca con el botón derecho y se instala.

Por otra parte, hay que instalar en el ordenador el software de Arduino, con sus drivers, para ello se accede a su página oficial: “arduino.cc” y se descarga la última versión. Dentro de la carpeta descargada se encuentra el ejecutable y los drivers.

Para permitir controlar el Arduino desde el ordenador, es necesario programar el microcontrolador, para ello, existe un software llamado “lifa-base” que utilizando el programa oficial de Arduino, programa el microcontrolador.

Una vez hecho esto se procede a realizar el siguiente programa:

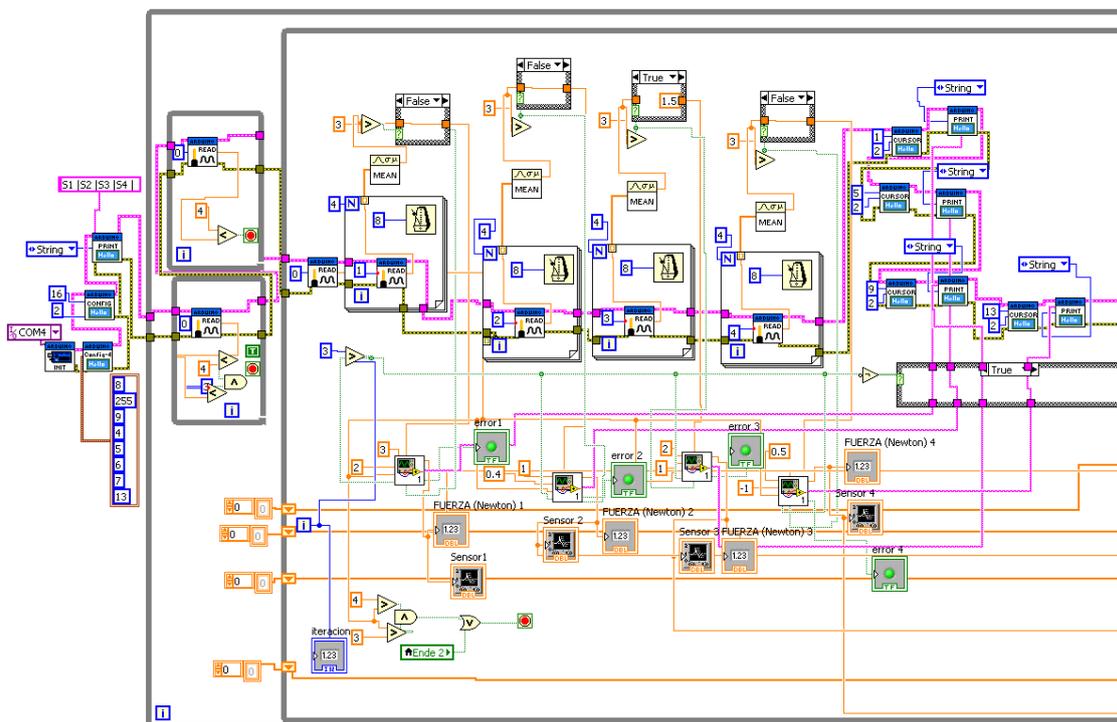


Figura 60: Programa completo

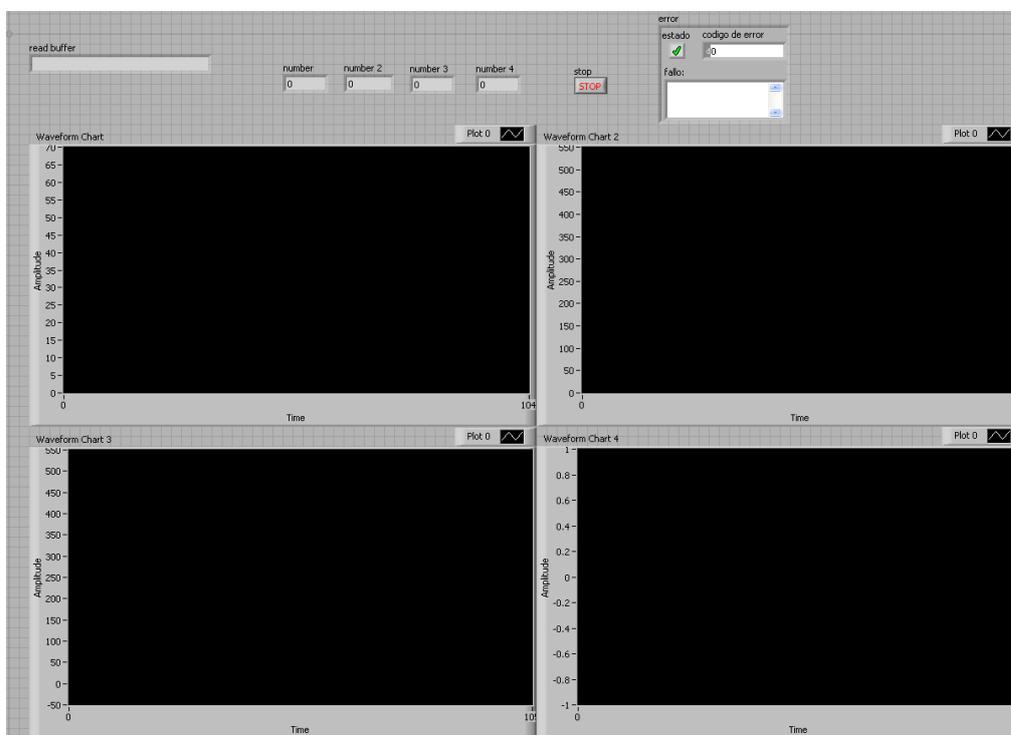


Figura 61: graficas

Para inicializar la comunicación hay que situarse en el diagrama de bloques, utilizar la paleta de funciones y presionar en la herramienta INIT:

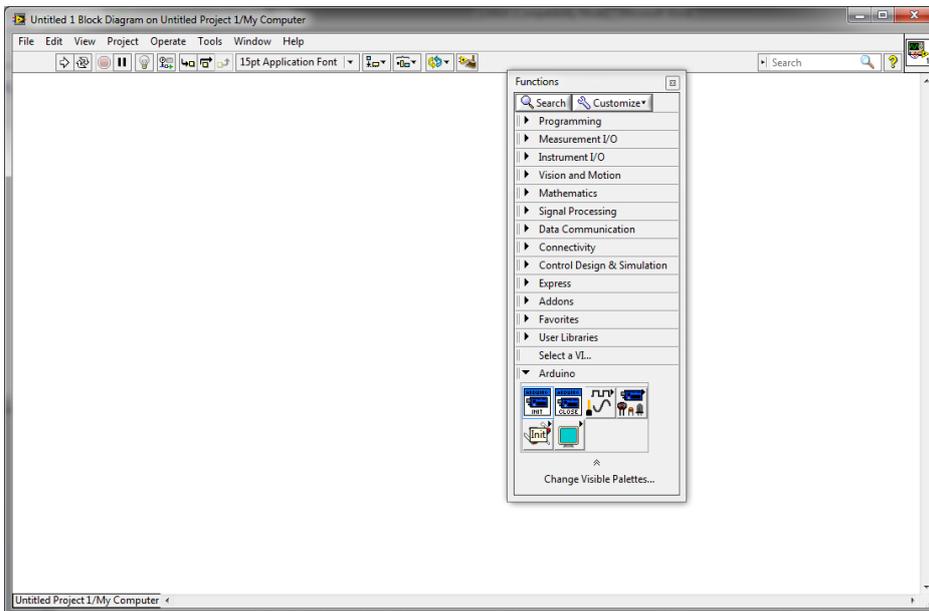


Figura 62: bloques VI de arduino

Es necesario indicar el puerto en el que se encuentra el Arduino, en este caso el puerto COM4.

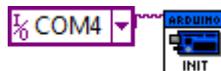


Figura 63: bloque "init"

Otra herramienta muy útil, es la que se emplea para escribir en una salida digital del Arduino el valor que nosotros queramos (1 ó 0). La salida de los pines funciona a 5V, por lo que cuando el estado sea 1, el pin tendrá una tensión de 5V.



Figura 64: bloque "write"

En este caso, se ha puesto la salida número 4 de nuestro Arduino a 1. Por otro lado, para leer los valores de entrada analógica del módulo se emplea el siguiente bloque vi:



Figura 65: Bloque "read"

En la imagen se puede ver que lo configuramos para leer la entrada analógica número 0, el valor se representa a la salida del bloque VI (línea naranja).

Otros bloques VI que se han utilizado son los que se encargan de controlar la pantalla LCD del Arduino, estos se sitúan en la ventana de funciones:

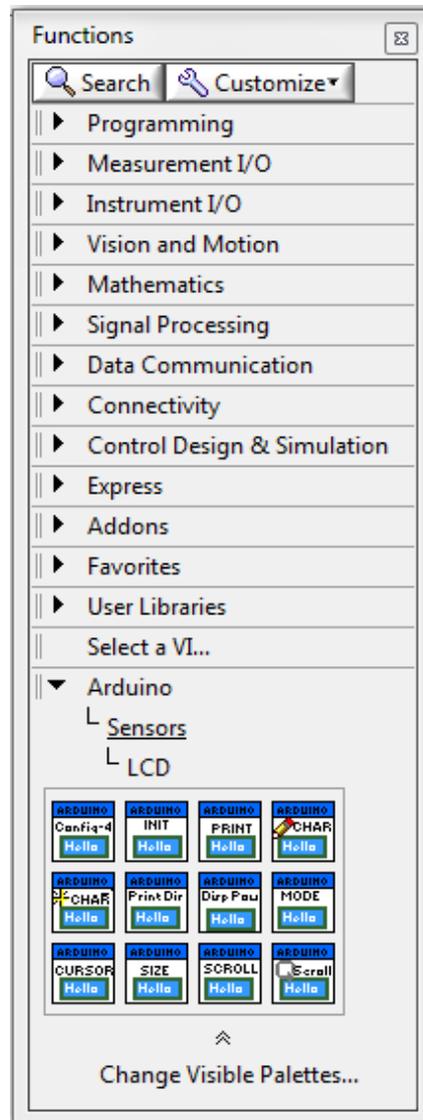


Figura 66: "LCD"

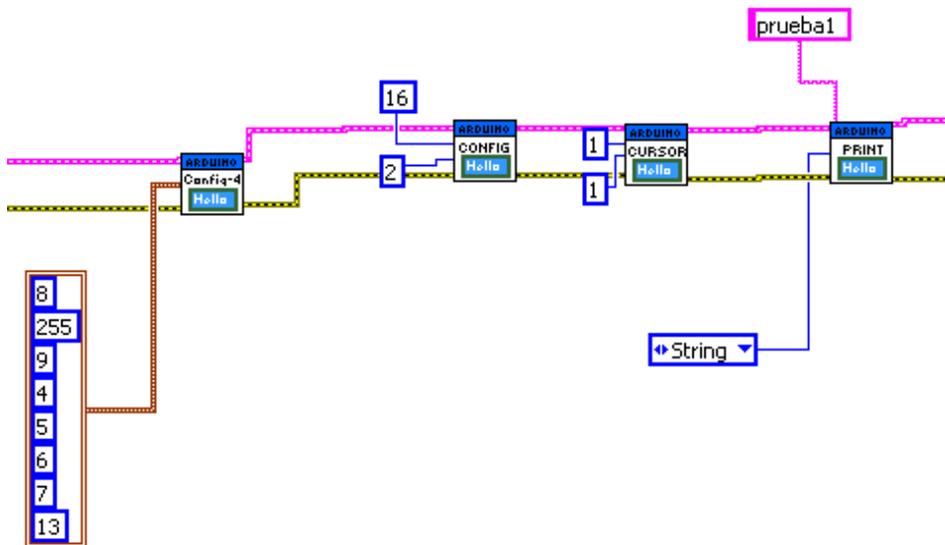


Figura 67: Prueba de escritura

- El primer bloque VI, “config-4”, configura los pines a los que está conectada pantalla LCD en el Arduino, en nuestro caso 9,4,5,6,7 y también el contraste.
- El segundo bloque VI, “CONFIG”, configura las filas y columnas de la pantalla, esta es de 16x02.
- El tercer bloque VI, “CURSOR”, fija donde se desea escribir
- El último bloque, imprime el texto introducido en su entrada, también hay que introducirle el tipo de dato que se le ha introducido.

El resultado es que ha escrito en la primera fila de la pantalla “prueba 1”.

Para terminar, hay que cerrar la comunicación; para ello está el bloque “close”



Figura 68: bloque “close”

Una vez realizadas las primeras pruebas se procede con el programa:

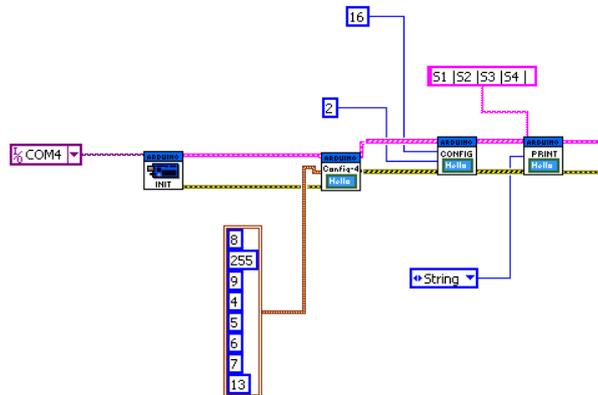


Figura 69: escritura en pantalla lcd11

Al principio, se escribe en la pantalla en la pantalla “S1 |S2 |S3 |S4 |” para que resulte más fácil identificar los valores de los distintos sensores.

Más adelante, se capturan 4 veces el valor de la entrada analógica 1 y se calcula su media. Esto hace que disminuya el ruido. Además, se hace una comprobación de si el dato es lógico, y en caso de que no lo sea, la salida es 0 y salta la alarma de error.

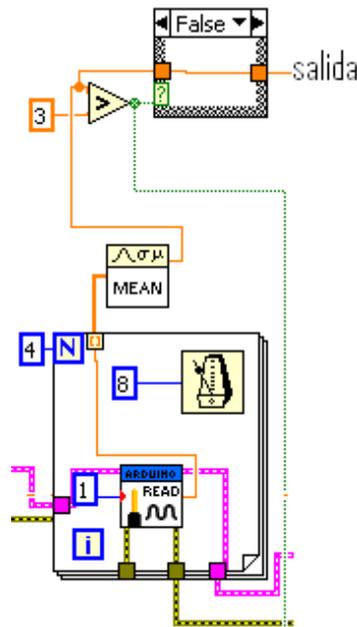


Figura 70: reducción de ruido

Uno de los problemas, es que el valor del sensor no está referido a cero, es decir, cuando no hay tensión aplicada al tensor, el valor de la entrada del arduino no es cero, por lo que hay que procesar el valor para que cuando se pulse un botón el valor de salida se ponga a cero.

Para ello, la pantalla de arduino dispone de 5 botones, 4 se utilizaran para resetear el valor de la fuerza de los sensores de manera independiente y el último para resetear todos los valores a la vez.

Los pulsadores de la pantalla se dirigen a la entrada analogica “A0” y cada uno da una tensión distinta, por lo que es necesario hacer una comparación para saber que botón es el que está pulsado.

Todo esto se hace en el siguiente subprograma:

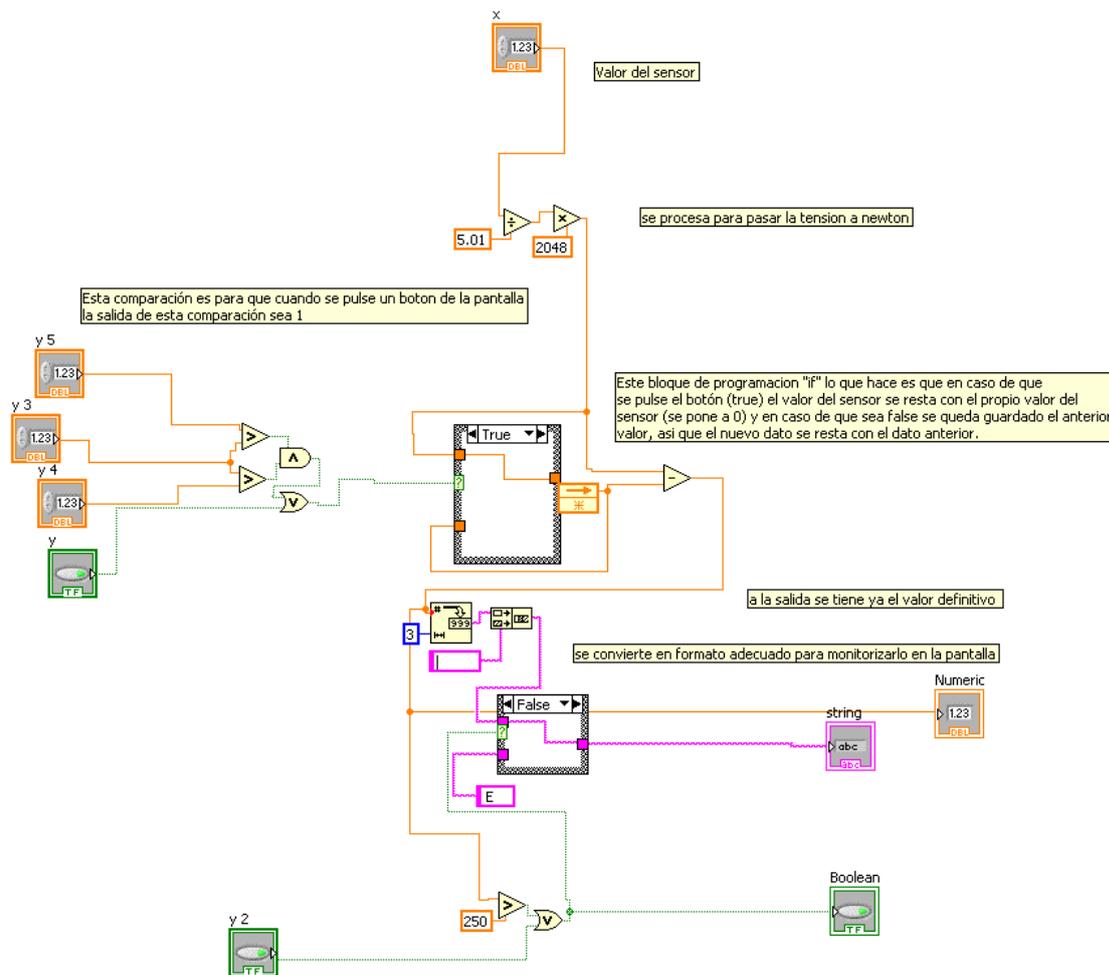


Figura 71: bloque “reset”

En esta figura se puede observar que en el centro se sitúa un bloque “if”. Este se encarga de resetear el valor. Si el bloque esta “true” significa que se está reseteando, ya que pasa el valor actual y se resta más adelante. Por lo contrario, si el bloque esta “false” se mantiene el valor que ha pasado antes.

Por otra parte en la izquierda de la figura 71 se ve una serie de bloques comparativos. Estas son las que se encargan de comprobar si el botón situado en la entrada “A0” esta pulsado.

La entrada A0 tiene distintos botones, cada uno produce una tensión distinta en la entrada, por lo para conocer si el botón indicado esta pulsado hay que cada botón tiene que compararse con los valores. En este caso el valor “y3” es el que corresponde a la entrada “A0”. Y este valor se compara con “y5” e “y4” para comprobar si el pulsador esta activado.

Por ejemplo, en el botón 2 del instrumento está configurado para que resetee el sensor 2, éste pulsador da una tensión de 3.2V en la entrada analógica A0, por lo que los valores “y5” e “y4” son 3.5 y 3 respectivamente.

Para terminar, hay que escribir el valor obtenido en la pantalla:

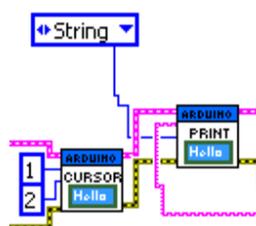


Figura 72: dibujo en pantalla de la variable12

Todo esto se repite 4 veces, cambiando los valores del pulsador de reset, y cambiando los valores de las entradas analógicas de los cuatro sensores, que están conectados a las entradas analógicas “A1”, “A2”, “A2” y “A4”.

Además se introduce en un bucle “while” para que no pare de tomar datos y para que éstos se monitoricen en gráficas, el programa finalmente queda como se ve en la figura 60.

1.7.6.1: Programación híbrida Arduino y Labview:

La idea es programar directamente en Arduino para así lograr que funcione de manera independiente, es decir, que no va a hacer falta tener el ordenador encendido para poder monitorizar los datos.

Para la programación en Arduino, se incluye la librería “LiquidCrystal” que se emplea para utilizar la pantalla LCD de nuestro dispositivo.

Como resultado, se tiene en la pantalla del Arduino la tensión en Newton de cada uno de los sensores, y con los botones podemos poner a 0 el valor de la tensión de cada sensor independientemente.

Por otra parte, en el puerto serial también se escriben estos valores, para que al conectarlo al ordenador, este sea capaz de leer los datos de los sensores y procesarlos.

Una vez realizado el programa también hay que programar en el ordenador, para que lea los valores del puerto serial y los monitorice, por lo que esta parte tendrá dos programas, el software del Arduino y el software de Labview:

-Software del Arduino:

El software introducido en el microcontrolador realiza las siguientes funciones:

Para empezar tiene que resetear el valor del sensor cuando se pulse un botón, para ello el programa lee la entrada analógica A0 en la que se encuentran los cuatro pulsadores de la pantalla, cada pulsador da un valor distinto, por lo que hay que separarlos, cuando se pulsa el botón adecuado el software almacena el valor instantáneo de la entrada analógica en la que se encuentra el sensor que corresponde al botón pulsado.

```
int boton = analogRead(0);
if ((boton < 50) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i < 4)))           puesta04=analogRead(4)*cte;
if (((50 < boton) && (boton < 195)) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i < 4)))  puesta02=analogRead(2)*cte;
if (((195 < boton) && (boton < 380)) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i < 4)))  puesta03=analogRead(3)*cte;
if (((380 < boton) && (boton < 555)) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i < 4)))  puesta01=analogRead(1)*cte;
```

Después, para disminuir el ruido, se toman los mismos datos seis veces y se realiza un promediado. Se mete un pequeño retardo, por lo que tarda en tomar los seis datos 0.21 segundos. Además a la lectura del sensor se le resta la lectura almacenada anteriormente cuando se ha pulsado el botón, para permitir el funcionamiento del reset.

```
for (int i=0; i <= 6; i++){
valor1=(valor1+((analogRead(1)*cte)- puesta01)) ;
delay(30);
}
valor4=(valor4)/7;
```

Para terminar, se imprimen los valores tanto en la pantalla del Arduino para poder verlo como en el puerto serial para monitorizarlo en el ordenador. Como los caracteres impresos en el puerto serial tienen que tener siempre la misma longitud, es necesario introducir espacios siempre que haya dígitos de menos en el valor.

```
Serial.print(valor1,1);  
Serial.print(" ");  
if (valor1<10) Serial.print(" ");  
if (valor1<100) Serial.print(" ");  
if (valor1<1000) Serial.print(" ");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print(valor1,0);
```

-Software de Labview:

Para esta segunda parte también se utiliza Labview, pero programarlo resulta menos complicado que el anterior trabajo hecho con este mismo programa. En la figura 60 se muestra el aspecto general del programa.

En un principio, comenzamos con la captura de datos del puerto serial “COM4”



Figura 73: bloque “open visa”

En el siguiente bloque leemos el valor escrito por el Arduino en este puerto.

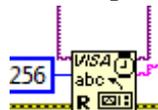


Figura 74: bloque de lectura del puerto

Es importante mencionar que los cuatro valores de los cuatro sensores se transmiten por el puerto serial separados únicamente espacios, es decir, el puerto serial tiene el siguiente aspecto:

Serial: (“Valor 1” “valor 2” “valor 3” valor4”)

Como tenemos cuatro valores independientes, es obligatorio separarlos entre sí.

Para ello, utilizamos cuatro bloques como este:

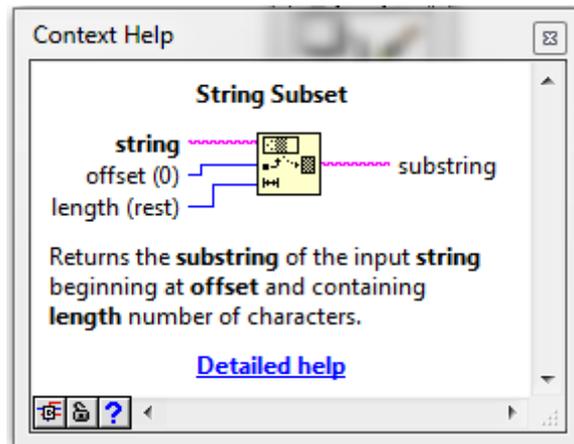


Figura 75: bloque de separación de variables

Como la longitud máxima de cada dato es de 5 dígitos, se deja un margen y se configura para que lea hasta 6 dígitos:

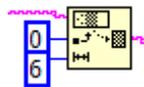


Figura 76: bloque VI

Para terminar, le cambiamos el formato de variable “string”, a variable numérica, y monitorizamos estos en distintos gráficos, como se puede ver en la figura 77.

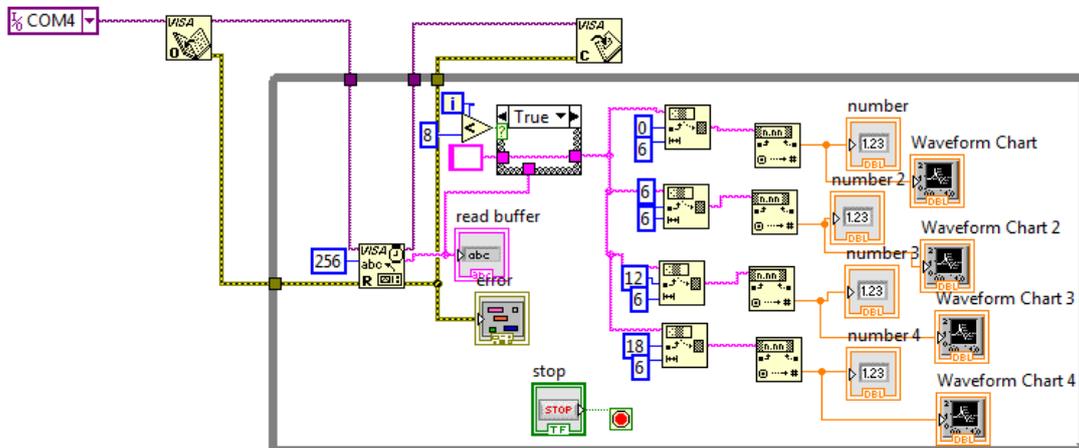


Figura 77: programa completo

1.7.7 Monitorización de datos:

En los dos casos anteriores, se monitoriza la tensión en cuatro gráficos independientes, además, con el software también se puede calcular el ruido.

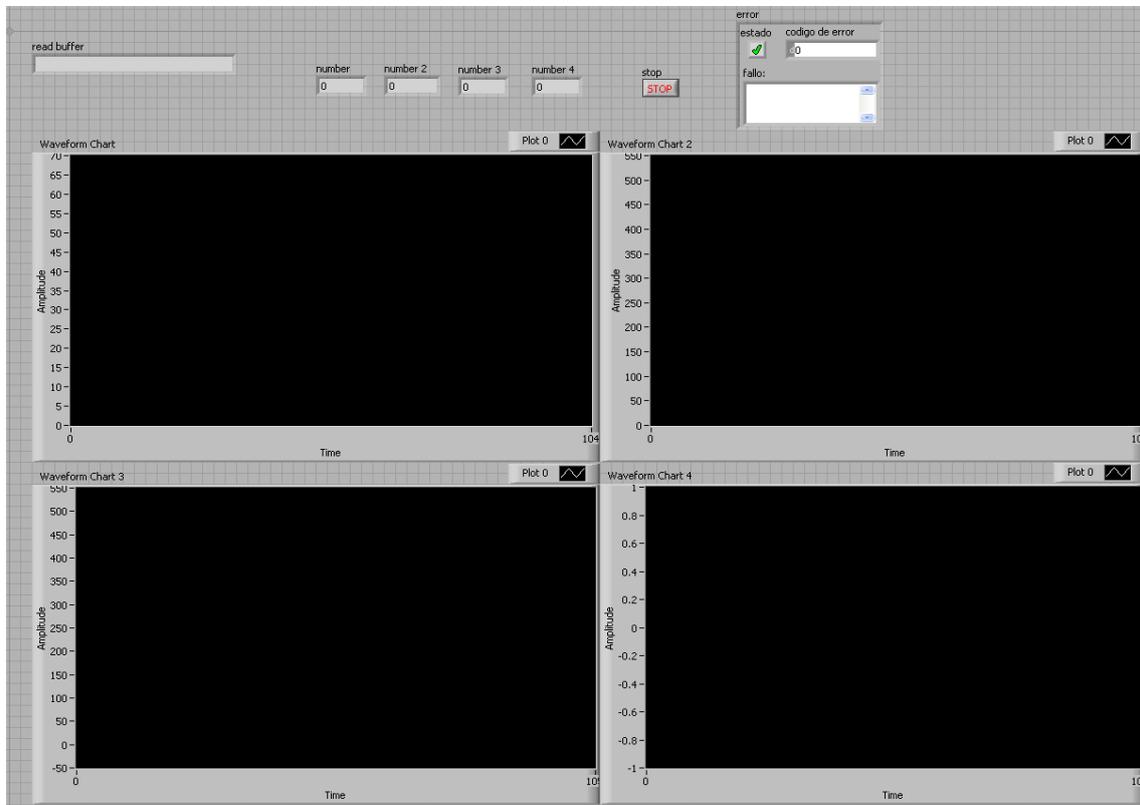


Figura 78: Gráficos

1.7.8 Configurar el valor óptimo de los tensores

Otro apartado del proyecto consiste en memorizar el valor óptimo de los cuatro tensores y después realizar un software que facilite en un futuro ajustar la tensión a este valor. Para ello, desde Labview se ha hecho un programa que captura los datos óptimos y los guarda en un Excel.

Por otra parte, también se ha logrado capturar los datos del instante, compararlos con los valores óptimos almacenados en el Excel y mediante instrucciones sencillas permitir ajustarlo a la tensión óptima.

-Memorizar la tensión óptima:

El programa dispone de un botón para comenzar a tomar datos, como se puede observar en la figura 88. Una vez que se pulsa “Guardar base de datos de modelo optimizado” se abre una ventana en la que se indica el directorio que se desea guardar el fichero Excel.

Después, aparecen indicaciones para comenzar captura de datos.

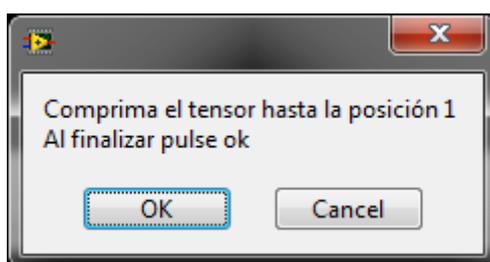


Figura 79: Ventana Labview

Desde ese instante se toman datos hasta que se vuelve a pulsar el botón

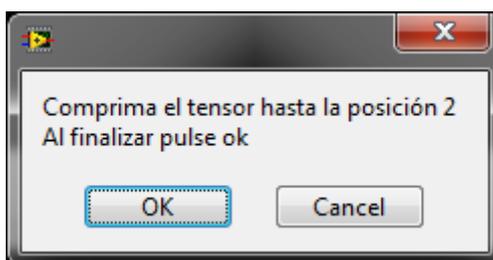


Figura 80: Ventana de dialogo

Los datos obtenidos durante la captura se almacenan en una matriz.

El software se encarga de seleccionar los valores que interesan, el máximo, y el mínimo, y después memoriza dichos valores en un fichero Excel. Las matrices “Array, Array 2”, “Array 3” y “Array 4” son los datos capturados. El bloque que podemos ver en medio saca los datos importantes, y los bloques VI de la derecha se encargan de crear otra matriz con los datos importantes.

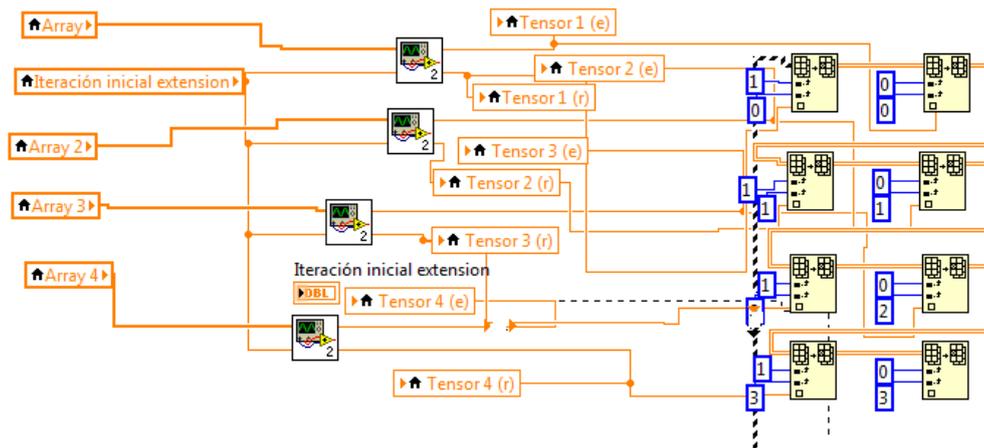


Figura 81: parte obtención de datos importantes

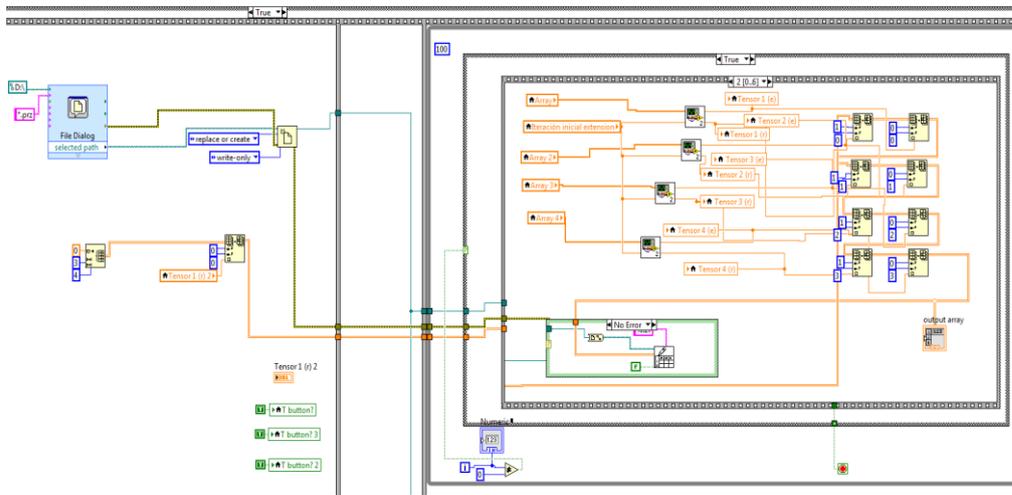


Figura 82: Programa Labview

Como podemos observar en la figura 82, en la parte izquierda se abre el fichero Excel, que está dirigido al siguiente bloque.

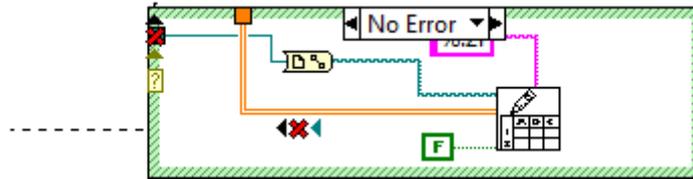


Figura 83: Guardado en Excel

Aquí es donde se graban los datos, que vienen directamente de la matriz anteriormente creada.

-Ajuste de fuerza óptima

La primera parte del software es exactamente la misma que el apartado anterior, se pulsán los botones para empezar a capturar datos y el software se encarga de seleccionar los valores que interesan.

Una vez guardados los valores óptimos, El software permite mediante instrucciones visuales, ajustar en un futuro a los valores óptimos guardados anteriormente.

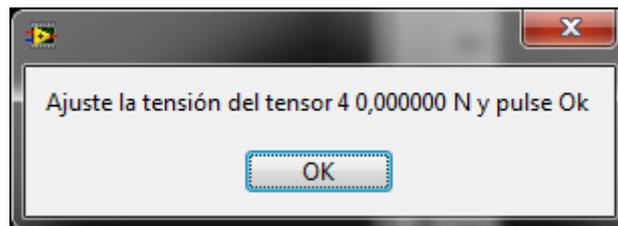


Figura 84: Ventana de ajuste

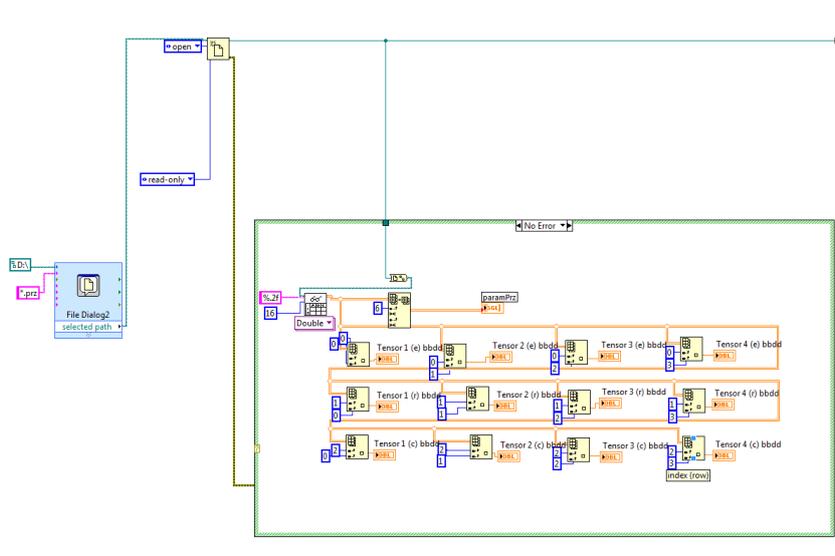


Figura 85: guardado en excel13

Para esta parte de programa se repite el apartado anterior (tomar los datos máximo mínimo etc..) pero en vez de almacenarlos en un Excel, se comparan con los datos del archivo Excel ya guardado para permitir ajustar a la tensión óptima.

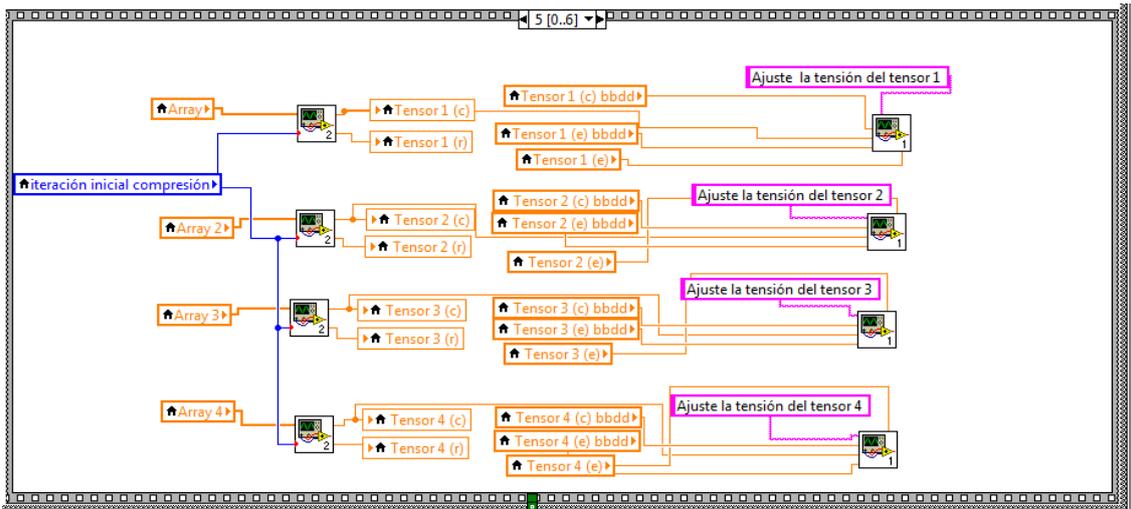


Figura 86: ajuste de tensión

Aquí es donde se realiza la comparación, el bloque izquierdo se encarga de sacar los datos importantes, igual que antes, y el bloque derecho se encarga de comparar con los datos almacenados.

1.7.9 Resultados:

El resultado es la obtención del valor de la tensión de los sensores impresos en cuatro gráficas, que se monitorizan a tiempo real y permiten obtener una mejor visualización de la medida realizada.

Es importante mencionar que el sistema en el que está situado el tensor tiene tres posiciones. En la primera posición, todos los sensores sufren fuerzas, la segunda posición es una posición intermedia, donde los sensores tienden a estar sin tensión y en la tercera posición, también sufren fuerzas los sensores

En los siguientes gráficos se pueden observar las tres posiciones, cada gráfico representa el valor de un sensor. La primera posición está dibujada de color azul en el gráfico, la segunda posición de color rojo y la tercera de color verde.

En los gráficos se puede observar cómo se ha repetido en cuatro ocasiones el proceso de pasar de una posición a otra.

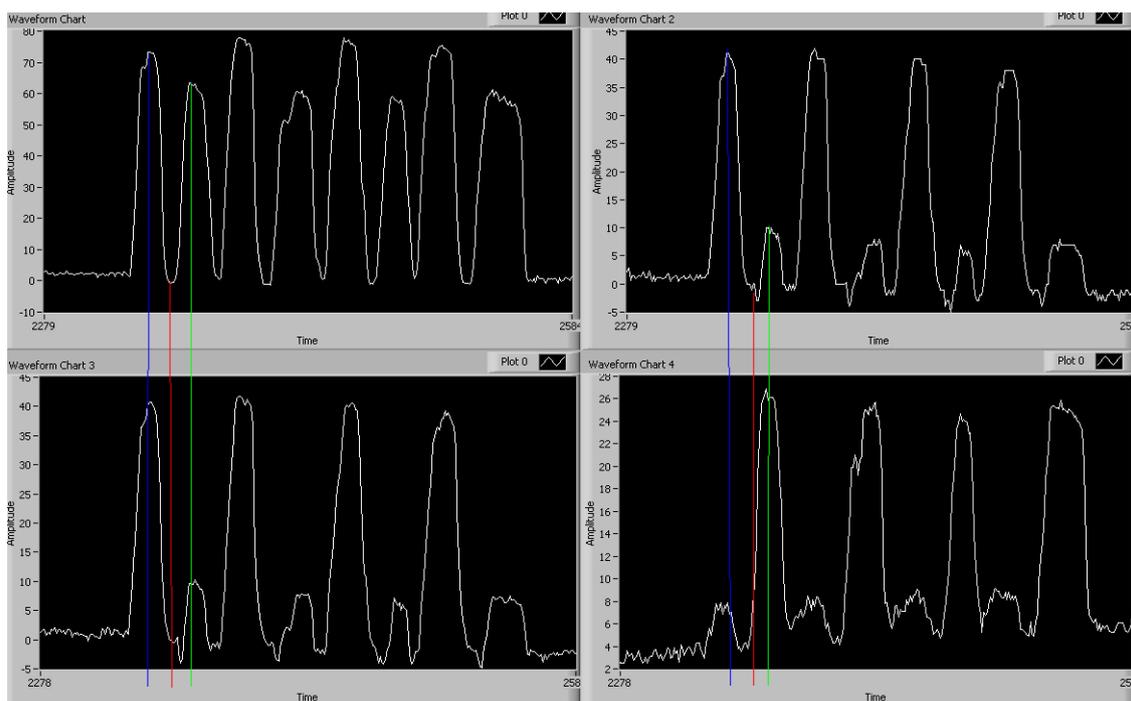


Figura 87: resultado

Además, el software también permite guardar en una base de datos un modelo optimizado así como acceder a esa base de datos para ajustar los óptimos nuevamente.

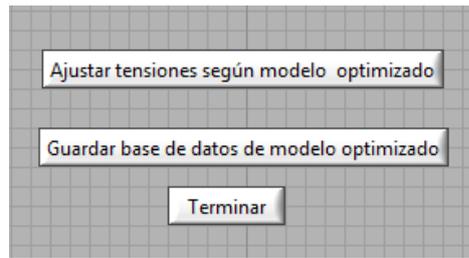


Figura 88: Botones para acceder a las funciones

Por otra parte, el dispositivo tiene un problema, como en el puente de wheastone no se ha puesto un potenciómetro, en ocasiones la salida del puente tiene demasiada tensión, por lo que el amplificador satura.

1.7.10 Extensión del sistema de cara a su utilización de forma inalámbrica

Una de las posibles mejoras que quedan pendientes para un futuro es la de poder realizar la medición de una manera inalámbrica, se ha pensado en transmisor de “Amtel” que como se ha mencionado anteriormente, funciona a un voltaje de 3.3V.

Por el momento se han realizado ensayos con un módulo ZigBit™ de la empresa Atmel. Se trata de un dispositivo de reducidas dimensiones, de bajo consumo y que trabaja en la banda ISM, concretamente a 2.4 GHz, lo que determina su compatibilidad para aplicaciones biomédicas y la garantía de que se basa en el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee®

De las versiones de Zigbit existentes se ha elegido la ATZB-24-B0 (ver Figura 89), que incluye una “antenna planar” de tipo dual. En la hoja de características en el anexo se muestran más detalles.

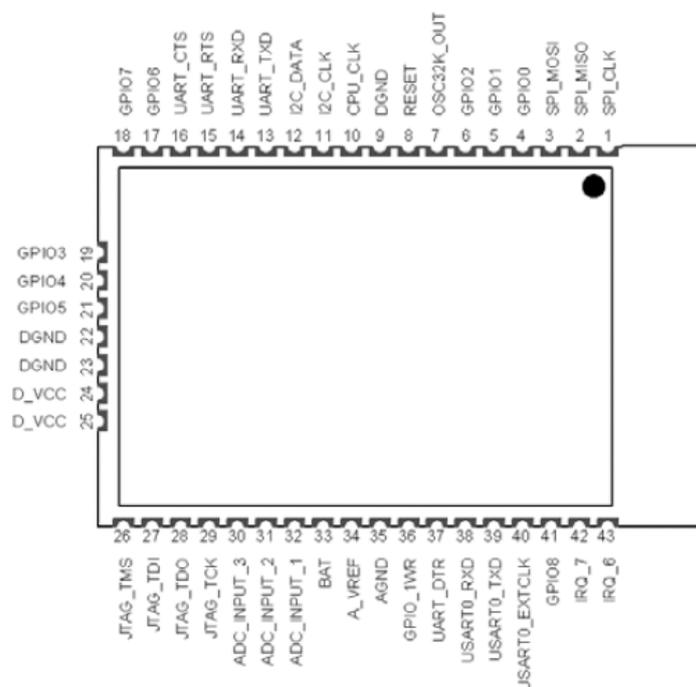


Figura 89: Pines del módulo Zigbit ATZB-24-B0

Los módulos Zigbit pueden actuar como coordinador, router y como end_node. Dado que nuestro sistema se basa en un ordenador central que monitoriza la señal de cuatro sensores, se empleará un coordinador y 4 routers. Para hacer las pruebas se diseñaron 3 tarjetas PCB siguiendo el modelo de la siguiente figura:

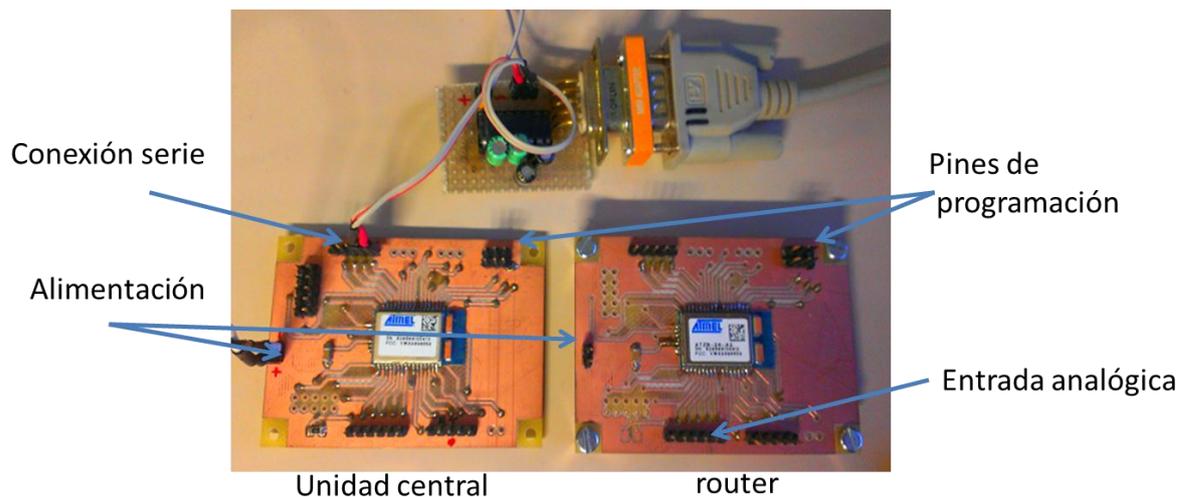


Figura 90: PCB de un coordinador y un router

En la Figura 90 también se puede observar que los únicos pines de interés son los de alimentación (23 y 24), los que se emplean para la programación mediante JTAG del dispositivo, y los de comunicación del coordinador al puerto serie del ordenador (13 y 14). Dado que los voltajes del Zigbit son diferentes que los del estándar RS-232 se optó por utilizar una tarjeta basada en el módulo MAX232, que convierte de TTL a RS-232. El esquema del circuito diseñado es el siguiente:

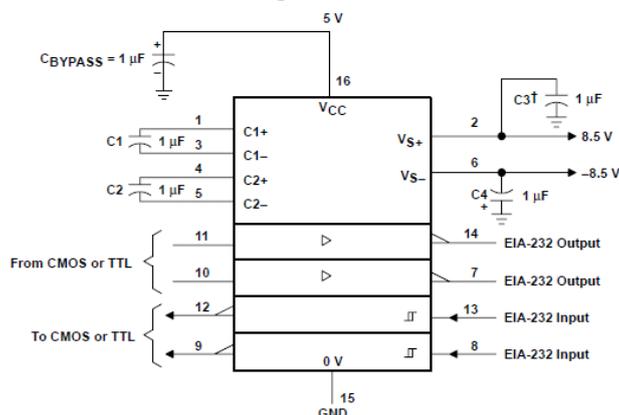


Figura 91: Circuito de operación del conversor MAX232 de TTL a RS232

Una de las tarjetas se programó como coordinador y las otras dos como router. Para ello se utilizó la versión WSNDemo que viene con AVR Studio 5.1 y se modificaron las siguientes líneas del fichero “configuration.h” para el coordinador y los router:

```

Coordinator:
#define APP_DISABLE_BSP 1
#define APP_DEVICE_TYPE DEV_TYPE_COORDINATOR
#define CS_CHANNEL_MASK (1L<<0x11)
#define CS_UID 0x58544947C0A80157LL
#define CS_NWK_UNIQUE_ADDR 1
#define CS_NWK_ADDR 0x0000

Router

```

```

#define APP_DISABLE_BSP 1
#define APP_DEVICE_TYPE DEV_TYPE_ROUTER
#define APP_TIMER_SENDING_PERIOD 200
#define CS_CHANNEL_MASK (1L<<0x11)
#define CS_UID 0x5854544245441001LL
#define CS_NWK_UNIQUE_ADDR 1
#define CS_NWK_ADDR 0x1234

```

Router.

```

#define APP_DISABLE_BSP 1
#define APP_DEVICE_TYPE DEV_TYPE_ROUTER
#define APP_TIMER_SENDING_PERIOD 200
#define CS_CHANNEL_MASK (1L<<0x11)
#define CS_UID 0x5854544245441002LL
#define CS_NWK_UNIQUE_ADDR 1
#define CS_NWK_ADDR 0x1235

```

Además, en el router se modificó el fichero WSNSensorManager.c para que el router envíe el dato de la entrada analógica 0 (a la que va conectada la señal de voltaje que se obtiene de transducir la fuerza ejercida sobre el tensor), al coordinador:

```

/*****
 \brief Illumination reading done callback.

 \param[in] result - successful illumination reading flag.
 \param[in] light - result of illumination reading, if result is true.

 \return None.
 *****/
static void lightDataReady(bool result, int16_t light)
{
    //if (result)
        //appNwkInfo.boardInfo.meshbean.light = CPU_TO_LE32(light); //Los datos al
WSNmonitor los manda por aquí
    //else
        //appNwkInfo.boardInfo.meshbean.light = CPU_TO_LE32(0);
    assert(BC_SUCCESS == BSP_ReadBatteryData(batteryDataReady),
BSPRESSENSORDATAASSERT_2);
    BSP_ReadTransducerData();
}

/*****
 \brief Battery level reading done callback.

 \param[in] result - successful battery level reading flag.
 \param[in] light - result of battery level reading, if result is true.

 \return None.
 *****/
static void batteryDataReady(int16_t battery)
{
    callback();
}

void transducerCalback(void)

```

```

{
    int16_t value = sensorData;
    appNwkInfo.boardInfo.meshbean.battery = CPU_TO_LE32(value);
    HAL_CloseAdc(&adcDescriptor);
}

void BSP_ReadTransducerData(void)
{
    adcDescriptor.tty = ADC_0;
    adcDescriptor.bufferPointer = &sensorData;
    adcDescriptor.callback = transducerCallback;
    adcDescriptor.resolution = RESOLUTION_10_BIT;
    adcDescriptor.sampleRate = ADC_4800SPS;
    adcDescriptor.selectionsAmount = 1;
    adcDescriptor.voltageReference = AVCC; //AREF
    HAL_OpenAdc(&adcDescriptor);
    HAL_ReadAdc(&adcDescriptor, HAL_ADC_CHANNEL1);
}

```

Por último se corrigió un bug que había en el software de Atmel, consistente en que, el coordinador se bloquea durante algunos instantes al recibir mensajes concurrentes de los routers. Esto se solucionó comentando la línea que se destaca en la siguiente función del fichero “WSNUARTManager.c”. Esa línea provocaba que, tras la ejecución de la función appSendMessageToUsart (que llama a sendNextMessage), el tamaño del buffer del USART (wsn2usart.size) fuera 0, y al ejecutar después la función WriteConfirm, que también llama a sendNextMessage, esta función no hiciera nada ya que wsn2usart.size es 0. De ahí que se perdieran algunas confirmaciones y port ante se perdieran mensajes.

```

static void sendNextMessage(void)
{
    if (wsn2usart.size)
    {
        WRITE_USART(&usartDescriptor,
                    wsn2usart.usartMessageQueue[wsn2usart.head].payload,
                    wsn2usart.usartMessageQueue[wsn2usart.head].size);
        //wsn2usart.size = 0
    }
}

```

En el foro de Atmel donde se debatió esta cuestión (<http://www.avrfreaks.net/index.php?name=PNphpBB2&file=printview&t=124237&start=160>), también se plantearon otras dos soluciones a través de otros usuarios del foro:

Solución 1:

With your solution the problem can only happen if WRITE_USART returns -1 in any case other than buffer is being sent. I don't think this can happen with the current UART code.

But if you want to make sure, then create a flag variable indicating if USART is busy and don't call appSendMessageToUsart() if flag is set. Flag should be

cleared in WriteConfirm. In this case keep `wsn2usart.size = 0;` in place.

Solución 2:

1. add this state flag:

```
typedef enum _USARTSenderState_t
{
    USART_SENDER_IDLE_STATE,
    USART_SENDER_BUSY_STATE
} USARTSenderState_t;
```

2. in `appStartUsartManager`:

```
txState=USART_SENDER_IDLE_STATE;
```

3. in `sendNextMessage`:

```
if(txState==USART_SENDER_IDLE_STATE)
{
    if (wsn2usart.size)
    {
        txState=USART_SENDER_BUSY_STATE;
        if (-1 == WRITE_USART(&usartDescriptor,
            wsn2usart.usartMessageQueue[wsn2usart.head].payload,
            wsn2usart.usartMessageQueue[wsn2usart.head].size))
            wsn2usart.size = 0;
    }
}
```

4. in `writeconfirm`:

```
txState=USART_SENDER_IDLE_STATE;
if (wsn2usart.size)
{
    wsn2usart.size--;
    if (++wsn2usart.head >= MAX_USART_MESSAGE_QUEUE_COUNT)
        wsn2usart.head -= MAX_USART_MESSAGE_QUEUE_COUNT;
}
//send next message
sendNextMessage();
```

5. set `MAX_USART_MESSAGE_QUEUE_COUNT` 2 or higher

In this way if usart is busy and `appSendMessageToUsart` is called the messages are being queued for `writeconfirm/sendNextMessage`.

Una vez programados los módulos se realizó un programa en Visual C# Express versión 2010 para monitorizar los resultados que el coordinador iba enviando al ordenador central vía serie. El código del programa se muestra en el anexo.

Por último, otro aspecto a tener en cuenta de cara al desarrollo de una aplicación inalámbrica es la necesidad de una batería para alimentar tanto el circuito como el módulo Zigbit. En este aspecto se pensó en baterías de un tamaño reducido y con una máxima carga como el modelo de Panasonic: BR-1225/VCN - BATTERY, LITHIUM, BR1225, VERT



Figura 92: Batería de Panasonic BR-1225/VCN - BATTERY, LITHIUM, BR1225, VERT

-Resultado:

Con dos transmisores, uno haciendo de router y otro de unidad central y el comunicador serie, se procedió a comprobar su funcionamiento. Los tres dispositivos se conectaron a una fuente de alimentación, y la unidad central a un ordenador mediante el puerto serie. El resultado de la prueba se representa en la siguiente figura:

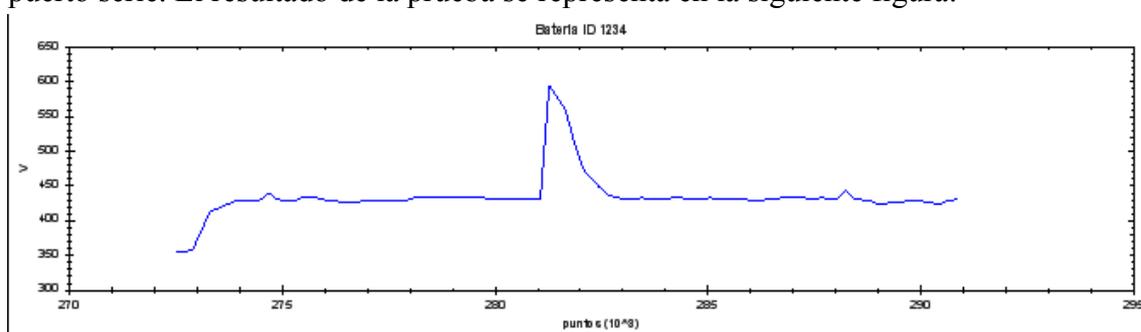


Figura 93: Resultado transmisor.

Como se puede observar, el software se comporta perfectamente, representa el valor de la galga a tiempo real mostrándolo en un gráfico.

1.7.11 Conclusiones:

En este proyecto se ha logrado medir procesar y monitorizar la fuerza aplicada a cuatro sensores de nylon de pequeñas dimensiones para su utilización en aplicaciones biomédicas.

De los diferentes sensores disponibles en el mercado se ha optado por utilizar galgas extensiométricas de tipo metálico que situadas en un tubo de nylon mide las deformaciones de éste para así hallar la fuerza ejercida sobre los sensores.

Mediante cuatro circuitos impresos se han realizado los circuitos de adaptación con un puente de Wheatstone y un amplificador la señal de cada sensor. Por otra parte, la salida del circuito impreso se dirige a un módulo de Arduino para monitorizar los datos tanto en su pantalla LCD propia como en el ordenador.

El siguiente logro ha sido realizar un software que monitorizase las tensiones tanto en el Arduino como en el ordenador, además se ha logrado hacer de dos maneras distintas, programando directamente en Arduino y realizando toda la programación en Labview.

Para terminar se ha conseguido realizar un pequeño programa que memoriza las tensiones óptimas y después facilita su ajuste.

1.7.12- Posibles mejoras:

Sería interesante mejorar los valores del puente de Wheatstone en el circuito impreso, pudiendo poner por ejemplo una galga de 256Ω y otras tres resistencias con el mismo valor.

Además el hecho de alimentar dicho puente a una tensión inferior a la del amplificador de instrumentación, podría impedir que éste pueda saturar.

Por otra parte, queda pendiente caracterizar la galga, esto se podría realizar con un instrumento que ejerza una fuerza controlada en el tensor. Estos resultados serían importantes, ya que se podrían comparar con los resultados teóricos, calculados con las fórmulas de deformaciones (En el apartado de Cálculos).

Al no disponer del instrumento apropiado, no se ha podido completar esta prueba.

2-CÁLCULOS

2: Cálculos

Para este proyecto se han tenido que realizar los siguientes cálculos:

2.1: Referencia de tensión

El circuito de adaptación necesita una referencia de tensión, ya que es necesario pasar de 5 a 3V. Las referencias de tensión necesitan una resistencia en la que caiga la tensión, y este valor depende de distintas variables.

Como todavía no se sabe cuál va a ser el consumo ya que hay distintas posibilidades, se va a calcular para distintos casos.

El valor de la resistencia se calcula de la siguiente manera:

$$R_s = \frac{V_s - V_z}{I_l + I_z}$$

Donde las variables son las siguientes:

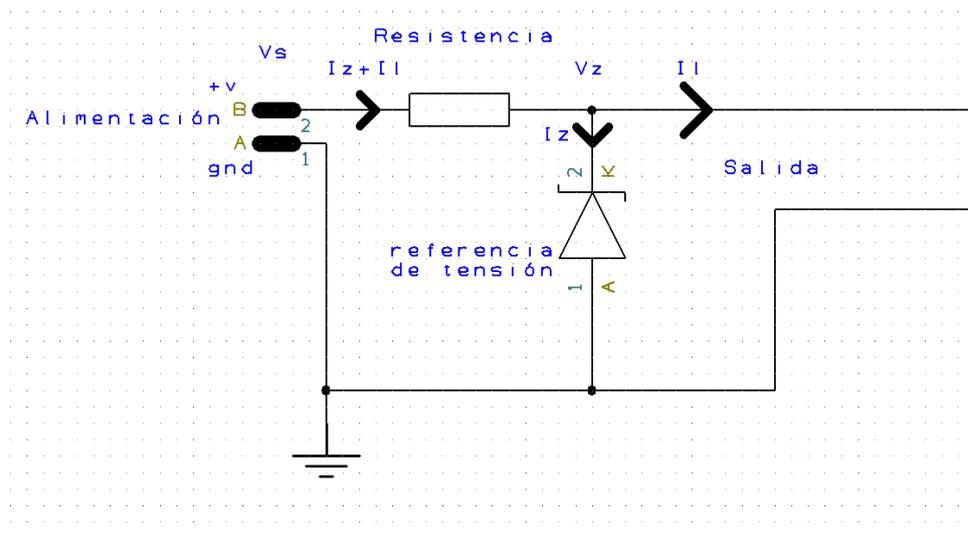


Figura 93: Referencia de tensión

El valor de V_s es 5V, el valor de V_z es 3V y ahora se procede a calcular I_l , que dependerá del consumo de nuestro circuito.

	Resistencia	Corriente (mA)	I cantidad	I total (mA)
Puente de wheastone	1120	2,68	2	5,36
Amplificador		0,2	1	0,2
Divisor de tensión	2000	1,5	1	1,5
I total				7,06

Por lo tanto, $I_l = 0.007A$. Para este cálculo I_z se considera 0.

$$R_s = \frac{5 - 3}{0.007}$$

$$R_s = 285.7\Omega$$

2.2 Cálculo de la deformación de la galga:

Como no tenemos ningún instrumento que nos ayude a calibrar el tensor, hallaremos la fuerza aplicada a partir de las formulas.

Para ello, en un principio tenemos que relacionar la resistencia de la galga con la salida del circuito, para ello calculamos el puente de Wheastone.

Como también tenemos un amplificador, hallaremos su ganancia.

$$G = 1 + \frac{100K}{68} = 1471.6$$

Una vez que sabemos la ganancia, hallamos la tensión a la salida del puente de Wheastone

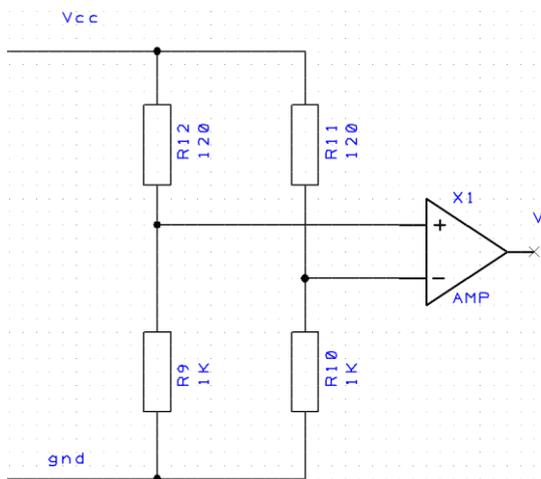


Figura 94: Puente con amplificador

$$V = -V_{cc} * \left(\frac{120 + \Delta R}{1120} - \frac{120}{1120} \right)$$

Lo multiplicamos por la ganancia:

$$V = -V_{cc} * \left(\frac{\Delta R}{1120} \right) * 1471.6$$

$V_{cc}=3$

$$V_{ampli} = -3 * \left(\frac{\Delta R}{1120} \right) * 1471.6$$

El módulo Arduino, la entrada analógica la lee como una entrada de 10 bits, cuando la tensión es 0, el valor que lee es 0, y cuando la tensión es 5 el valor es 1024.

Para pasar de lo que lee el amplificador a la tensión real, hay que hacer lo siguiente:

$$V_{arduino} = V_{ampli} * \left(\frac{1024}{5}\right)$$

Por lo tanto;

$$V_{arduino} = -3 * \left(\frac{\Delta R}{1120}\right) * 1471.6 * \left(\frac{1024}{5}\right)$$

Por otra parte, hay que relacionar la fuerza con la variación de la resistencia de la galga:

$$\Delta R = k * \varepsilon * R$$

Donde k es una constante, ε son las micodeformaciones y R el valor de la resistencia de la galga.

$$K=2.2$$

$$R=120$$

$$\varepsilon = \frac{F}{E * A}$$

Donde F es la fuerza de compresión del tensor, E es el módulo de Young del material (en este caso nylon) y A es el área de la sección del tensor.

El valor del módulo de Young se puede sacar de distintas tablas desde internet, pero para saber su valor exacto es necesario realizar pruebas en un laboratorio. Como de momento para una versión de demostración no es necesaria tanta precisión, se tomaran los valores obtenidos de internet.

$$E = 1400 * 10^6$$

El tensor tiene forma cilíndrica por lo que su sección tendrá la siguiente forma:

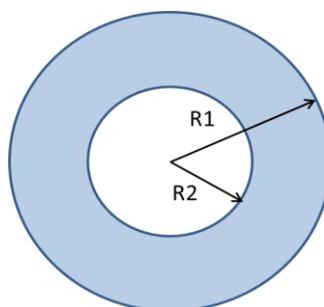


Figura 95: Sección del tensor

$$A = \pi * r1^2 - \pi * r2^2$$

$$A = 3 * 10^{-4}$$

Juntando:

$$\Delta R = k * R * \frac{F}{E * A}$$

$$\Delta R = 2.2 * 120 * \frac{F}{1400 * 10^6 * 3 * 10^{-4}}$$

Juntandolo todo:

$$Varduino = -3 * \left(\frac{2.2 * 120}{1120 * 1400 * 10^6 * 3 * 10^{-4}} \right) * 1471.6 * \left(\frac{1024}{5} \right) * F$$

$$Varduino = 0.507 F$$

$$F = 1.97 * Varduino$$

PRESUPUESTO

3-PRESUPUESTO

Se ha realizado una estimación del presupuesto del presente Proyecto Fin de Carrera como si se tratase de un trabajo de investigación que se realiza dentro de una empresa. Para ello se ha de tener en cuenta varios apartados que se muestran a continuación.

Gracias a la utilización de tanto software como hardware libre se ha logrado obtener un presupuesto reducido.

3.1. Material de laboratorio: Sensores y electrónica

En este apartado se estima el presupuesto de los componentes que se han empleado para realizar el proyecto.

objeto	Unidades	Precio unitario	iva (21%)	Precio con iva	total
Galga extensiométrica 120Ω	4	12,2	2,562	14,762	59,048
Amplificador operacional	4	3,83	0,8043	4,6343	18,5372
Resistencia 1k 0805	20	0,651	0,13671	0,78771	15,7542
Condensador 100nF	20	0,432	0,09072	0,52272	10,4544
Resistencia 120Ω 0805	4	0,754	0,15834	0,91234	3,64936
Placa PCB (circuito impreso)	1	5,4	1,134	6,534	6,534
Referencia de tensión	4	0,312	0,06552	0,37752	1,51008
Resistencia 68Ω 0805	4	0,531	0,11151	0,64251	2,57004
Resistencia 200Ω 1208	4	0,415	0,08715	0,50215	2,0086
Cable apantallado 4 hilos (1m)	1	2,46	0,5166	2,9766	2,9766
Cable IDE 12 hilos (1m)	1	3,1	0,651	3,751	3,751
Cable 5 metros	1	0,4	0,084	0,484	0,484
Conectores (pack de 12)	7	1,24	0,2604	1,5004	10,5028
Arduino	1	17,45	3,6645	21,1145	21,1145
Cable USB Arduino	1	1,3	0,273	1,573	1,573
Pantalla arduino	1	6,46	1,3566	7,8166	7,8166
				total	168,2844

3.2: Software

	Cantidad	Precio unidad	envio	importe
Software labview	1	710	18,49	728,49
Arduino	1	Gratuito		
Designspark	1	Gratuito		
			Total	728,49

3.3: Mano de Obra

En este apartado del presupuesto se tiene en cuenta el coste del personal encargado de realizar el proyecto.

Se considera el sueldo de dos personas, ya que el proyecto ha sido realizado por un Ingeniero y una persona que ha supervisado el proyecto en todo momento. Se estima el sueldo de un futuro ingeniero y un responsable que dedica un 20% de su trabajo en tareas de asesoramiento y revisión. Se tendrá en cuenta los cargos sociales.

3.3.1: Salario Base:

	Meses	Sueldo/Mes	Total
Ingeniero Técnico Industrial, esp. Electricidad	12	1500	18000
Responsable Asesor	12	600	7200
		Total	2124

3.3.2 Cargos sociales:

Indemnización despido	3%
Seguros de accidente	5%
Subsidio familiar	3%
Subsidio vejez	5%
Abono días festivos	10%
Días de enfermedad	2%
Plus de cargas familiares	3%
Gratificación extraordinaria	10%
Otros conceptos	8%
TOTAL	49%

3.3.3 Salarios efectivos:

Para el cálculo de sueldo final se añade al salario base los cargos sociales correspondientes.

	Salario base	Cargas sociales (€)	Salario Total
Ingeniero Técnico Industrial, esp. Electricidad	18000	8820	26820
Responsable Asesor	7200	3528	10728
		Total	37548

3.4 Presupuesto total:

El I.V.A. ha sido añadido en cada apartado, por lo que no es necesario añadirlo aquí. Se ha de tener en cuenta el beneficio industrial en la suma total del presupuesto.

Coste Material Laboratorio	168,28438
Coste Personal	37548
Coste Software	728,49
Coste Total Ejecución Material	38444,8
Beneficio Industrial 10% (E.M.)	3844,48
COSTE TOTAL	42289,28

El coste total del proyecto asciende a la cantidad de CUARENTA Y DOS MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y NUEVE euros y VENTIOCHO céntimos de euro (42289,28€)

Anexo memoria

4: Anexo memoria:

4.1: Programa Arduino.....	88
4.2: Resultados pruebas.....	90
4.1.1: FSR.....	90
4.1.2: Hall.....	91
4.3: Hojas de características:	95
- INA 333.....	98
- WSH 201.....	103
- A1234.....	107
- HE244.....	109
- HE144.....	111
-Tekscan FSR.....	117
-Galga CEA-13-24UZ-120.....	120
-Amtel.....	121
4.4:Lineas de código Matlab para sensores HALL.....	130
4.5: Líneas de código Visual C# para modulo inalámbrico.....	133

1: Programa Arduino

Para programar el micro controlador se utilizó el software oficial de arduino que utiliza su propio lenguaje de programación, muy parecido a C.

La parte programada en arduino fue la siguiente.

```
/*
PROGRAMA PARA MEDIR LA FUERZA EN 4 SENSORES
*/

#include <LiquidCrystal.h>
int i = 0;
float puesta01=0, puesta02=0 ,puesta03=0 , puesta04=0, cte=1.84, valor1=0,
valor2=0, valor3=0, valor4=0;

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

//se indican los puertos de la pantalla y se declaran variables

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
}

//configuramos para poder escribir tanto en la pantalla como en el Puerto
serial.

void loop(){

//los botones de la pantalla están dirigidos a la entrada analógica 0 del
arduino, y cada valor del botón da una tensión distinta a la entrada.

int boton = analogRead(0);
if ((boton < 50) ||(((718 < boton) && (boton < 722))||(i<4)))
  puesta04=analogRead(4)*cte; //aquí se programa para que al pulsar el boton
if (((50 < boton) && (boton < 195)) ||(((718 < boton) && (boton < 722))||(i<4)))
  puesta02=analogRead(2)*cte; //adecuado el valor se ponga a 0
if (((195 < boton) && (boton < 380)) ||(((718 < boton) && (boton <
722))||(i<4)))
  puesta03=analogRead(3)*cte;
if (((380 < boton) && (boton < 555)) ||(((718 < boton) && (boton <
722))||(i<4)))
  puesta01=analogRead(1)*cte;

//en este primer bloque leemos la entrada analógica que corresponde a los
botones de la pantalla, cada uno pondrá a cero el valor de un sensor.
```

```

for (int e=0; i <= 6; e++){           //En este bucle toma 7 datos para hacer la
media.
  valor1=(valor1+((analogRead(1)*cte)- puesta01)) ;
  valor2=(valor2+((analogRead(2)*cte)- puesta02)) ;
  valor3=(valor3+((analogRead(3)*cte)- puesta03)) ;
  valor4=(valor4+((analogRead(4)*cte)- puesta04)) ;
  delay(30);
}

valor1=(valor1)/7;                   //aquí se dividen los valores para hallar
la media
valor2=(valor2)/7;
valor3=(valor3)/7;
valor4=(valor4)/7;

Serial.print(valor1,1);               //se escribe en el puerto serie
Serial.print(" ");
if (valor1<10) Serial.print(" ");    //como después hay que separar
if (valor1<100) Serial.print(" ");   //el texto del serial, hay que meter
if (valor1<1000) Serial.print(" ");  //estos espacios, para que siempre
Serial.print(valor2,1);              // estén en la misma posición.
Serial.print(" ");
if (valor2<10) Serial.print(" ");
if (valor2<100) Serial.print(" ");
if (valor2<1000) Serial.print(" ");
Serial.print(valor3,1);
Serial.print(" ");
if (valor3<10) Serial.print(" ");
if (valor3<100) Serial.print(" ");
if (valor3<1000) Serial.print(" ");
Serial.println(valor4,1);

lcd.clear();                          //se escribe en la pantalla
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("S1 S2 S3 S4");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(valor1,0);
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(valor2,0);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print(valor3,0);
lcd.setCursor(12,1);
lcd.print(valor4,0);
  delay(20);

i=i+1;
}

```

2: Resultados pruebas

2.1: FSR toma de datos

peso (kg)	resistencia(Ω)	conductividad
0,2475	42	0,023809524
0,3475	29	0,034482759
0,4425	21	0,047619048
0,5425	18,5	0,054054054
0,59	16,16	0,061881188
0,6425	15,5	0,064516129
0,7375	14,6	0,068493151
0,8375	13,9	0,071942446
0,9375	13,55	0,073800738
1,0375	13	0,076923077
1,125	12,06	0,08291874
1,225	11,8	0,084745763
1,325	11,5	0,086956522
1,42	11,38	0,087873462
1,52	11,08	0,090252708
1,62	10,92	0,091575092
1,72	10,85	0,092165899
1,8625	10,71	0,093370682
1,9625	10,51	0,095147479
2	10,5	0,095238095
2,1	10,45	0,09569378
2,1475	10,6	0,094339623
2,2	10,33	0,096805421
2,2475	10,2	0,098039216
2,3475	10,14	0,098619329
2,4425	10,13	0,098716683
2,5425	10,07	0,099304866
2,6425	10,05	0,099502488
2,7425	10	0,1
2,8375	9,96	0,100401606
2,9375	9,93	0,100704935
3,0375	9,9	0,101010101
3,1	9,82	0,101832994
3,2	9,8	0,102040816
3,3	9,78	0,102249489
3,395	9,76	0,102459016
3,495	9,74	0,102669405
3,595	9,73	0,102774923
3,69	9,7	0,103092784
3,7375	9,69	0,103199174
3,8375	9,68	0,103305785
3,9375	9,66	0,103519669
4,0375	9,64	0,10373444

2.2: Hall

2.2.1: Toma de datos

En esta tabla (explicada en el punto 1.5.2 de la memoria) se exponen los datos obtenidos en un sensor hall, la segunda columna, salen los datos obtenidos en el ordenador, en la segunda estos mismos datos pero convirtiéndolos en tensión, y las siguientes son obtenidas con un multímetro

		de frente				trasversal
distancia (mm)	PC	V(PC)	multi 5V	multi 3.3	multi 3,3v eq	PC
-15	505	2,525	2,5	1,66	2,515151515	0,1
-14,8	505	2,525	2,5	1,66	2,515151515	0,1
-14,6	505	2,525	2,5	1,66	2,515151515	0,1
-14,4	505	2,525	2,5	1,66	2,515151515	0,1
-14,2	505	2,525	2,51	1,66	2,515151515	0,11
-14	506	2,53	2,51	1,66	2,515151515	0,11
-13,8	506	2,53	2,51	1,66	2,515151515	0,11
-13,6	507	2,535	2,51	1,66	2,515151515	0,11
-13,4	507	2,535	2,51	1,66	2,515151515	0,11
-13,2	507	2,535	2,51	1,67	2,53030303	0,11
-13	508	2,54	2,52	1,67	2,53030303	0,12
-12,8	508	2,54	2,52	1,67	2,53030303	0,12
-12,6	509	2,545	2,52	1,68	2,545454545	0,12
-12,4	509	2,545	2,52	1,67	2,53030303	0,12
-12,2	510	2,55	2,53	1,68	2,545454545	0,13
-12	510	2,55	2,53	1,68	2,545454545	0,13
-11,8	511	2,555	2,53	1,68	2,545454545	0,13
-11,6	512	2,56	2,54	1,68	2,545454545	0,14
-11,4	512	2,56	2,54	1,68	2,545454545	0,14
-11,2	513	2,565	2,54	1,68	2,545454545	0,14
-11	514	2,57	2,55	1,68	2,545454545	0,15
-10,8	515	2,575	2,55	1,69	2,560606061	0,15
-10,6	516	2,58	2,55	1,69	2,560606061	0,15
-10,4	517	2,585	2,56	1,69	2,560606061	0,16
-10,2	518	2,59	2,57	1,69	2,560606061	0,17
-10	519	2,595	2,57	1,7	2,575757576	0,17
-9,8	521	2,605	2,58	1,7	2,575757576	0,18
-9,6	522	2,61	2,59	1,7	2,575757576	0,19
-9,4	524	2,62	2,6	1,71	2,590909091	0,2
-9,2	525	2,625	2,61	1,71	2,590909091	0,21
-9	527	2,635	2,62	1,72	2,606060606	0,22
-8,8	529	2,645	2,63	1,73	2,621212121	0,23
-8,6	532	2,66	2,63	1,73	2,621212121	0,23
-8,4	534	2,67	2,65	1,74	2,636363636	0,25
-8,2	537	2,685	2,66	1,75	2,651515152	0,26

2.2.2 Distintas distancias y resistencias

En esta tabla se representan las distintas distancias a la que se sitúa el sensor hall, además de los valores de la resistencia “Rg”, que determina la ganancia del amplificador operacional.

	d=2mm	d=1mm	2mm	3mm	d=1mm	2mm	3mm
distancia	Rg=9,76	Rg=9,76	Rg=9,76	Rg=9,76	Rg=8,73	Rg=8,73	Rg=8,73
(mm)	k	k	k	k	k	k	k
-15	0,046	0	0	0	0	0	0
-14,8	0,047	-0,001	-0,001	0	-0,001	-0,001	0
-14,6	0,048	-0,002	-0,002	-0,001	-0,002	-0,002	0
-14,4	0,049	-0,004	-0,003	-0,001	-0,002	-0,002	0
-14,2	0,051	-0,006	-0,005	-0,001	-0,003	-0,003	0
-14	0,052	-0,008	-0,006	-0,001	-0,004	-0,003	0
-13,8	0,053	-0,01	-0,007	-0,001	-0,005	-0,004	0
-13,6	0,054	-0,012	-0,008	-0,001	-0,006	-0,005	0
-13,4	0,055	-0,014	-0,009	-0,001	-0,007	-0,005	0
-13,2	0,056	-0,016	-0,011	-0,001	-0,008	-0,006	0
-13	0,057	-0,019	-0,012	0	-0,009	-0,007	0
-12,8	0,058	-0,021	-0,013	0	-0,01	-0,007	0
-12,6	0,059	-0,023	-0,014	0	-0,011	-0,008	0
-12,4	0,06	-0,026	-0,015	0	-0,012	-0,009	0
-12,2	0,061	-0,028	-0,017	0,001	-0,013	-0,009	0,001
-12	0,062	-0,031	-0,018	0,002	-0,014	-0,01	0,001
-11,8	0,063	-0,033	-0,019	0,003	-0,015	-0,011	0,002
-11,6	0,063	-0,035	-0,02	0,004	-0,016	-0,011	0,002
-11,4	0,064	-0,038	-0,021	0,005	-0,017	-0,012	0,003
-11,2	0,065	-0,041	-0,022	0,007	-0,018	-0,012	0,003
-11	0,065	-0,043	-0,022	0,008	-0,019	-0,013	0,004
-10,8	0,065	-0,046	-0,022	0,011	-0,021	-0,014	0,005
-10,6	0,065	-0,048	-0,022	0,013	-0,022	-0,015	0,006
-10,4	0,065	-0,051	-0,022	0,016	-0,023	-0,015	0,007
-10,2	0,065	-0,053	-0,023	0,018	-0,024	-0,015	0,008
-10	0,064	-0,055	-0,022	0,022	-0,025	-0,016	0,01
-9,8	0,063	-0,057	-0,021	0,025	-0,026	-0,016	0,011
-9,6	0,062	-0,059	-0,02	0,03	-0,027	-0,016	0,013
-9,4	0,06	-0,064	-0,018	0,035	-0,028	-0,017	0,015
-9,2	0,058	-0,062	-0,017	0,039	-0,029	-0,017	0,017
-9	0,055	-0,064	-0,015	0,045	-0,029	-0,016	0,019
-8,8	0,052	-0,065	-0,013	0,05	-0,03	-0,016	0,021
-8,6	0,048	-0,064	-0,008	0,058	-0,03	-0,016	0,025
-8,4	0,043	-0,065	-0,004	0,066	-0,031	-0,015	0,029
-8,2	0,038	-0,065	0	0,075	-0,031	-0,015	0,032
-8	0,031	-0,064	0,006	0,084	-0,03	-0,014	0,036
-7,8	0,024	-0,063	0,013	0,093	-0,03	-0,013	0,041
-7,6	0,015	-0,061	0,021	0,106	-0,029	-0,011	0,046

2.2.3: Hall imán circular

-Histéresis

En esta tabla se representan los valores

mm	ida	vuelta	Ida								
3	2,563	2,549	2,549	2,535	2,535	2,495	2,495	2,598	2,598	2,534	2,534
5	2,257	2,244	2,25	2,148	2,248	2,116	2,207	2,116	2,21	2,222	2,228
7	2,056	2,046	2,05	2,044	2,052	2,012	2,019	2,011	2,036	2,028	2,03
9	1,959	1,955	1,96	1,955	1,956	1,924	1,924	1,923	1,94	1,939	1,936
11	1,892	1,892	1,892	1,892	1,888	1,858	1,86	1,86	1,875	1,875	1,875

-Repetibilidad

Prueba	d=5mm	d=7mm	d=9mm
1	2,167	1,962	1,855
2	2,165	1,958	1,854
3	2,164	1,956	1,853
4	2,162	1,958	1,852
5	2,154	1,959	1,852
6	2,158	1,956	1,852
7	2,16	1,95	1,854
8	2,16	1,948	1,853
9	2,156	1,947	1,854
10	2,152	1,951	1,855
11	2,152	1,947	1,856
12	2,15	1,948	1,854
13	2,165	1,947	1,855
14	2,169	1,94	1,852
15	2,166	1,945	1,853
16	2,17	1,944	1,852
17	2,168	1,942	1,852
18	2,168	1,941	1,85
19	2,169	1,941	1,853
20	2,166	1,942	1,853

-Tabla software matlab:

La siguiente tabla muestra los datos sacados por el software de matlab que compensa las interferencias de otros imanes

distancia	medida	medida	distancia	error
	1	2	matlab	
0	3,503	0,583	0,02	-0,02
0,2	3,312	0,553		
0,4	3,208	0,52	0,3103	0,0897
0,6	2,924	0,494		
0,8	2,62	0,467	0,8008	-0,0008
1	2,343	0,442		
1,2	2,122	0,419	1,2212	-0,0212
1,4	1,937	0,398		
1,6	1,779	0,379	1,5816	0,0184
1,8	1,652	0,361		
2	1,533	0,343	1,9219	0,0781
2,2	1,44	0,329		
2,4	1,353	0,313	2,2723	0,1277
2,6	1,286	0,3		
2,8	1,217	0,288	2,6827	0,1173
3	1,162	0,276		
3,2	1,113	0,266	3,1331	0,0669
3,4	1,073	0,256		
3,6	1,03	0,246	3,5636	0,0364
3,8	0,999	0,237		
4	0,966	0,229	3,8939	0,1061
4,2	0,937	0,221		
4,4	0,911	0,213	4,1842	0,2158
4,6	0,889	0,206		
4,8	0,867	0,2	4,4344	0,3656
5	0,847	0,193		
5,2	0,827	0,186	4,7247	0,4753
5,4	0,812	0,181		
5,6	0,798	0,175	5,1251	0,4749
5,8	0,786	0,171		
6	0,771	0,166	5,8759	0,1241
6,2	0,758	0,161		
6,4	0,746	0,156	6,2563	0,1437

- 3: Hojas de características:
 - Hoja de características INA333:



INA333

www.ti.com

SBOS445–JULY 2008

Micro-Power (50µA), Zero-Drift, Rail-to-Rail Out Instrumentation Amplifier

FEATURES

- **LOW OFFSET VOLTAGE:** 25µV (max), G ≥ 100
- **LOW DRIFT:** 0.1µV/°C, G ≥ 100
- **LOW NOISE:** 50nV/√Hz, G ≥ 100
- **HIGH CMRR:** 100dB (min), G ≥ 10
- **LOW INPUT BIAS CURRENT:** 200pA (max)
- **SUPPLY RANGE:** +1.8V to +5.5V
- **INPUT VOLTAGE:** (V–) +0.1V to (V+) –0.1V
- **OUTPUT RANGE:** (V–) +0.05V to (V+) –0.05V
- **LOW QUIESCENT CURRENT:** 50µA
- **OPERATING TEMPERATURE:** –40°C to +125°C
- **RFI FILTERED INPUTS**
- **MSOP-8 AND DFN-8 PACKAGES**

APPLICATIONS

- BRIDGE AMPLIFIERS
- ECG AMPLIFIERS
- PRESSURE SENSORS
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- PORTABLE INSTRUMENTATION
- WEIGH SCALES
- THERMOCOUPLE AMPLIFIERS
- RTD SENSOR AMPLIFIERS
- DATA ACQUISITION

DESCRIPTION

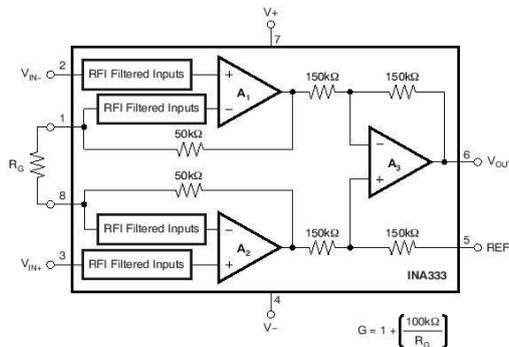
The INA333 is a low-power, precision instrumentation amplifier offering excellent accuracy. The versatile 3-op amp design, small size, and low power make it ideal for a wide range of portable applications.

A single external resistor sets any gain from 1 to 1000. The INA333 is designed to use an industry-standard gain equation: $G = 1 + (100k\Omega/R_G)$.

The INA333 provides very low offset voltage (25µV, G ≥ 100), excellent offset voltage drift (0.1µV/°C, G ≥ 100), and high common-mode rejection (100dB at G ≥ 10). It operates with power supplies as low as 1.8V (±0.9V), and quiescent current is only 50µA—ideal for battery-operated systems. Using autocalibration techniques to ensure excellent precision over the extended industrial temperature range, the INA333 also offers exceptionally low noise density (50nV/√Hz) that extends down to dc.

The INA333 is available in both MSOP-8 and DFN-8 surface-mount packages and is specified over the T_A = –40°C to +125°C temperature range.

Sample Request
[Click Here](#)



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2008, Texas Instruments Incorporated



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

PACKAGE/ORDERING INFORMATION⁽¹⁾

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	PACKAGE MARKING
INA333	MSOP-8	DGK	I333
	DFN-8 ⁽²⁾	DRG	I333A

(1) For the most current package and ordering information see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

(2) Available Q4, 2008.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

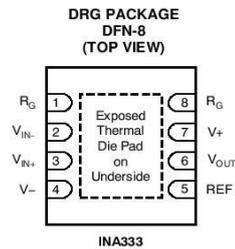
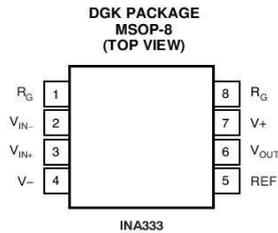
	INA333	UNIT
Supply voltage	+7	V
Analog input voltage range ⁽²⁾	(V-) – 0.3 to (V+) + 0.3	V
Output short-circuit ⁽³⁾	Continuous	
Operating temperature range, T _A	–40 to +150	°C
Storage temperature range, T _A	–65 to +150	°C
Junction temperature, T _J	+150	°C
ESD rating	Human body model (HBM)	4000
	Charged device model (CDM)	1000
	Machine model (MM)	200

(1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not implied.

(2) Input terminals are diode-clamped to the power-supply rails. Input signals that can swing more than 0.3V beyond the supply rails should be current limited to 10mA or less.

(3) Short-circuit to ground.

PIN CONFIGURATIONS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = +1.8V$ to $+5.5V$
Boldface limits apply over the specified temperature range, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$.

 At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$, $V_{REF} = 0$, and $G = 1$, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA333			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
INPUT⁽¹⁾					
Offset voltage, RTI ⁽²⁾	V_{OSI}		$\pm 10 \pm 25/G$	$\pm 25 \pm 75/G$	μV
vs Temperature				$\pm 0.1 \pm 0.5/G$	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power supply	PSR		$\pm 1 \pm 5/G$	$\pm 5 \pm 15/G$	$\mu\text{V}/\text{V}$
Long-term stability			See note ⁽³⁾		
Turn-on time to specified V_{OSI}			See Typical characteristics		
Impedance					
Differential	Z_{IN}		$100 \parallel 3$		$\text{G}\Omega \parallel \text{pF}$
Common-mode	Z_{IN}		$100 \parallel 3$		$\text{G}\Omega \parallel \text{pF}$
Common-mode voltage range	V_{CM}	$V_O = 0\text{V}$	$(V-) + 0.1$	$(V+) - 0.1$	V
Common-mode rejection	CMR	DC to 60Hz			
G = 1		$V_{CM} = (V-) + 0.1\text{V to } (V+) - 0.1\text{V}$	80	90	dB
G = 10		$V_{CM} = (V-) + 0.1\text{V to } (V+) - 0.1\text{V}$	100	110	dB
G = 100		$V_{CM} = (V-) + 0.1\text{V to } (V+) - 0.1\text{V}$	100	115	dB
G = 1000		$V_{CM} = (V-) + 0.1\text{V to } (V+) - 0.1\text{V}$	100	115	dB
INPUT BIAS CURRENT					
Input bias current	I_B		± 70	± 200	pA
vs Temperature			See Typical Characteristic curve		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input offset current	I_{OS}		± 50	± 200	pA
vs Temperature			See Typical Characteristic curve		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
INPUT VOLTAGE NOISE					
Input voltage noise	e_{nI}	$G = 100, R_S = 0\Omega$			
f = 10Hz			50		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 100Hz			50		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz			50		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 0.1Hz to 10Hz			1		μV_{PP}
Input current noise	i_{nI}				
f = 10Hz			100		$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 0.1Hz to 10Hz			2		pA_{PP}
GAIN					
Gain equation	G		$1 + (100\text{k}\Omega/R_G)$		V/V
Range of gain		$V_S = 5.5\text{V}, (V-) + 100\text{mV} \leq V_O \leq (V+) - 100\text{mV}$	1	1000	V/V
Gain error					
G = 1			± 0.01	± 0.1	%
G = 10			± 0.05	± 0.25	%
G = 100			± 0.07	± 0.25	%
G = 1000			± 0.25	± 0.5	%

 (1) Total V_{OS} , Referred-to-input = $(V_{OSI}) + (V_{OSO}/G)$.

(2) RTI = Referred-to-input.

 (3) 300-hour life test at $+150^\circ\text{C}$ demonstrated randomly distributed variation of approximately $1\mu\text{V}$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = +1.8V$ to $+5.5V$ (continued)

Boldface limits apply over the specified temperature range, $T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$.

At $T_A = +25^\circ C$, $R_L = 10k\Omega$, $V_{REF} = 0$, and $G = 1$, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA333			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
GAIN (continued)					
Gain vs Temperature					
$G = 1$			± 1	± 5	ppm/ $^\circ C$
$G > 1^{(4)}$			± 15	± 50	ppm/ $^\circ C$
Gain nonlinearity	$V_S = 5.5V$, $(V-) + 100mV \leq V_O \leq (V+) - 100mV$ $R_L = 10k\Omega$		10		ppm
OUTPUT					
Output voltage swing from rail ⁽⁵⁾	$V_S = 5.5V$, $R_L = 10k\Omega$		See note ⁽⁵⁾	50	mV
Capacitive load drive			500		pF
Short-circuit current	I_{SC} Continuous to common		-40, +5		mA
FREQUENCY RESPONSE					
Bandwidth, -3dB					
$G = 1$			150		kHz
$G = 10$			35		kHz
$G = 100$			3.5		kHz
$G = 1000$			350		Hz
Slew rate	SR				
$G = 1$	$V_S = 5V$, $V_O = 4V$ Step		0.16		V/ μs
$G = 100$			0.05		V/ μs
Settling time to 0.01%	t_S				
$G = 1$	$V_{STEP} = 4V$		50		μs
$G = 100$	$V_{STEP} = 4V$		400		μs
Settling time to 0.001%	t_S				
$G = 1$	$V_{STEP} = 4V$		60		μs
$G = 100$	$V_{STEP} = 4V$		500		μs
Overload recovery	50% overdrive		75		μs
REFERENCE INPUT					
R_{IN}			300		k Ω
Voltage range		V-		V+	V
POWER SUPPLY					
Voltage range					
Single		+1.8		+5.5	V
Dual		± 0.9		± 2.75	V
Quiescent current	I_Q		50	75	μA
vs Temperature	$V_{IN} = V_S/2$			80	μA
TEMPERATURE RANGE					
Specified temperature range		-40		+125	$^\circ C$
Operating temperature range		-40		+150	$^\circ C$
Thermal resistance	θ_{JA}				
MSOP			100		$^\circ C/W$
DFN			65		$^\circ C/W$

(4) Does not include effects of external resistor R_G .

(5) See Typical Characteristics curve, *Output Voltage Swing vs Output Current* (Figure 29).



Linear Hall Effect Sensor IC

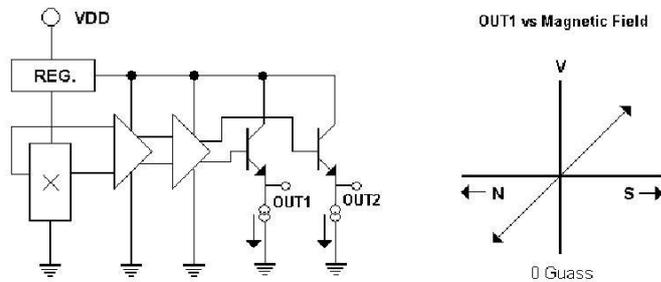
Features:

- Wide operating range 2.2~12V, -20°C~100°C
- Flat Response to 16kHz
- Low operating current 3mA
- High Sensitivity on different supplied voltage
Sensitivity: 10mV/Guass (Differential output) on 3V
Sensitivity: 20mV/Guass (Differential output) on 5V
- Two package styles TO-94/SOT-25 available.

Functional Description :

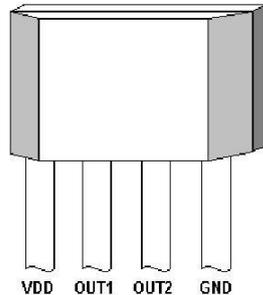
The W201 integrates Hall sensing element, linear amplifier, sensitivity controller and emitter follower output stage. It accurately tracks extremely small change in magnetic flux density –generally too small to operate Hall effect switch.

W201 can be applied as current sensor, tooth sensor, proximity detectors and motion detectors. As sensitive monitor of magnetic flux, it can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically noisy environments.

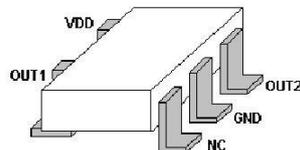


Winson reserves the right to make changes to improve reliability or manufacturability.

©Winson, 2009/5/19


ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Supply Voltage, V _{dd}	14V
Magnetic Flux Density, B	Unlimited
Output Driving Current, I _{out}	5mA
Operating Temperature Range	
T _a	-20°C to +100°C
Storage Temperature Range	
T _s	-65°C to +150°C
Power Dissipation P _d	
TO-94	450mW
SOT-25	350mW


ORDER INFORMATION

WSH201-XPAN	TO-94
WSH201-XPDN	SOT-25

Electrical Characteristics:
(T=+25°C, V_{dd}=5.0V)

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage	V _{cc}	—	2.2	—	12	V
Supply Current	I _{supply}	B=0 Guass	—	3.25	5.0	mA
Quiescent V _{out}	V _{out}	B=0 Guass	2.0	2.25	2.5	V
Sensitivity (Single Ended)	ΔV _{out}	B= 0 to ± 50 G	7.0	10.0	13.0	mV/G
Sensitivity (Differential)	ΔV _{out}	B= 0 to ± 50 G	15.0	20.0	25.0	mV/G
Bandwidth	BW		—	16	—	kHz
Measurable Range	MR		—	±100	—	Guass
Input Impedance	R _{in}	B=0 Guass	—	3.3	—	kΩ

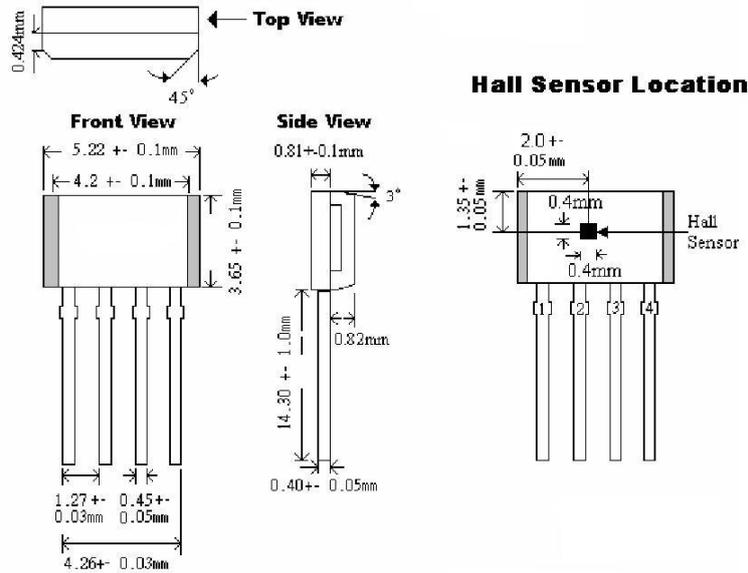
All output-voltage measurements are made with a voltmeter having an input impedance of at least 100kΩ

Winson reserves the right to make changes to improve reliability or manufacturability.

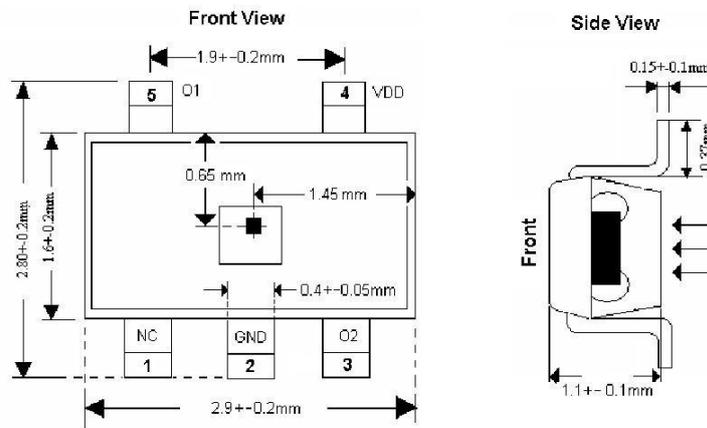
©Winson, 2009/5/19

Package Information:

TO94:



SOT-25:



Winson reserves the right to make changes to improve reliability or manufacturability.

©Winson, 2009/5/19



A1324, A1325, and A1326

Low Noise, Linear Hall Effect Sensor ICs with Analog Output

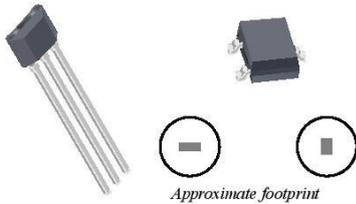
Features and Benefits

- Temperature-stable quiescent output voltage and sensitivity
- Output voltage proportional to magnetic flux density
- Low-noise output increases accuracy
- Precise recoverability after temperature cycling
- Ratiometric rail-to-rail output
- Wide ambient temperature range: -40°C to 150°C
- Immune to mechanical stress
- Solid-state reliability
- Enhanced EMC performance for stringent automotive applications

Packages

3-pin ultramini SIP
 $1.5\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 3\text{ mm}$
 (suffix UA)

3-pin SOT23-W
 $2\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 1\text{ mm}$
 (suffix LH)



Approximate footprint

Description

New applications for linear output Hall-effect devices, such as displacement, angular position, and current measurement, require high accuracy in conjunction with small package size. The Allegro® A1324, A1325, and A1326 linear Hall-effect sensor ICs are designed specifically to achieve both goals. This temperature-stable device is available in a miniature surface mount package (SOT23W) and an ultra-mini through-hole single in-line package.

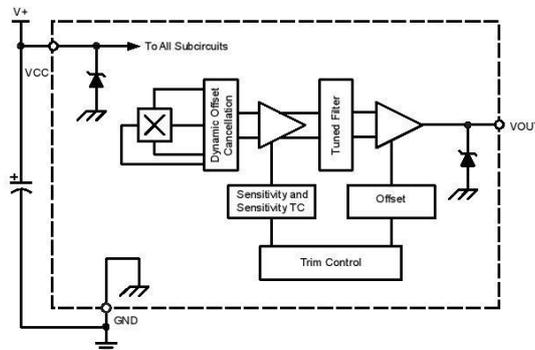
These ratiometric Hall effect sensor ICs provide a voltage output that is proportional to the applied magnetic field. They feature a quiescent voltage output of 50% of the supply voltage. The A1324/25/26 feature factory programmed sensitivities of 5.0 mV/G, 3.125 mV/G, and 2.5 mV/G, respectively.

The features of these linear devices make them ideal for use in automotive and industrial applications requiring high accuracy, and are guaranteed through an extended temperature range, -40°C to 150°C .

Each BiCMOS monolithic circuit integrates a Hall element, temperature-compensating circuitry to reduce the intrinsic sensitivity drift of the Hall element, a small-signal high-gain amplifier, a clamped low-impedance output stage, and a proprietary dynamic offset cancellation technique.

These devices are available in a 3-pin ultra-mini SIP package (UA), and a 3-pin surface mount SOT-23 style package (LH). Both are lead (Pb) free, with 100% matte tin leadframe plating.

Functional Block Diagram



A1324-DS, Rev. 1

A1324, A1325, and A1326

Linear Hall Effect Sensor ICs with Analog Output

Selection Guide

Part Number	Packing ¹	Package	Sensitivity (Typ.) (mV/G)
A1324LLHLX-T	10 000 pieces per reel	3-pin SOT-23W surface mount	5.000
A1324LUA-T ²	500 pieces per bag	3-pin ultramini SIP through hole mount	
A1325LLHLX-T	10 000 pieces per reel	3-pin SOT-23W surface mount	3.125
A1325LUA-T ²	500 pieces per bag	3-pin ultramini SIP through hole mount	
A1326LLHLX-T	10 000 pieces per reel	3-pin SOT-23W surface mount	2.500
A1326LUA-T ²	500 pieces per bag	3-pin ultramini SIP through hole mount	



¹Contact Allegro® for additional packing options.

²Contact factory for availability.

Absolute Maximum Ratings

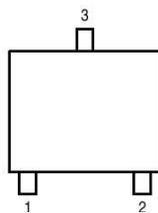
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Forward Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		-0.1	V
Forward Output Voltage	V_{OUT}		15	V
Reverse Output Voltage	V_{ROUT}		-0.1	V
Output Source Current	$I_{OUT(SOURCE)}$	VOUT to GND	2	mA
Output Sink Current	$I_{OUT(SINK)}$	VCC to VOUT	10	mA
Operating Ambient Temperature	T_A	L temperature range	-40 to 150	°C
Maximum Junction Temperature	$T_J(max)$		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-65 to 170	°C

Thermal Characteristics may require derating at maximum conditions, see application information

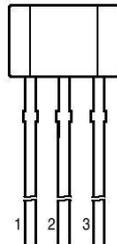
Characteristic	Symbol	Test Conditions*	Value	Unit
Package Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Package LH, on 4-layer PCB with copper limited to solder pads	228	°C/W
		Package LH, on 2-layer PCB with 0.463 in. ² of copper area each side, connected by thermal vias	110	°C/W
		Package UA, on 1-layer PCB with copper limited to solder pads	165	°C/W

*Additional thermal information available on the Allegro website

Pin-out Diagrams



LH Package



UA Package

Terminal List Table

Name	Number		Function
	LH	UA	
VCC	1	1	Input power supply; tie to GND with bypass capacitor
VOUT	2	3	Output signal; also used for programming
GND	3	2	Ground



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cut-off
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

2

**A1324, A1325,
and A1326**

Linear Hall Effect Sensor ICs with Analog Output

OPERATING CHARACTERISTICS Valid throughout T_A range, $C_{BYPASS} = 0.1 \mu F$, $V_{CC} = 5 V$; unless otherwise noted

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit ¹
Electrical Characteristics						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	No load on VOUT	–	6.9	9	mA
Power-On Time ²	t_{PO}	$T_A = 25^\circ C$, C_L (PROBE) = 10 pF	–	32	–	μs
Supply Zener Clamp Voltage	V_Z	$T_A = 25^\circ C$, $I_{CC} = 12 mA$	6	8.3	–	V
Internal Bandwidth	BW_i	Small signal, –3 dB	–	17	–	kHz
Chopping Frequency ³	f_C	$T_A = 25^\circ C$	–	400	–	kHz
Output Characteristics						
Quiescent Voltage Output	$V_{OUT(Q)}$	$B = 0 G$, $T_A = 25^\circ C$	2.425	2.500	2.575	V
Output Referred Noise	V_N	A1324, $T_A = 25^\circ C$, $C_{BYPASS} = 0.1 \mu F$	–	7.0	–	mV _(p-p)
		A1325, $T_A = 25^\circ C$, $C_{BYPASS} = 0.1 \mu F$	–	4.4	–	mV _(p-p)
		A1326, $T_A = 25^\circ C$, $C_{BYPASS} = 0.1 \mu F$	–	3.5	–	mV _(p-p)
Input Referred RMS Noise Density	V_{NRMS}	$T_A = 25^\circ C$, $C_{BYPASS} = \text{open}$, no load on VOUT, $f \ll BW_i$	–	1.3	–	mG/ \sqrt{Hz}
DC Output Resistance	R_{OUT}		–	< 1	–	Ω
Output Load Resistance	R_L	VOUT to VCC	4.7	–	–	k Ω
		VOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Output Load Capacitance	C_L	VOUT to GND	–	–	10	nF
Output Saturation Voltage	$V_{OUT(sat)HIGH}$	$R_{PULLDOWN} = 4.7 k\Omega$, $V_{CC} = 5 V$	4.7	–	–	V
	$V_{OUT(sat)LOW}$	$R_{PULLUP} = 4.7 k\Omega$, $V_{CC} = 5 V$	–	–	0.30	V
Magnetic Characteristics						
Sensitivity	Sens	A1324, $T_A = 25^\circ C$	4.750	5.000	5.250	mV/G
		A1325, $T_A = 25^\circ C$	2.969	3.125	3.281	mV/G
		A1326, $T_A = 25^\circ C$	2.375	2.500	2.625	mV/G
Sensitivity Temperature Coefficient	TC_{Sens}	LH package; programmed at $T_A = 150^\circ C$, calculated relative to Sens at $25^\circ C$	–	0	–	%/ $^\circ C$
		UA package; programmed at $T_A = 150^\circ C$, calculated relative to Sens at $25^\circ C$	–	0.03	–	%/ $^\circ C$
Error Components						
Sensitivity Drift at Maximum Ambient Operating Temperature	$\Delta Sens_{(T_{Amax})}$	LH package; from hot to room temperature	–5	–	5	%
		UA package; from hot to room temperature	–2.5	–	7.5	%
Sensitivity Drift at Minimum Ambient Operating Temperature	$\Delta Sens_{(T_{Amin})}$	LH package; from cold to room temperature	–3.5	–	8.5	%
		UA package; from cold to room temperature	–6	–	4	%

Continued on the next page...



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cut-off
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

3

**A1324, A1325,
and A1326**

Linear Hall Effect Sensor ICs with Analog Output

OPERATING CHARACTERISTICS (continued) Valid throughout T_A range, $C_{BYPASS} = 0.1 \mu F$, $V_{CC} = 5 V$; unless otherwise noted

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit ¹
Error Components (continued)						
Quiescent Voltage Output Drift Through Temperature Range	$\Delta V_{OUT(Q)}$	Defined in terms of magnetic flux density, B	-10	-	10	G
Linearity Sensitivity Error	Lin _{ERR}		-1.5	-	1.5	%
Symmetry Sensitivity Error	Sym _{ERR}		-1.5	-	1.5	%
Ratiometry Quiescent Voltage Output Error ⁴	Rat _{VOUT(Q)}	Throughout guaranteed supply voltage range (relative to $V_{CC} = 5 V$)	-1.3	-	1.3	%
Ratiometry Sensitivity Error ⁴	Rat _{Sens}	Throughout guaranteed supply voltage range (relative to $V_{CC} = 5 V$), $T_A = 25^\circ C$ and $150^\circ C$	-1.5	-	1.5	%
		Throughout guaranteed supply voltage range (relative to $V_{CC} = 5 V$), $T_A = -40^\circ C$	-2	-	2	%
Sensitivity Drift Due to Package Hysteresis	$\Delta Sens_{PKG}$	$T_A = 25^\circ C$, after temperature cycling	-	± 2	-	%

¹ 1 G (gauss) = 0.1 mT (millitesla).

² See Characteristic Definitions section.

³ $\%C$ varies up to approximately $\pm 20\%$ over the full operating ambient temperature range and process.

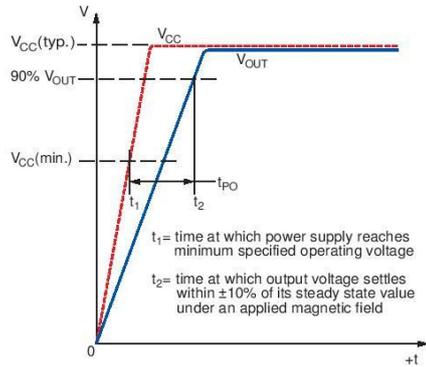
⁴ Percent change from actual value at $V_{CC} = 5 V$, for a given temperature.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cut-off
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

Characteristic Definitions

Power-On Time When the supply is ramped to its operating voltage, the device output requires a finite time to react to an input magnetic field. Power-On Time is defined as the time it takes for the output voltage to begin responding to an applied magnetic field after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC(min)}$.



Quiescent Voltage Output In the quiescent state (that is, with no significant magnetic field: $B = 0$), the output, $V_{OUT(Q)}$, equals a ratio of the supply voltage, V_{CC} , throughout the entire operating range of V_{CC} and the ambient temperature, T_A .

Quiescent Voltage Output Drift Through Temperature Range Due to internal component tolerances and thermal considerations, the quiescent voltage output, $V_{OUT(Q)}$, may drift from its nominal value through the operating ambient temperature range, T_A . For purposes of specification, the Quiescent Voltage Output Drift Through Temperature Range, $\Delta V_{OUT(Q)}$ (mV), is defined as:

$$\Delta V_{OUT(Q)} = V_{OUT(Q)TA} - V_{OUT(Q)25^\circ C} \quad (1)$$

Sensitivity The presence of a south-polarity magnetic field perpendicular to the branded surface of the package increases the output voltage from its quiescent value toward the supply voltage rail. The amount of the output voltage increase is proportional to the magnitude of the magnetic field applied. Conversely, the application of a north polarity field will decrease the output volt-

age from its quiescent value. This proportionality is specified as the magnetic sensitivity, Sens (mV/G), of the device and is defined as:

$$Sens = \frac{V_{OUT(B+)} - V_{OUT(B-)}}{B(+)-B(-)} \quad (2)$$

where $B(+)$ and $B(-)$ are two magnetic fields with opposite polarities.

Sensitivity Temperature Coefficient The device sensitivity changes with temperature, with respect to its sensitivity temperature coefficient, TC_{SENS} . TC_{SENS} is programmed at $150^\circ C$, and calculated relative to the nominal sensitivity programming temperature of $25^\circ C$. TC_{SENS} (%/ $^\circ C$) is defined as:

$$TC_{SENS} = \left(\frac{Sens_{T2} - Sens_{T1}}{Sens_{T1}} \times 100\% \right) \left(\frac{1}{T2 - T1} \right) \quad (3)$$

where $T1$ is the nominal Sens programming temperature of $25^\circ C$, and $T2$ is the TC_{SENS} programming temperature of $150^\circ C$.

The ideal value of sensitivity through the temperature range, $Sens_{IDEAL(TA)}$, is defined as:

$$Sens_{IDEAL(TA)} = Sens_{T1} \times (100\% + TC_{SENS}(TA - T1)) \quad (4)$$

Sensitivity Drift Through Temperature Range Second order sensitivity temperature coefficient effects cause the magnetic sensitivity to drift from its ideal value through the operating ambient temperature, T_A . For purposes of specification, the sensitivity drift through temperature range, $\Delta Sens_{TC}$, is defined as:

$$\Delta Sens_{TC} = \frac{Sens_{TA} - Sens_{IDEAL(TA)}}{Sens_{IDEAL(TA)}} \times 100\% \quad (5)$$

Sensitivity Drift Due to Package Hysteresis Package stress and relaxation can cause the device sensitivity at $T_A = 25^\circ C$ to change during or after temperature cycling. This change in sensitivity follows a hysteresis curve.

For purposes of specification, the Sensitivity Drift Due to Package Hysteresis, $\Delta Sens_{PKG}$, is defined as:

$$\Delta Sens_{PKG} = \frac{Sens_{(25^\circ C)2} - Sens_{(25^\circ C)1}}{Sens_{(25^\circ C)1}} \times 100\% \quad (6)$$

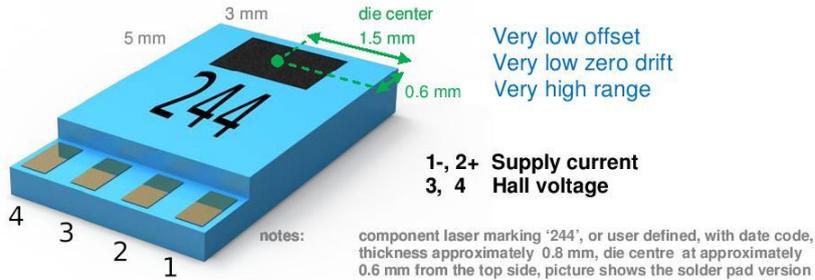
where $Sens_{(25^\circ C)1}$ is the programmed value of sensitivity at



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cut-off
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

HE244 series Analog Hall Sensor

moves you from the percent-range to the ppm-range



Features

- Ultra low zero drift
- Very low offset voltage
- Large range, easily over **5 Tesla**
- Pin-out as Infineon® KSY14, KSY44
- Very small linearity error
- Low TC of sensitivity and drift
- Low noise
- Low EMC pickup
- High sensitivity
- Very low Planar Hall Effect Error (PHE)
- Wide operating temperature range
- Very flat miniature package
- Low inductive zero component
- No breakdown in strong fields
- Linearity and TC do not depend on sensor current

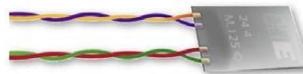
Typical applications

- Current and power measurement with high resolution
- Homogenous field measurement
- Magnetized and demagnetized cores
- Magnetic field measurement
- Rotation sensing
- Position sensing
- Measurement of distances
- Measurement of diaphragm
- 3D compass
- Movement sensing
- Measurement of pressure
- Control of motors
- NMR, MRI (nuclear spin)

The enclosure is pin-out compatible with the Infineon® KSY14 and KSY44 Hall sensors. These are "green" devices, RoHS, lead free, and compliant with Japanese demands.

Wired version

The HE244 is standard available in a version with fine twisted pair cables welded to the contacts. Due to the polyurethane isolation the maximum temperature is limited to 100 °C.



PTFE versions able to handle 150 °C can be delivered on demand (minimum order quantity of 100 pieces applies).

Pin	Function	Color
1	- supply current	Green
2	+ supply current	Red / Purple
3	hall voltage	Blue
4	hall voltage	Yellow / Gold

Copyright © [Hoeben Electronics](http://www.hoeben.com)

18-05-2012

Pin version

The HE244 can also be delivered with pins welded to the contacts. Pin-out and function compatible with the Siemens / Infineon KSY14 and KSY44. Temperature limit 150 °C (minimum order quantity applies).

High temperature version

The HE244 can be delivered in high temperature versions on special demand (minimum order quantities apply).

Order codes

Version	Order code	More information
Solder pads	HE244S	standard
Twisted pair	HE244T	standard, length is 20 cm
Pin version	HE244P	minimum order quantity of 5k pieces
High temperature	HE244(T)H	HE244(T) with extended temperature range, MOQ applies

Standard items (S, T) are delivered from stock, other items can be delivered on special demand, minimum order quantities (MOQ) and setup costs apply for non-stock items.

Electrical parameters

Absolute Maximum Ratings (limit values)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operating temperature range ¹	T_A	-40 to +150	°C
Operating temperature T-version PU coated	T_A	-40 to +100	°C
Operating temperature (T)H-version	T_A	contact us	
Storage temperature rate ¹	T_{stg}	-50 to +160	°C
Storage temperature T-version PU coated	T_{stg}	-50 to +100	°C
Storage temperature (T)H-version	T_{stg}	contact us	
Supply current ² , note: see Advised current	I_1	10	mA

Characteristics, ($T_A = 25\text{ °C}$), preliminary and subject to change

Thermal Conductivity in air	G_{thA}	≥ 1.5	mW/K
Thermal Conductivity soldered	G_{thC}	≥ 2.2	mW/K
Nominal Supply Current, note: see Advised current	I_{IN}	5	mA
Advised supply current (S/R optimal, range)	I_{IA}	0,1 to 3	mA
Open-circuit Sensitivity	K_{B0}	90..190	V/AT
Open-circuit Hall Voltage $I_1 = I_{IN}, B = 0.1\text{ T}$	V_{20}	45...95 typical 50	mV
Temperature coefficient of the open-circuit Hall voltage, $I_1 = I_{IN}, B = 0.2\text{ T}@25\text{ °C}$	TC_{V20}	0..- 0.03 typical -0.015	%/K
Ohmic Offset Voltage, $I_1 = 1\text{ mA}, B = 0\text{ T}$	V_{R0}	$\leq \pm 200$ typical $< \pm 100$	μV

Temperature coefficient of the Ohmic Offset Voltage, $I_1 = 1 \text{ mA}$, $B = 0 \text{ T}$	TC_{VR0}	± 10 typical $< \pm 2$	$\mu\text{T/K}$
			$\mu\text{V/K}$
Maximum change of the Ohmic Offset Voltage within the temperature range	$ \Delta V_{R0} $	typical $< \pm 0,25$ typical 50 to 100	μV
Drift of Ohmic Offset Voltage 0.1 to 1.0 sec. after power up, $I_1 = I_{1N}$, $B = 0 \text{ T}$	dV_0	-	mV
Drift of Ohmic Offset Voltage from 1.0 sec to 3 min. after power up, $I_1 = I_{1N}$, $B = 0 \text{ T}$	ΔV_0	-	mV
Supply side internal resistance, $B = 0 \text{ T}$	R_{10}	450...650 typical 500	Ω
Temperature coefficient of the Supply side internal resistance, $B = 0 \text{ T}$	TC_{R10}	typical 0.35	%/K
Hall side internal resistance, $B = 0 \text{ T}$	R_{20}	450...850 typical 500	Ω
Temperature coefficient of the Hall side internal resistance, $B = 0 \text{ T}$	TC_{R20}	typical 0.35	%/K
Linearity of Hall voltage $B = 0...0.5 \text{ T}$, $I_1 = 1 \text{ mA}$	$\Delta V_{20-0.5}$ (or $F_{L-0.5}$)	$\leq \pm 0.2$ typical $\leq \pm 0.1$	%
Linearity of Hall voltage $B = 0...1.0 \text{ T}$, $I_1 = 1 \text{ mA}$	ΔV_{20-1} (or F_{L-1})	$\leq \pm 0.2$ typical $\leq \pm 0.1$	%
Linearity of Hall voltage $B = 0...2.4 \text{ T}$, $I_1 = 1 \text{ mA}$	ΔV_{20-2} (or F_{L-2})	limit not specified typical $\leq \pm 0.2$	%
Bandwidth (-3dB point)	B	not specified yet, guaranteed 100 kHz, typical much more, into several MHz	kHz
Rise time (to $<> \%$)		not specified yet	
Noise figure ⁱⁱⁱ	F	≤ 10	dB

ⁱ In fact capable of a much lower temperatures, contact us for more information

ⁱⁱ Allowed and advised to be much smaller

ⁱⁱⁱ At advised current, contact us for advise

All data is subject to change without prior notice, future versions may be improved

Manufacturer

The Netherlands
Tel: +31 65 159 0081
Fax: +31 84 741 3475
Email: info@hoeben.com
www.hoeben.com

Distributor

Germany
Tel: +49 7243 71578 10
Fax: +49 7243 71578 55
Email: info@clevertrade.biz
www.clevertrade.biz

Surface plating

Standard RoHS Gold plating is used. Gold plating ensures good shelf lives, and prevents tin whiskers. Other plating possibilities, possible on demand but minimum order quantities apply:

- RoHS gold plated is the standard plating
- RoHS matte tin, electrochemical plated
- RoHS tin dipped, tin-silver-copper, giving a thick plating layer
- Leaded (non-RoHS), electro-chemical plated
- Leaded (non-RoHS), dipped, giving a thick plating layer

SMD version

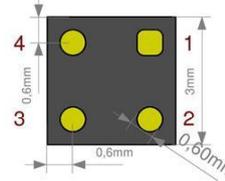
Top view



The Hall sensors are also available in a small BGA-like (ball-less) package. The thickness of the component is approximately 0.6 mm. Thickness can be adjusted to customer requirements, down to 0.4 mm. Thermal data (see below) does not apply here. Use BGA soldering methods.

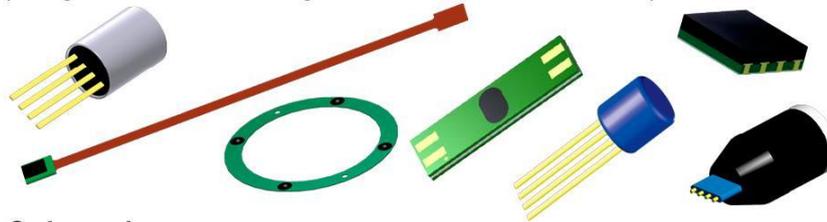
The pads are gold plated. The parts are RoHS. Use normal soldering methods. Pin1 is the - supply current, pin 2 is the + supply current, pin 3 and 4 are the Hall outputs.

Bottom view



Other packages and sensors

We can create any package you want, we can design and create packages, also specials and ceramics, even with 0.4 mm thickness. And we can use other chips (dice) in our non-magnetic packages, like GMR or AMR magnetoresistive sensors, or include temperature sensors.



Order codes

Version	Order code	More information
Pin	HE144P	standard, cross to Siemens / Infineon KSY14 and K44
SMD	HE144S	BGA-like, ball-less, minimum order quantity of 1k applies
Pin	HE10	cross to Siemens / Infineon KSY10, minimum order quantity of 20k pieces applies

Standard items are delivered from stock.



Electrical parameters
Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operating temperature range ^I	T_A	-40 to +175	°C
Storage temperature rate ^I	T_{stg}	-50 to +180	°C
Supply current ^{II} , note: see Advised current	I_I	10	mA

Characteristics, preliminary ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Thermal Conductivity in air	G_{thA}	≥ 1.5 typical 1.8	mW/K	
Thermal Conductivity soldered	G_{thC}	≥ 2.2 typical 3.4	mW/K	
Nominal Supply Current, note: see Advised current	I_{IN}	5	mA	
Advised supply current (S/R optimal, range)	I_{IA}	0 to 1	mA	
Open-circuit Sensitivity ^{III}	K_{B0}	180..370	V/AT	
Open-circuit Hall Voltage ^{IV} $I_I = I_{IN}, B = 0.1\text{ T}$	V_{20}	90...185 typical 100	mV	
Temperature coefficient of the open-circuit Hall voltage, $I_I = I_{IN}, B = 0.2\text{ T}@25^\circ\text{C}$	TC_{V20}	± 0.02 typical -0.003	%/K	
Ohmic Offset Voltage ^V , $I_I = I_{IN}, B = 0\text{ T}$ Note: temporary spec, to be changed to typical $\leq \pm 5\text{ mV}$ in later versions	V_{R0}	$\leq \pm 60$ typical 50 mV	mV	
Temperature coefficient of the Ohmic Offset Voltage, $I_I = I_{IN}, B = 0\text{ T}$	TC_{VR0}	± 0.2 typical $\sim -0.06@25^\circ\text{C}$	%/K	
Maximum change of the Ohmic Offset Voltage within the temperature range	$ \Delta V_{R0} $	± 2 typical $\pm 0.3@0-50^\circ\text{C}$	mV	
Drift of Ohmic Offset Voltage, $I_I = I_{IN}, B = 0\text{ T}$	0.1 to 1.0 sec. after power up	dV_0	not specified	
	1.0 sec to 3 min. after power up	ΔV_0	not specified	
Supply side internal resistance ^{VI} , $B = 0\text{ T}$	R_{I0}	900...1250 typical 1000	Ω	
Temperature coefficient of the Supply side internal resistance, $B = 0\text{ T}$	TC_{RI0}	typical 0.35	%/K	
Hall side internal resistance ^{VII} , $B = 0\text{ T}$	R_{20}	900...1700 typical 1000	Ω	
Temperature coefficient of the Hall side internal resistance, $B = 0\text{ T}$	TC_{R20}	typical 0.35	%/K	
Linearity of Hall voltage	$B = 0...0.5\text{ T}$	$\Delta V_{20-0.5}$ (or $F_{L-0.5}$)	$< \pm 0.2$ typical $\leq \pm 0.1$	%
	$B = 0...1.0\text{ T}$	ΔV_{20-1} (or F_{L-1})	$\leq \pm 0.2$ typical $\leq \pm 0.1$	%
	$B = 0...2.4\text{ T}$, $I_I = 1\text{ mA}$	ΔV_{20-2} (or F_{L-2})	limit not specified typical $\leq \pm 0.2$	%
Bandwidth (-3dB point)	B	tested up to 100 kHz, range several MHz	kHz	
Rise time		not specified yet		
Noise figure ^{VIII}	F	≤ 10	dB	

^I In fact capable of a much larger temperature range, contact us for more information

-
- ii Allowed and advised to be smaller than 5 mA, leads to better noise behaviour and less drift
 - iii Data subject to change
 - iv Data subject to change
 - v Will be improved in later parts, first series are typical 10 mV@1mA, but with very low temperature drift
 - vi Tracking devices follow delivered values typically within ± 30 milliOhm
 - vii Tracking devices follow delivered values typically within ± 30 milliOhm
 - viii At advised current, contact us for advise

All data is subject to change without prior notice, future versions may be improved

**Manufacturer**

The Netherlands
Tel: +31 65 159 0081
Fax: +31 84 741 3475
Email: info@hoeben.com
www.hoeben.com

**Distributor**

Germany
Tel: +49 7243 71578 10
Fax: +49 7243 71578 55
Email: info@clevertrade.biz
www.clevertrade.biz



Tekscan, Inc. 307 West First Street, South Boston, MA 02127
Tel: 617.464.4500/800.248.3669 fax: 617.464.4266
Email: marketing@tekscan.com web: www.tekscan.com

Table of Contents

INTRODUCTION	3
CIRCUITS	3
SINGLE-SOURCE VOLTAGE DIVIDER FOLLOWER CIRCUIT	3
Overview.....	3
Description	4
Performance	4
DUAL-SOURCE INVERTING AMPLIFIER CIRCUIT	5
Overview.....	5
Description	5
Performance	6
TRIPLE-SOURCE INVERTING AMPLIFIER CIRCUIT (RECOMMENDED CIRCUIT)	7
Overview.....	7
Description	7
Performance	8
INVERTING SUMMING CIRCUIT.....	9
Overview.....	9
Description	9
Application Diagram	10
Performance	10
FORCE THRESHOLD SWITCH.....	11
Overview.....	11
Description	11
Performance	12
FORCE THRESHOLD RELAY SWITCH	13
Overview.....	13
Description	13
OP-AMPS, BATTERY-POWERED SOURCES, AND AC VS. DC VOLTAGES	14
OP-AMP SELECTION	14
BATTERY POWER SOURCES	15
AC VERSUS DC DRIVE VOLTAGE (V_T)	16
GENERAL A201/CUSTOM SENSOR SPECIFICATIONS AND CHARACTERISTICS.....	17

INTRODUCTION

The purpose of this document is to describe a few basic circuits for integration with standard *FlexiForce*® A201 or custom sensors. These circuit schematics and descriptions allow the user to obtain an analog voltage output with respect to force applied to the sensor. This voltage can then be input to the Analog-to-Digital converter of a Data Acquisition System or custom electronics application. Without the use of a drive circuit, the sensor outputs a non-linear resistance that decreases with respect to applied force. The relationship of conductance, or inverse resistance, with respect to force is linear.

The first three drive circuits provide a relatively linear output voltage versus input force relationship. Our recommended circuit, the [Triple-Source Inverting Amplifier](#) circuit provides the most linear output and should be used whenever there are 3 power sources available. The [Dual-Source Inverting Amplifier](#) circuit is a variation of the recommended circuit and is best used when only two power sources are available. The [Single-Source Voltage Divider Follower](#) circuit is best used for electronics integration with only one available source or for a user that wants the simplest force to voltage conversion available and is not primarily concerned with linearity.

The remaining three circuits are designed with specific applications in mind. These are also basic circuits and should be improved upon before integration with a complete system. The [Inverting Summing](#) circuit provides a single output from multiple sensors. This is useful when multiple sensors are required to support a load, but only the total force measured is of interest. The [Force Threshold Switch](#) and [Force Threshold Relay Switch](#) circuits are variable switching circuits useful for any application where a certain amount of force applied is needed to switch on or off a device. The Force Threshold Relay circuit is used in applications where the load device requires higher current.

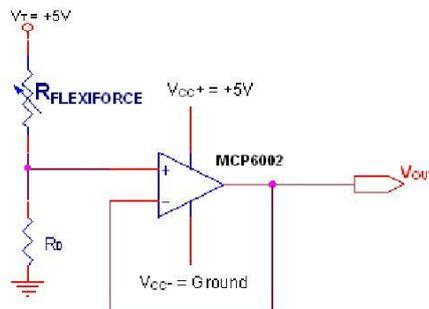
The final sections of this document discuss choosing [op-amps](#), using [battery-powered sources](#), the benefits of driving the sensor with [AC versus DC voltages](#), and [general sensor specifications](#).

CIRCUITS

SINGLE-SOURCE VOLTAGE DIVIDER FOLLOWER CIRCUIT

Overview

This design will allow you to convert the *FlexiForce* sensor's analog resistance output to a 0-5 volt DC output that increases as increasing force is applied. The Voltage Divider Follower circuit is only recommended for integration with electronics where only one power source is available. It does not provide a linear voltage output with respect to force applied.



Description

This circuit can be driven from a wall brick AC adaptor rated at 5VDC – 9VDC commonly used to power most of today's electronics. The power supply output current can be rated at as little as 100mA and the circuit consumes less than 10mA. Using batteries is not recommended unless a voltage regulator is connected (see [Battery Power Sources](#)).

The transfer function of the circuit is the ratio of the fixed resistance to the *FlexiForce* resistance,

$$V_{OUT} = (R_D / (R_D + R_{FLEXIFORCE})) * V_T$$

When the *FlexiForce* sensor is unloaded, its effective resistance is in the MΩ range and the output is low.

$$V_{OUT} \approx (R_D / R_{FLEXIFORCE}) * V_T \quad | \quad R_{FLEXIFORCE} \gg R_D$$

As the force increases and the sensor's resistance decreases, the output voltage will increase. When the *FlexiForce* resistance equals the fixed resistance (R_D), $V_{OUT} = V_T / 2$.

Increase in force correlates to increase in output voltage. The output range of this circuit is $\sim 0V - V_T$.

Performance

Figure 1 - Divider Follower circuit with 100 lb. Sensor. Non-compliant, circular force actuator used with 0.045 sq. inch area. V_{α^+} (pin 8) is at 5V, V_{α^-} (pin 4) is to ground, and V_T is at +5V with varying R_D .

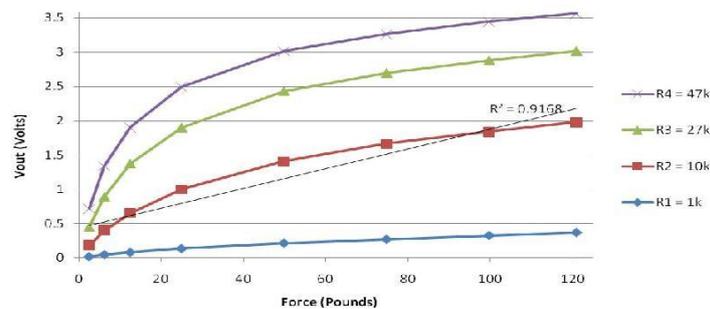
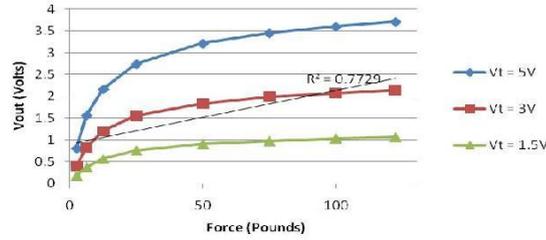


Figure 1 shows the relationship of the output voltage, V_{OUT} , versus the Force applied to the sensor with the drive voltage, V_T , fixed at +5 volts. As the value of R_D (represented by R1...R5) increases, the corresponding values of V_{OUT} also increase. By inspection of this graph it is seen that decreasing R_D will prevent saturation of the circuit output for a given force (increased force range). Conversely, applying a larger resistance will increase the slope of the V_{OUT} versus Force curve and therefore increase the sensitivity of the circuit (decreased force range). Below, Figure 2 shows the V_{OUT} versus Force relationship with a varying drive voltage, V_T , and fixed resistance. With our recommended circuit (see [Triple-Source Inverting Amplifier Circuit \(Recommended Circuit\)](#)), adjusting the drive voltage will have a similar effect to changing the resistance value, but with this circuit adjusting the drive voltage will not have a large effect on the sensitivity and force range. This is because the voltage at the op-amp rail changes as the drive voltage is adjusted due to the use of a single power source (op-amp rail limits maximum circuit output).

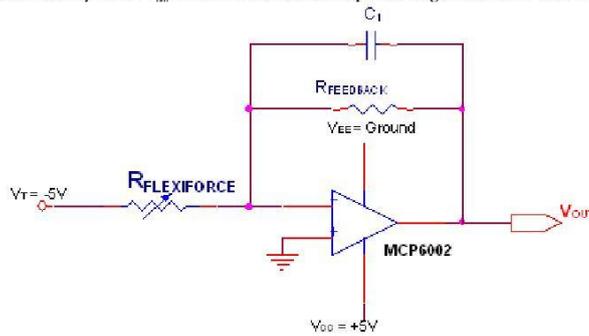
Figure 2 - Divider Follower circuit with 100 lb. Sensor. Non-compliant, circular force actuator used with 0.045 sq. inch area. V_{oc}^- (pin 4) is to ground and R_s is fixed at 100k Ω . V_{oc}^+ (pin 8) is set to 5V with voltage regulator (see [Battery Power Sources](#)) used to step down voltage for V_i input (3V and 1.5V).



DUAL-SOURCE INVERTING AMPLIFIER CIRCUIT

Overview

This circuit is recommended for testing and electronics system integration when more quantitative data output is required from the *FlexForce* sensor than the Voltage Divider Follower circuit provides, but only two power sources are available. It provides a relatively linear V_{out} versus Force relationship that ranges from a 0V to $\pm 5V$ output.



Description

This design requires a dual output power supply in the range of $\pm 5V$. Using batteries is not recommended unless a voltage regulator is connected (see [Battery Power Sources](#)).

The test voltage, V_i must be negative for this circuit. The negative V_i will result in a positive 0-5V output signal that can then be converted by an Analog to Digital Converter (ADC) and the binary values transferred to a test program.

The transfer function of this circuit is

$$V_{OUT} = - (R_{FEEDBACK} / R_{FLEXIFORCE}) * V_T$$

It is recommended that the capacitor (C), on the range of 47 to 270pF, be connected in parallel with R_{FEEDBACK} due to the associative capacitance of the *FlexiForce* sensor. There will be substantial oscillation in the circuit output if it is omitted.

Performance

Figure 3 - Dual Source Inverting circuit with 100 lb. Sensor. Non-compliant, circular force actuator used with 0.045 sq. inch area. V_{cc} (pin 4) is at 5V, V_{ss} (pin 11) is to ground, and V_i is at -5V with varying R_{FEEDBACK}

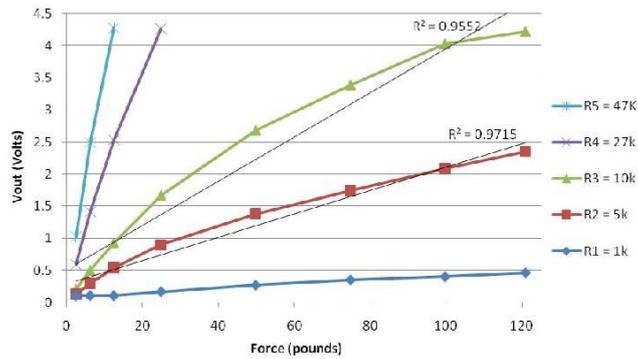
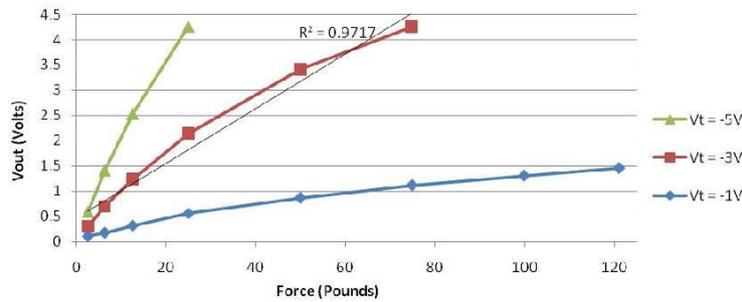


Figure 3 shows the relationship of the output voltage, V_{OUT} , versus the Force applied to the sensor with the drive voltage, V_i , fixed at -5 volts. As the value of R_{FEEDBACK} (represented by R1...R5) increases, the corresponding values of V_{OUT} also increase. Below, Figure 4 shows the V_{OUT} versus Force relationship with a varying drive voltage and fixed resistance. By inspection of these graphs it is seen that decreasing R_{FEEDBACK} and/or the drive voltage V_i will prevent saturation of the circuit output for a given force (increased force range). Conversely, applying a larger drive voltage and/or resistor will increase the slope of the V_{OUT} versus Force curve and therefore increase the sensitivity of the circuit (decreased force range).

Figure 4 - Dual Source Inverting circuit with 100 lb. Sensor. Non-compliant, circular force actuator used with 0.045 sq. inch area. V_{cc} (pin 4) is at 5V, V_{ss} (pin 11) is to ground, and R_{FEEDBACK} is fixed at 10k Ω with varying drive voltage (V_i).



-CEA-13-24UZ-120

CEA-13-240UZ-120 Gage Type
120.0 ±0.3% Resistance in ohms at 24°C
2.120±0.5% Gage Factor at 24°C
(+0.6 ±0.2)% K _t at 24°C
Option
R-A55AF02 Lot Number
053919 Code



Micro-Measurements
Division

**MEASUREMENTS
GROUP, INC.**

P.O. Box 27777
Raleigh, North Carolina 27611
(919) 365-3800

**GENERAL INFORMATION
SERIES CEA STRAIN GAGES**

GENERAL DESCRIPTION: CEA-Series Student Gages are in a general-purpose family of constantan alloy strain gages widely used in experimental stress analysis. Extremely thin and flexible (0.0022 in (0.056 mm)), CEA-Series gages feature polyimide-encapsulated grids and exposed copper-coated integral solder tabs to which leadwires may be soldered directly. See Tech-Note TN-505 for assistance in gage selection.

TEMPERATURE RANGE: Normal use temperature range for static strain measurement is -100° to +350° F (-75° to +175°C). For special or short-term exposure, an expanded range of -320° to +400° F (-195° to +205°C) may be used.

STRAIN LIMITS: Approximately 5% for 0.240 in (6 mm) gage length and approximately 3% for 0.120 in (3 mm) and 0.060 in (1.5 mm) gage lengths for single cycle use. See Tech Tip TT-605 for high elongation measurements.

FATIGUE LIFE: Dependent on gage length and method of cycling; 10⁸ cycles at ±1200µε, 10⁶ cycles at ±1500µε. Derate 10% for nonzero mean strains of same absolute (peak-to-peak) values. See Tech Note TN-508 for additional data.

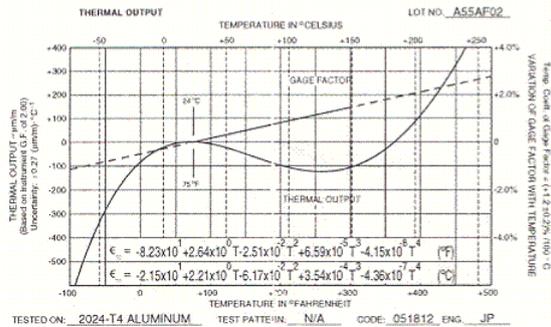
CEMENTS: M-Bond 200 is an excellent, general purpose adhesive for those learning to bond strain gages (see Instruction Bulletin B-127). M-Bond AE-10 may be used when a wider range of bonding properties is needed (see Instruction Bulletin B-137). Refer to Instruction Bulletin B-129 for proper surface preparation, and to Catalog A-110 for other bonding agents.

SOLDER: M-Line solder type 361 is recommended for leadwire attachment when operating temperatures do not exceed +300°F (+150°C). See Catalog A-110 for higher temperature solders.

PROTECTIVE COATINGS: Because they have fully encapsulated grids, CEA-Series Student Gages require no further protection under most laboratory conditions. When further protection is required, refer to Catalog A-110 for M-Coat protective coatings information.

NOTE: The backing of Student Gages has been specifically treated for optimum bond formation with all appropriate gage adhesives. No further cleaning is necessary if contamination of the prepared surface is avoided during handling. Should contamination occur, clean with a cotton swab slightly moistened with a low residue solvent such as isopropyl alcohol. Allow the gage to dry for several minutes before bonding.

SELF-TEMPERATURE COMPENSATION: These gages have been manufactured with self-temperature compensation (STC) characteristics to minimize thermal output (see Tech Note TN-504). Thermal output data given below are valid only for the indicated test material, since thermal output is a function of the thermal expansion properties of the test specimen.



-Dispositivo inalámbrico Amtel:

ZigBit™ 2.4 GHz Wireless Modules

ATZB-24-A2/B0

Datasheet



8226B-MCU Wireless-06/09



Table of Contents

Section 1

1.1	Summary.....	1-1
1.2	Applications.....	1-1
1.3	Key Features.....	1-2
1.4	Benefits.....	1-2
1.5	Abbreviations and Acronyms.....	1-2
1.6	Related Documents.....	1-4

Section 2

2.1	Overview.....	2-5
-----	---------------	-----

Section 3

3.1	Electrical Characteristics.....	3-7
3.1.1	Absolute Maximum Ratings.....	3-7
3.1.2	Test Conditions.....	3-7
3.1.3	RF Characteristics.....	3-8
3.1.4	ATmega1281V Microcontroller Characteristics.....	3-8
3.1.5	Module Interfaces characteristics.....	3-8
3.2	Physical/Environmental Characteristics and Outline.....	3-9
3.3	Pin Configuration.....	3-10
3.4	Mounting Information.....	3-14
3.5	Sample Antenna Reference Designs.....	3-15
3.5.1	General recommendations.....	3-16
3.6	Antenna specifications.....	3-17
3.6.1	ATZB-24-B0.....	3-17
3.6.2	ATZB-24-A2.....	3-19

Section 4

4.1	UNITED STATES (FCC).....	4-21
4.2	CANADA (IC).....	4-22
4.3	EUROPEAN UNION (ETSI).....	4-23
4.4	Approved Antenna List.....	4-23

Section 5

5.1	Ordering Information.....	5-24
-----	---------------------------	------

1.3 Key Features

- Ultra compact size (24 x 13.5 x 2.0 mm for ATZB-24-A2 module and 18.8 x 13.5 x 2.0 mm for ATZB-24-B0 module)
- Innovative (patent-pending) balanced dual chip antenna design with antenna gain of approximately 0 dBi (for ATZB-24-A2 version)
- High RX sensitivity (-101 dBm)
- Outperforming link budget (104 dB)
- Up to 3 dBm output power
- Very low power consumption:
 - < 6 μ A in Sleep mode,
 - 19 mA in RX mode,
 - 18 mA in TX mode
- Ample memory resources (128K bytes of flash memory, 8K bytes RAM, 4K bytes EEPROM)
- Wide range of interfaces (both analog and digital):
 - 9 spare GPIO, 2 spare IRQ lines
 - 4 ADC lines + 1 line for supply voltage control (up to 9 lines with JTAG disabled)
 - UART with CTS/RTS control
 - USART
 - I²C
 - SPI
 - 1-Wire
 - Up to 30 lines configurable as GPIO
 - Capability to write own MAC address into the EEPROM
 - Optional antenna reference designs
 - IEEE 802.15.4 compliant transceiver
 - 2.4 GHz ISM band
 - BitCloud embedded software, including serial bootloader and AT command set

1.4 Benefits

- Small physical footprint and low profile for optimum fit in even the smallest of devices
- Best-in-class RF link range
- Extended battery life
- Easy prototyping with 2-layer PCB
- Ample memory for user software application
- Mesh networking capability
- Easy-to-use low cost Evaluation Kit
- Single source of support for HW and SW
- Worldwide license-free operation

1.5 Abbreviations and Acronyms

ADC	Analog-to-Digital Converter
API	Application Programming Interface
DC	Direct Current



Section 2

Zigbit™ Module Overview

2.1 Overview

ZigBit is a low-power, high-sensitivity IEEE 802.15.4/ ZigBee-compliant OEM module. This multi-functional device occupies less than a square inch of space, which is comparable to a typical size of a single chip. Based on a solid combination of Atmel's latest MCU Wireless hardware platform [1], the ZigBit offers superior radio performance, ultra-low power consumption, and exceptional ease of integration.

Figure 2-1. ATZB-24-B0 Block Diagram

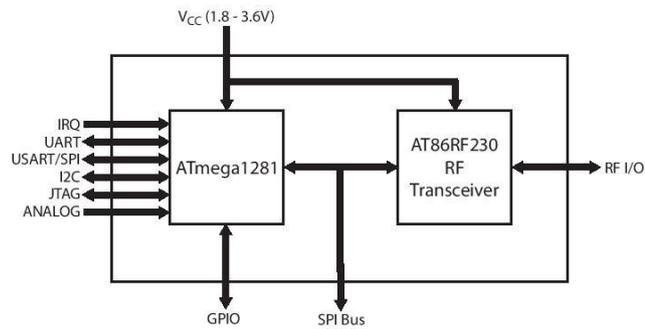
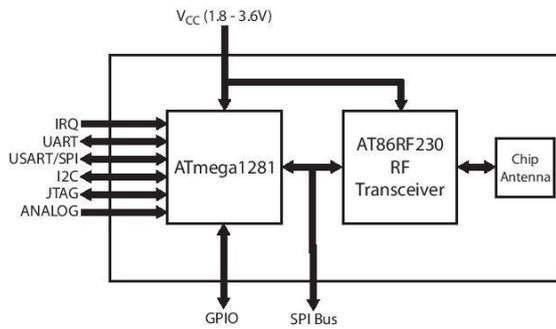


Figure 2-2. ATZB-24-A2 Block Diagram



Zigbit™ Module Overview

ZigBit modules comply with the FCC (Part 15), IC and ETSI (CE) rules applicable to the devices radiating in uncontrolled environment. For details, see “Agency Certifications” on page 4-21.

ZigBit fully satisfies the requirements of the “Directive 2002/95/EC of the European Parliament and the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment” (RoHS). Atmel provides fully compliant product in all regions where the directive is enforced since July 1, 2006.

ZigBit contains Atmel’s ATmega1281V Microcontroller [1] and AT86RF230 RF Transceiver [2]. The module features 128 Kbytes flash memory and 8 Kbytes RAM.

The ZigBit already contains a complete RF/MCU-related design with all the necessary passive components included. The module can be easily mounted on a simple 2-layer PCB. Compared to a custom RF/MCU design, a module-based solution offers considerable savings in development time and NRE cost per unit during the design, prototyping, and mass production phases of product development.

Innovative (patent-pending) dual chip antenna design in ATZB-24-A2 module eliminates the balun and achieves good performance over 2.4 GHz frequency band.

To jumpstart evaluation and development, Atmel also offers a complete set of evaluation and development tools. The ZigBit Development Kit [6] (ATZB-DK-24) comes with everything you need to create custom applications featuring ZigBit module.

The kit features MeshBean development boards with an easy-to-access extension connector for attaching third party sensors and other peripherals, and a JTAG connector for easy application uploading and debugging.

The kit also includes reference applications to speed up application development, source code for hardware interface layer and reference drivers for the all the module interfaces, intuitive development environment from Atmel, and comprehensive set of application notes and product documentation.

ZigBit modules comes bundled with BitCloud, a 2nd generation embedded software stack from Atmel. BitCloud is fully compliant with ZigBee PRO and ZigBee standards for wireless sensing and control [3], [4], [5] and it provides an augmented set of APIs which, while maintaining 100% compliance with the standard, offer extended functionality designed with developer’s convenience and ease-of-use in mind.

Depending on end-user design requirements, ZigBit can operate as a self-contained sensor node, where it would function as a single MCU, or it can be paired with a host processor driving the module over a serial interface. In the former case, a user application may be used with the BitCloud software allowing customization of embedded applications through BitCloud’s C API.

In the latter case, the host processor controls data transmission and manages module peripherals via an extensive set of SerialNet AT commands. Thus, no firmware customization is required for a successful module design-in. Additionally, third-party sensors can be connected directly to the module, thus expanding the existing set of peripheral interfaces.



Section 3

Specifications

3.1 Electrical Characteristics

3.1.1 Absolute Maximum Ratings

Table 3-1. Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾⁽²⁾

Parameters	Min	Max
Voltage on any pin, except RESET with respect to Ground	-0.5V	VCC + 0.5V
DC Current per I/O Pin		40 mA
DC Current DVCC and DGND pins		200 mA
Input RF Level		+10 dBm

Notes: 1. **Absolute Maximum Ratings** are the values beyond which damage to the device may occur. Under no circumstances must the absolute maximum ratings given in this table be violated. Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device.

This is a stress rating only. Functional operation of the device at these or other conditions, beyond those indicated in the operational sections of this specification, is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

2. **Attention!** ZigBit is an ESD-sensitive device. Precaution should be taken when handling the device in order to prevent permanent damage.

3.1.2 Test Conditions

Table 3-2. Test conditions (unless otherwise stated), V_{CC} = 3V, T_{amb} = 25°C

Parameters	Range	Unit
Supply Voltage, V _{CC}	1.8 to 3.6	V
Current Consumption: RX mode	19	mA
Current Consumption: TX mode ⁽¹⁾	18	mA
Current Consumption: Radio is turned off, MCU is active 50% of the time ⁽¹⁾	14	mA
Current Consumption: Power-save mode ⁽¹⁾	6	μA

Note: 1. The parameters are measured under the following conditions:
a) BitCloud Software is running at 4 MHz clock rate, DTR line management is turned off
b) All interfaces are set to the default state (see Pin Assignment Table)
c) Output TX power is 0 dBm
d) JTAG is not connected

Specifications

Current consumption actually depends on multiple factors, including but not limited to, the board design and materials, BitCloud settings, network activity, EEPROM read/write operations. It also depends on MCU load and/or peripherals used by an application.

3.1.3 RF Characteristics

Table 3-3. RF Characteristics

Parameters	Condition	Range	Unit
Frequency Band		2.4000 to 2.4835	GHz
Numbers of Channels		16	
Channel Spacing		5	MHz
Transmitter Output Power	Adjusted in 16 steps	-17 to +3	dBm
Receiver Sensitivity	PER = 1%		
On-Air Data Rate		250	kbps
TX Output/ RX Input Nominal Impedance	For balanced output	100	Ω

3.1.4 ATmega1281V Microcontroller Characteristics

Table 3-4. ATmega1281V Characteristics

Parameters	Condition	Range	Unit
On-chip Flash Memory size		128K	bytes
On-chip RAM size		8K	bytes
On-chip EEPROM size		4K	bytes
Operation Frequency		4	MHz

3.1.5 Module Interfaces characteristics

Table 3-5. Module Interfaces characteristics

Parameters	Condition	Range	Unit
UART Maximum Baud Rate		38.4	kbps
ADC Resolution/ Conversion Time	In single conversion mode	10/200	Bits/ μ s
ADC Input Resistance		>1	M Ω
ADC Reference Voltage (VREF)		1.0 to $V_{CC} - 3$	V
ADC Input Voltage		0 - VREF	V
I ² C Maximum Clock		222	kHz
GPIO Output Voltage (High/Low)	-10/ 5 mA	2.3/ 0.5	V
Real Time Oscillator Frequency		32.768	kHz

3.2 Physical/Environmental Characteristics and Outline

Parameters	Value	Comments
Size	18.8 x 13.5 x 2.0 mm	ATZB-24-B0
	24.0 x 13.5 x 2.0 mm	ATZB-24-A2
Weight	1.3g	ATZB-24-B0
	1.5g	ATZB-24-A2
Operating Temperature Range	-20°C to +70°C	-40°C to +85°C operational ⁽¹⁾
Operating Relative Humidity Range	no more than 80%	

Note: 1. Minor degradation of clock stability may occur.

Figure 3-1. ATZB-24-B0 Mechanical drawing

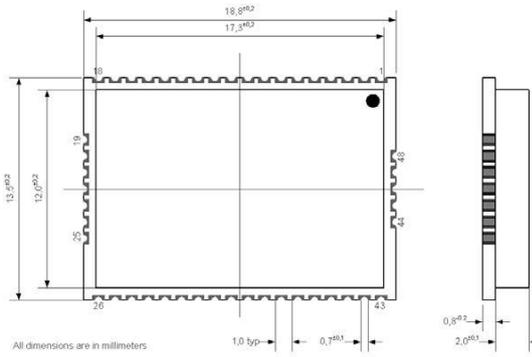
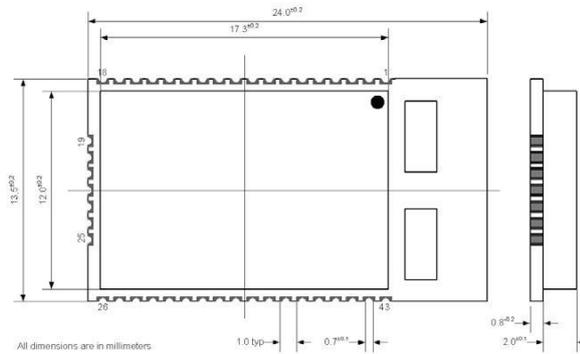


Figure 3-2. ATZB-24-A2 Mechanical drawing



3.3 Pin Configuration

Figure 3-3. ATZB-24-B0 Pinout

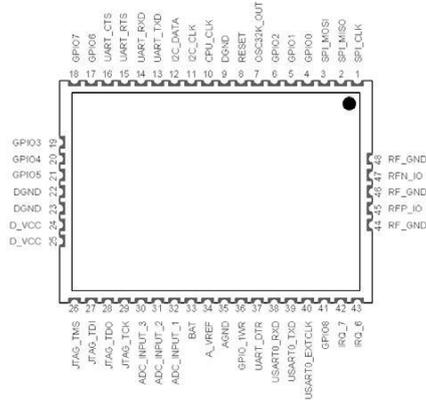
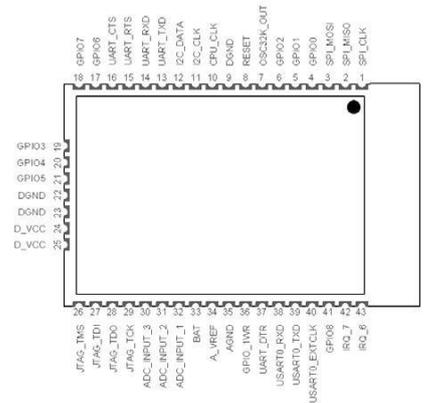


Figure 3-4. ATZB-24-A2 Pinout



-Software de Matlab

A continuación se expone el software utilizado para los dos sensores HALL, hecho en Matlab:

- Llamadas:

```
close all

%[x,p,ejexcal,ejeycal,ejexpol,ejeypol]=calibrador('sensor.xls',4,1000);

[ejexcal,ejeycal,ejexpol,ejeypol,ejexscale,ejeyscale,scale1,scale2,posicion]=recalibrador('sensor.xls',8,1000,0.583,3,0.143,NaN);

[P]=funcion('sensor.xls',ejexpol,ejeypol,ejexscale,ejeyscale,scale1,scale2,posicion,3);
%[distancia1,distancia2]=calculodistancia(ejexpol,ejeypol,ejexscale,ejeyscale,scale1,scale2,posicion,'!v1!,!v2!',3);
```

- Programa principal: Escalado

```
%y: nombre del fichero
%N: ordend del polinomio que simula la gráfica
%puntos: número de puntos de la aproximación
%maximo: valor de voltaje a una distancia cercana al sensor
%dmaximo: distancia del maximo
%minimo: valor de voltaje totalmente alejado del sensor
%dminimo: distancia del mínimo: de momento la ponemos a NaN porque no la
%definimos
%devuelve ejexcal ejeycal (los datos del eje x e y de calibración),
%ejexpol ejeypol (los datos del eje x e y de aproximación polinómica), y
%ejexscale ejeyscale (los datos del eje x e y de aproximación polinómica escalada)
%scale1: escalado en el mínimo entre sensor 2 y 1
%scale2: escalado en el máximo entre sensor 2 y 1
%posicion: dato para el escalado
function
[ejexcal,ejeycal,ejexpol,ejeypol,ejexscale,ejeyscale,scale1,scale2,
posicion] = calibrador(y,N,puntos,maximo,dmaximo,minimo,dminimo)
A=xlsread(y);
A=1/A.;
p=polyfit(A(:,1),A(:,2),N);
x=zeros(size(A,1),1);
for m=1:size(A,1)
    for n=1:N+1
        x(m)=x(m)+p(n)*A(m,1)^(N+1-n);
    end
end
temporal=x;
ejexcal=A(:,1);
ejeycal=A(:,2);
ejexpol=linspace(ejexcal(1),ejexcal(end),puntos);
ejeypol=interp1(ejexcal,temporal,ejexpol);
scale1=minimo/ejeypol(end);
for m=1:length(ejexpol)
    if dmaximo<=ejexpol(m)
```

```

•         posicion=m;
•         break;
•     end
• end
• scale2=maximo/ejeypol (posicion);
• for m=1:length (ejexpol)
•     x (m)=ejeypol (m) * (scale2* (length (ejexpol) -m) / (length (ejexpol) -
posicion)+scale1* (m-posicion) / (length (ejexpol) -posicion));
• end
•
•
• ejeyscale=ejeypol;
• ejeyscale=x;
• ejeycal=1./ (ejeycal);
• ejeypol=1./ (ejeypol);
• ejeyscale=1./ (ejeyscale);
• figure
• plot (ejexcal,ejeycal)
• hold on
• plot (ejexpol,ejeypol,'r')
• plot (ejexscale,ejeyscale,'g')
• legend ('datos calibración','aproximación polinómica','aproximacion
polinómica escalada')

```

- Programa principal: Calculo distancia

```

• %x1: eje x curva de calibración sensor 1
• %y1: eje y curva de calibración sensor 1
• %x2: eje x curva de calibración sensor 2
• %y2: eje y curva de calibración sensor 2
• %scale1: escalado en el mínimo entre sensor 2 y 1
• %scale2: escalado en el máximo entre sensor 2 y 1
• %posicion: dato para el escalado
• %maximo: de los dos sensores el que da mayor tensión en V
• %minimo: de los dos sensores el que da menor tensión en V
• %distancia: distancia entre los dos sensores en mm
• %wx1: distancia sensor 1
• %wx2: distancia sensor 2
• function [wx1,wx2] =
calculodistancia (x1,y1,x2,y2,scale1,scale2,posicion,maximo,minimo,distanci
a)
• %tomamos el máximo el del sensor 1
• for m=1:length (x2)
•     if y2 (m)<minimo
•         break;
•     end
• end
• minimo=minimo/ (scale2* (size (x1,2) -m) / (size (x1,2) -posicion)+scale1* (m-
posicion) / (size (x1,2) -posicion));
• for m=1:length (x1)
•     if y1 (m)<maximo
•         w1=m;
•         break;
•     end
• end
• for m=1:length (x1)
•     if x1 (m)>x1 (w1) +distancia
•         w2=m-1;

```

```

•         break;
•     end
• end
• %reduccion de interferencia
• scale1=y1(w1)/y1(w2);
• scale2=maximo/minimo;
• % caso en que interferencia positiva
• if scale1>scale2
•     while scale1>scale2
•         maximo=maximo-0.001;
•         minimo=minimo-0.001;
•         for m=1:length(x1)
•             if y1(m)<maximo
•                 w1=m;
•                 break;
•             end
•         end
•         for m=1:length(x1)
•             if x1(m)>x1(w1)+distancia
•                 w2=m-1;
•                 break;
•             end
•         end
•         scale1=y1(w1)/y1(w2);
•         scale2=maximo/minimo;
•     end
• end
• % caso de interferencia negativa
• if scale1<scale2
•     while scale1<scale2
•         maximo=maximo+0.001;
•         minimo=minimo+0.001;
•         for m=1:length(x1)
•             if y1(m)<maximo
•                 w1=m;
•                 break;
•             end
•         end
•         for m=1:length(x1)
•             if x1(m)>x1(w1)+distancia
•                 w2=m-1;
•                 break;
•             end
•         end
•         scale1=y1(w1)/y1(w2);
•         scale2=maximo/minimo;
•     end
• end
• wx1=x1(w1);
• wx2=x1(w2);

```

- Programa para la obtención del error cometido

```
function [P] =
funcion(uiui,ejexpol1,ejeypol1,ejexscale1,ejeyscale1,scale1
1,scale21,posicion1,dis)
• %FUNCION Summary of this function goes here
• % Detailed explanation goes here
• U=xlsread(uiui);
• Q=U(:,5);
• W=U(:,6);
• clear P
• for i=1:35
•     v1=Q(i);
•     v2=W(i);
•
•     [distancia1,distancia2]=calculodistancia(ejexpol1,ejeypo
l1,ejexscale1,ejeyscale1,scale11,scale21,posicion1,v1,v2
,dis);
•     P(i,1)=distancia1;
•     P(i,2)=distancia2;
•     i=i+1;
• end
• P
• xlswrite('sensor.xls',P,'H1:I34');
•
• end
•
•
```

5. Líneas de código del software de Visual c# Express para monitorización inalámbrica del coordinador Zigbit

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections;
using ZedGraph;
using System.Diagnostics;

namespace WindowsFormsApplication2
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Stopwatch stopWatch = new Stopwatch();
        public Form1()
        {
            CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;
            InitializeComponent();
            stopWatch.Reset();
            stopWatch.Start();
            timer1.Start();
            plot = false; // Inicio gráfica batería ID 1235
            plot2 = false; // Inicio gráfica batería ID 1234
            plot3 = false; //// Inicio gráfica batería ID 0000
            numpuntos = 0; // Contador de puntos ID 1235
            numpuntos2 = 0; // Contador de puntos ID 1234
            numpuntos3 = 0; // Contador de puntos ID 0000
            bateria = 0; //Valor de la batería x1000
            try
            {
                PuertoSerie.Open();
            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show("Error al abrir el puerto serie: " +
ex.Message);
            }
        }

        // Listas de almacenamiento de los datos recibidos
        ArrayList listabateria = new ArrayList();
        ArrayList puntosbateria = new ArrayList();
        ArrayList listabateria2 = new ArrayList();
        ArrayList puntosbateria2 = new ArrayList();
        ArrayList listabateria3 = new ArrayList();
        ArrayList puntosbateria3 = new ArrayList();
        internal static int
numdato,numpuntos,numpuntos2,numpuntos3,bateria,id,lastid;
        long millisec1, millisecant1, millisec2, millisecant2, millisec3,
millisecant3;
        bool plot,plot2,plot3;

        // buffer de datos
        byte[] buffer = new byte[52];

        // Interrupción por recepción de datos
```

```

private void PuertoSerie_DataReceived(object sender,
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    numdato = 16;
    // Se va cogiendo byte a byte hasta llegar al 0x10 (16) que es el
comienzo
    numdato = PuertoSerie.ReadByte();

    if (numdato == 16)
    {
        numdato = PuertoSerie.ReadByte();
        if (numdato == 2)
        {
            // Una vez encontrado el inicio se leen los 52 bytes
siguientes
            PuertoSerie.Read(buffer, 0, 52);
            // Cálculo ID en decimal
            id = buffer[11] + buffer[12] * 256;

            // Se añade a la lista correspondiente en función del ID
            if (id == 4660) // ID en decimal
            {
                // Cálculo valor de la batería
                bateria = buffer[24] + buffer[25] * 256;
                listabateria.Add(bateria);
                millisec1 = stopwatch.ElapsedMilliseconds;
                puntosbateria.Add(millisec1);
                plot = true;
                numpuntos++;
                label1.Text = millisec1.ToString();
                label2.Text = numpuntos.ToString();
            }
            if (id == 4661) // ID en decimal
            {
                // Cálculo valor de la batería
                bateria = buffer[24] + buffer[25] * 256;
                listabateria2.Add(bateria);
                millisec2 = stopwatch.ElapsedMilliseconds;
                puntosbateria2.Add(millisec2);
                // //puntosbateria2.Add(numpuntos2);
                plot2 = true;
                numpuntos2++;
                label3.Text = millisec2.ToString();
                label4.Text = numpuntos2.ToString();
            }
            if (id == 0) // ID en decimal
            {
                millisecant3 = stopwatch.ElapsedMilliseconds;
                if ((millisecant3 - millisec3) < 200)
                {
                    id = 4660;
                }
                millisec3 = stopwatch.ElapsedMilliseconds;
                numpuntos3++;
                label5.Text = millisec3.ToString();
                label7.Text = numpuntos3.ToString();
            }
        }
    }
}

//Función para refrescar los datos que se muestran en los gráficos

```

```

private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    // Se comprueba que ha habido recepción de datos en cada caso
    if (plot)
    {
        bateria1.GraphPane.CurveList.Clear();
        CreateGraph(bateria1, puntosbateria, listabateria, numpuntos);
        bateria1.Refresh();
        plot = false;
    }

    if (plot2)
    {
        bateria2.GraphPane.CurveList.Clear();
        CreateGraph2(bateria2, puntosbateria2, listabateria2,
numpuntos2);
        bateria2.Refresh();
        plot2 = false;
    }

    if (plot3)
    {
        bateria3.GraphPane.CurveList.Clear();
        CreateGraph3(bateria3, puntosbateria3, listabateria3,
numpuntos3);
        bateria3.Refresh();
        plot3 = false;
    }
}

// Funciones para generar los gráficos
private void CreateGraph(ZedGraphControl zgc, ArrayList perfilxintss,
ArrayList perfilyintss, int i)
{
    // get a reference to the GraphPane
    GraphPane myPane = zgc.GraphPane;

    // Set the Titles
    myPane.Title.Text = "Bateria ID 1235";
    myPane.XAxis.Title.Text = "puntos";
    myPane.YAxis.Title.Text = "V";
    myPane.Legend.IsVisible = false;

    //myPane.XAxis.Scale.Max =

    // Make up some data arrays based on the Sine function
    //double x1 = 0, y1, x2, y2;
    PointPairList list1 = new PointPairList();

    for (int j = 0; j < i; j++)
    {
        list1.Add(Convert.ToDouble(perfilxintss[j]),
Convert.ToDouble(perfilyintss[j]));
    }

    // Generate a red curve with diamond
    // symbols, and "Porsche" in the legend

    LineItem myCurve = myPane.AddCurve("Bateria ID 0000",
list1, Color.Blue, SymbolType.None);
}

```

```

        // Tell ZedGraph to refigure the
        // axes since the data have changed
        zgc.AxisChange();
    }

    private void CreateGraph2(ZedGraphControl zgc, ArrayList perfilxintss,
ArrayList perfilyintss, int i)
    {

        // get a reference to the GraphPane
        GraphPane myPane = zgc.GraphPane;

        // Set the Titles
        myPane.Title.Text = "Bateria ID 1234";
        myPane.XAxis.Title.Text = "puntos";
        myPane.YAxis.Title.Text = "V";
        myPane.Legend.IsVisible = false;

        //myPane.XAxis.Scale.Max =

        // Make up some data arrays based on the Sine function
        //double x1 = 0, y1, x2, y2;
        PointPairList list2 = new PointPairList();

        for (int j = 0; j < i; j++)
        {
            list2.Add(Convert.ToDouble(perfilxintss[j]),
Convert.ToDouble(perfilyintss[j]));
        }

        // Generate a red curve with diamond
        // symbols, and "Porsche" in the legend

        LineItem myCurve = myPane.AddCurve("Bateria",
list2, Color.Blue, SymbolType.None);

        // Tell ZedGraph to refigure the
        // axes since the data have changed
        zgc.AxisChange();
    }

    private void CreateGraph3(ZedGraphControl zgc, ArrayList perfilxintss,
ArrayList perfilyintss, int i)
    {

        // get a reference to the GraphPane
        GraphPane myPane = zgc.GraphPane;

        // Set the Titles
        myPane.Title.Text = "Bateria ID 0000";
        myPane.XAxis.Title.Text = "puntos";
        myPane.YAxis.Title.Text = "V";
        myPane.Legend.IsVisible = false;

        //myPane.XAxis.Scale.Max =

        // Make up some data arrays based on the Sine function
        //double x1 = 0, y1, x2, y2;

```

```

    PointPairList list1 = new PointPairList();

    for (int j = 0; j < i; j++)
    {
        list1.Add(Convert.ToDouble(perfilxintss[j]),
Convert.ToDouble(perfilyintss[j]));
    }

    // Generate a red curve with diamond
    // symbols, and "Porsche" in the legend

    LineItem myCurve = myPane.AddCurve("Bateria",
        list1, Color.Blue, SymbolType.None);

    // Tell ZedGraph to refigure the
    // axes since the data have changed
    zgc.AxisChange();

    }
}
}

```

Bibliografía

Bibliografía:

-Referencias:

- [1] Gasco, F., Feraboli, P., Braun, J., Smith, J., Stickler, P., DeOto, L., "Wireless strain measurement for structural testing and health monitoring of carbon fiber composites" Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, vol. 42, pp. 1263–1274, 2011.
- [2] R. Melik, E. Unal, N. K. Perkgoz, C. Puttlitz, and H. V. Demir, "Flexible metamaterials for wireless strain sensing," Appl. Phys. Lett., vol. 95, pp. 181105, (2009)
- [3] R. Melik, E. Unal, N. K. Perkgoz, C. Puttlitz, and H. V. Demir, "Metamaterial based telemetric strain sensing in different materials," Opt. Express, vol. 18, pp. 5000-5007, (2010)
- [4] R. Melik, E. Unal, N. K. Perkgoz, B. Santoni, D. Kamstock, C. Puttlitz, and H. V. Demir, "Nested Metamaterials for Wireless Strain Sensing," IEEE Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 16, pp. 450-458, (2010)
- [5]-"Diseño de un anemómetro basado en el efecto piezoresistivo", de Eduardo Jose Villegas Jiménez
- [6]"Design of plantar Force Sensor for Ankle Rehabilitation Monitor", de Evan Downie

-Libros:

- Electrónica (ALLAN R. HAMBLEY)
- ARDUINO Curso práctico de formación.

-Web:

- <http://spain.ni.com/>
- <http://forums.ni.com/>
- <http://arduino.cc>
- <http://forum.arduino.cc/>



Control de fuerza ejercida en dispositivos sensores diseñados para aplicaciones biomédicas

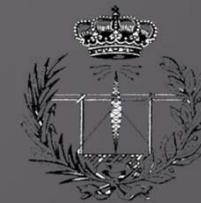
Ingeniería Técnica Industrial (ELECTRICIDAD)

Tutor: Ignacio Del Villar Fernández

Alumno: Guillen Berasain Gómez

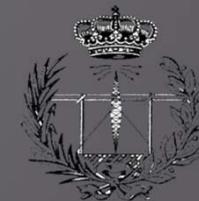
Guillen Berasain Gómez de Segura

upna Pamplona, 23 de Agosto de 2013



ÍNDICE

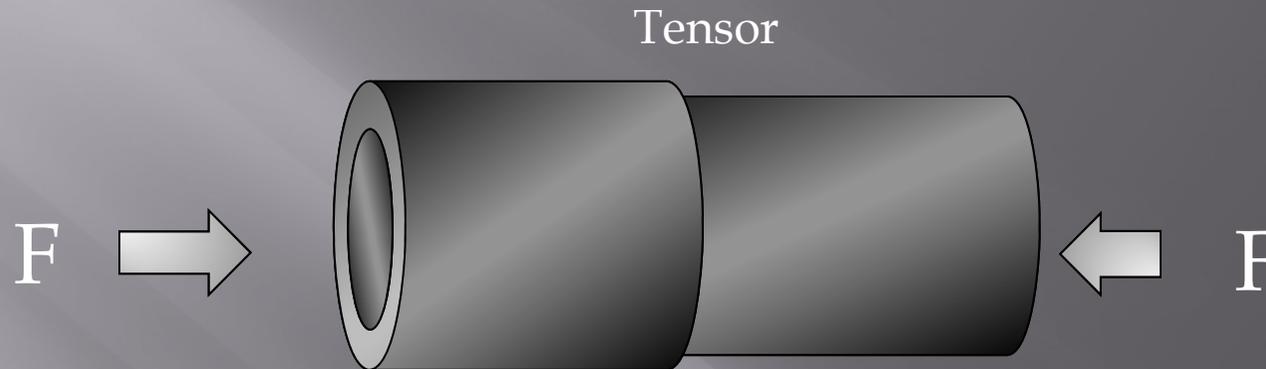
1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. RESULTADO
8. CONCLUSIONES



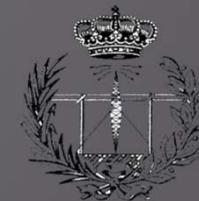
ÍNDICE

1. **OBJTEIVO DEL PROYECTO**
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. RESULTADO
8. CONCLUSIONES

1: OBJETIVO DEL PROYECTO



- Medir fuerza de compresión de distintos tensores
- Procesar la señal
- Transmitir la señal de manera inalámbrica
- Representar los datos obtenidos
- Permitir resetear el valor de fuerza del tensor
- Permitir capturar y posteriormente ajustar el valor óptimo de fuerza.

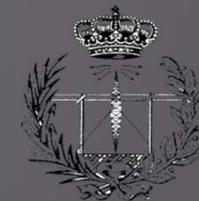


ÍNDICE

1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. **CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES**
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. RESULTADO
8. CONCLUSIONES

2: CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES DEL PROYECTO:

- Precio reducido
- Alimentación a 3.3V
- Tamaño muy reducido
- Frecuencias del transmisor
- Monitorizar en pc



ÍNDICE

1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. **ESTUDIO DE SENSORES**
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. RESULTADO
8. CONCLUSIONES

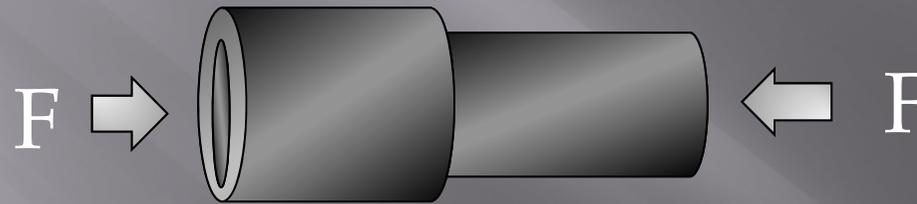
Guillen Berasain Gómez de Segura

3: ESTUDIO DE SENSORES:

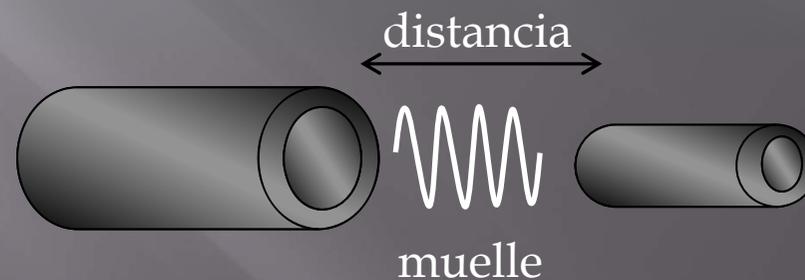
3.1: Métodos de medida:

- Fuerza: medida directa

Tensor



- Distancia: Mediante sistema con muelle





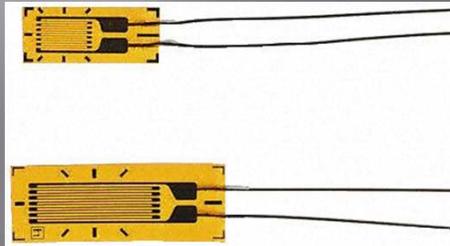
3.2: Sensores:

- Fuerza
 - Galga
 - Célula de carga
 - FSR
- Distancia
 - Sensor óptico
 - LVDT
 - Sensor HALL
 - Sensor capacitivo

3: ESTUDIO DE SENSORES:



FSR



GALGA



CÉLULA DE CARGA



SENSOR
CAPACITIVO



SENSOR
ÓPTICO



LVDT

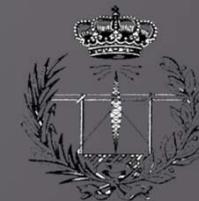


SENSOR
HALL

3: ESTUDIO DE SENSORES:



- Sensores descartados:
 - Célula de carga
 - Capacitivo
 - Óptico
 - LVDT
- Sensores probados:
 - FSR
 - HALL
 - Galga



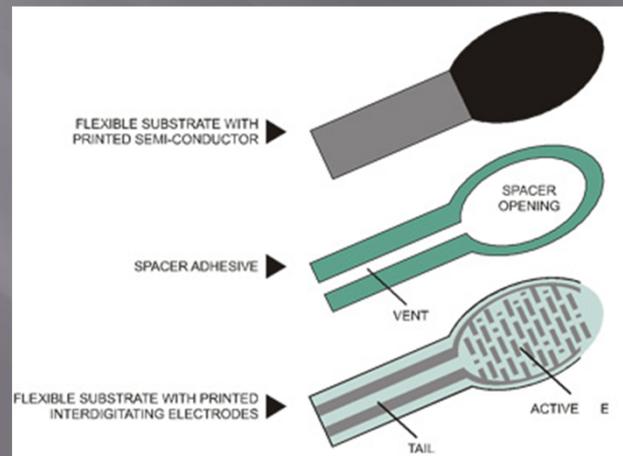
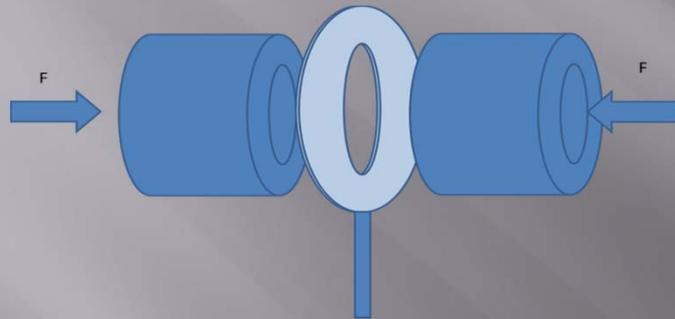
ÍNDICE

1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. **REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES**
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. CONCLUSIONES

Guillen Berasain Gómez de Segura

4: PRUEBAS CON SENSORES:

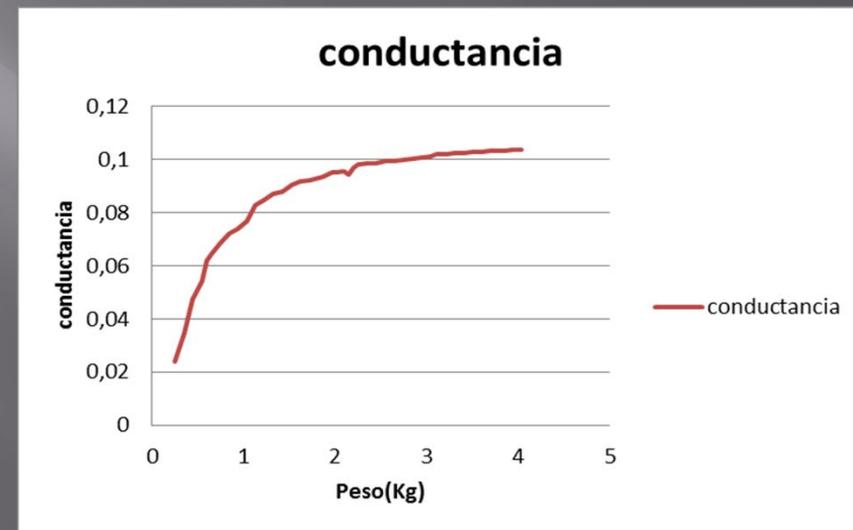
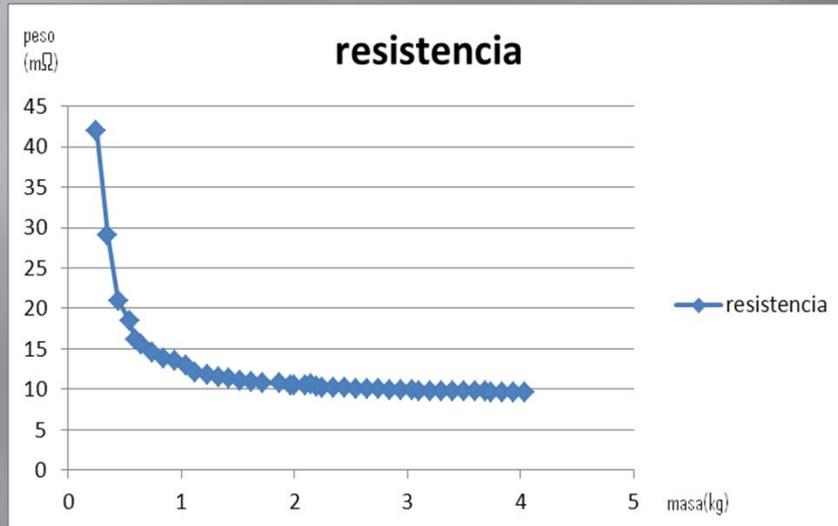
➤ FSR





4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ FSR





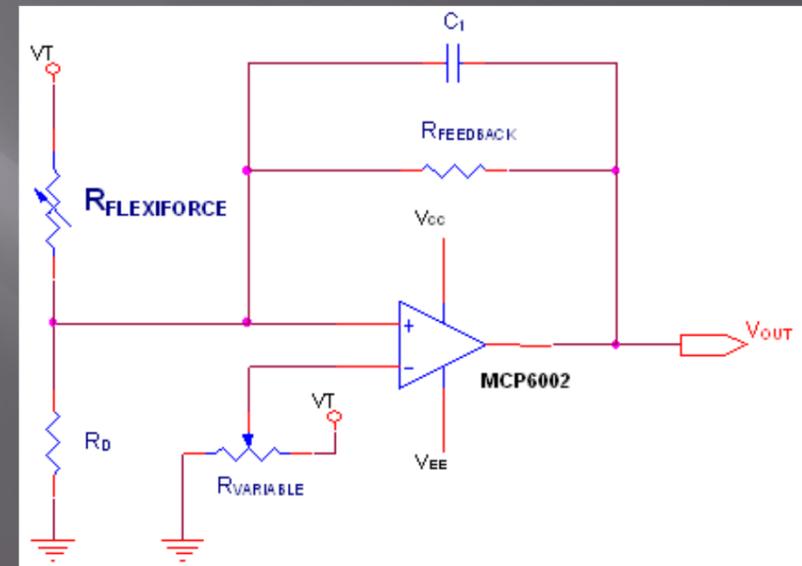
4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ FSR

Repetibilidad

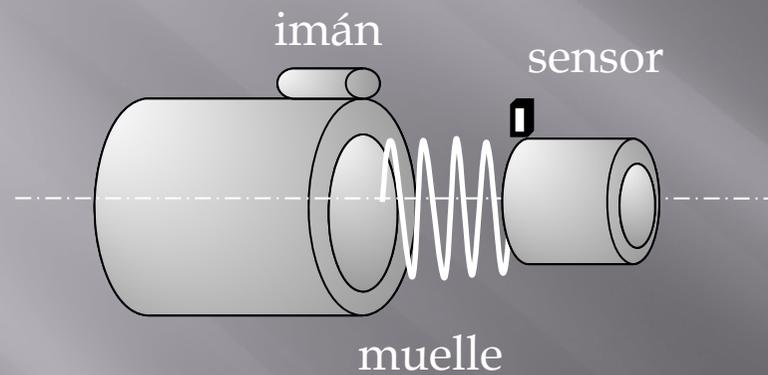
1 Kg(MΩ)	2 Kg(MΩ)	3 Kg(KΩ)	4Kg(KΩ)
1,47	0,63	456	350
1,55	0,6	354	226
1,38	0,72	521	379
1,44	0,55	397	355
1,43	0,6	433	224
1,52	0,71	482	263
1,42	0,74	514	235
1,47	0,69	498	295

Circuito de adaptación



4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ HALL



- Pruebas:
 - Prueba imán cilíndrico
 - Prueba imán anillo

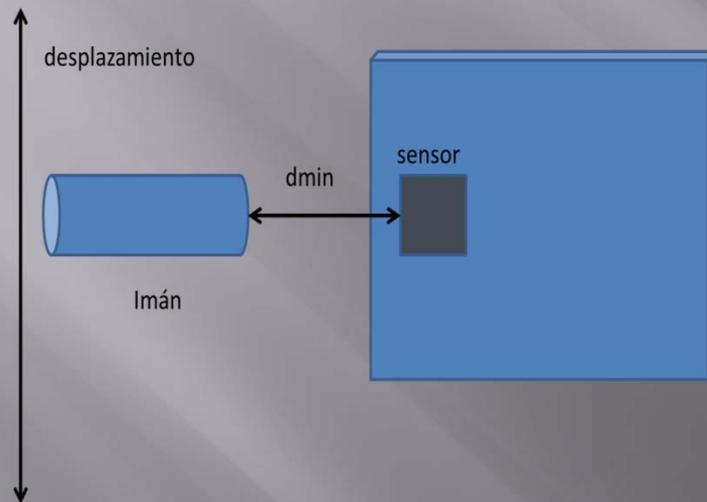
- Sensores
 - A1324
 - WSH201
 - HE244 y HE144

- Doble sensor

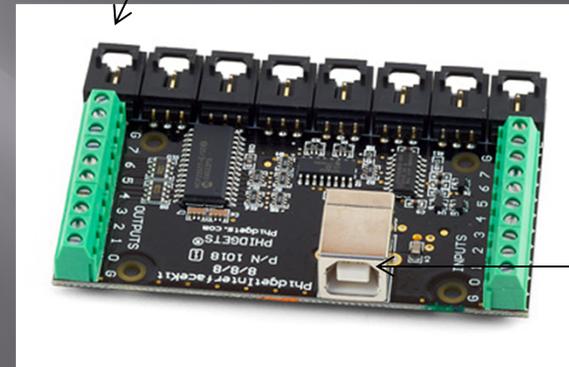
4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ HALL

- A1324 imán cilíndrico



Entrada del Sensor



Conexión
USB



4: PRUEBAS CON SENSORES:

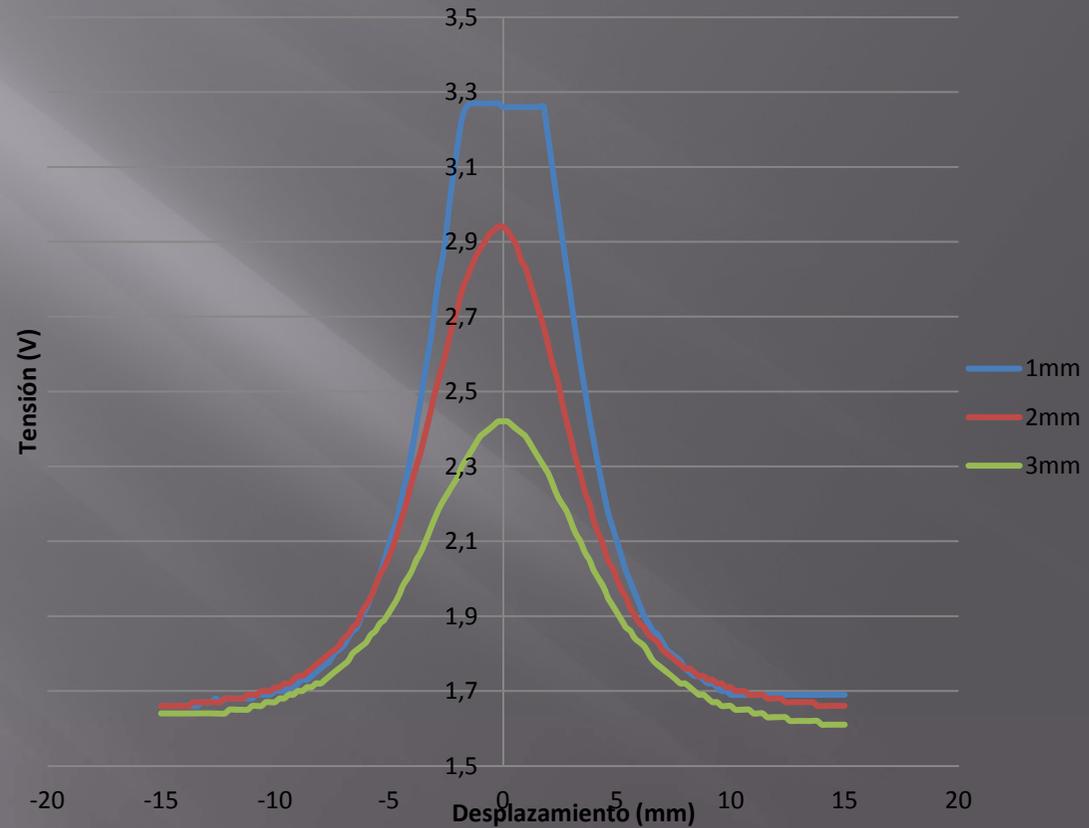
➤ HALL

- A1324 imán cilíndrico

ida	vuelta	
		1.804
		1.803
1.813V	1.814V	1.803
1.814V	1.814V	1.804
		1.803
1.813V	1.814V	1.803
		1.804
		1.803

Histéresis

Repetibilidad

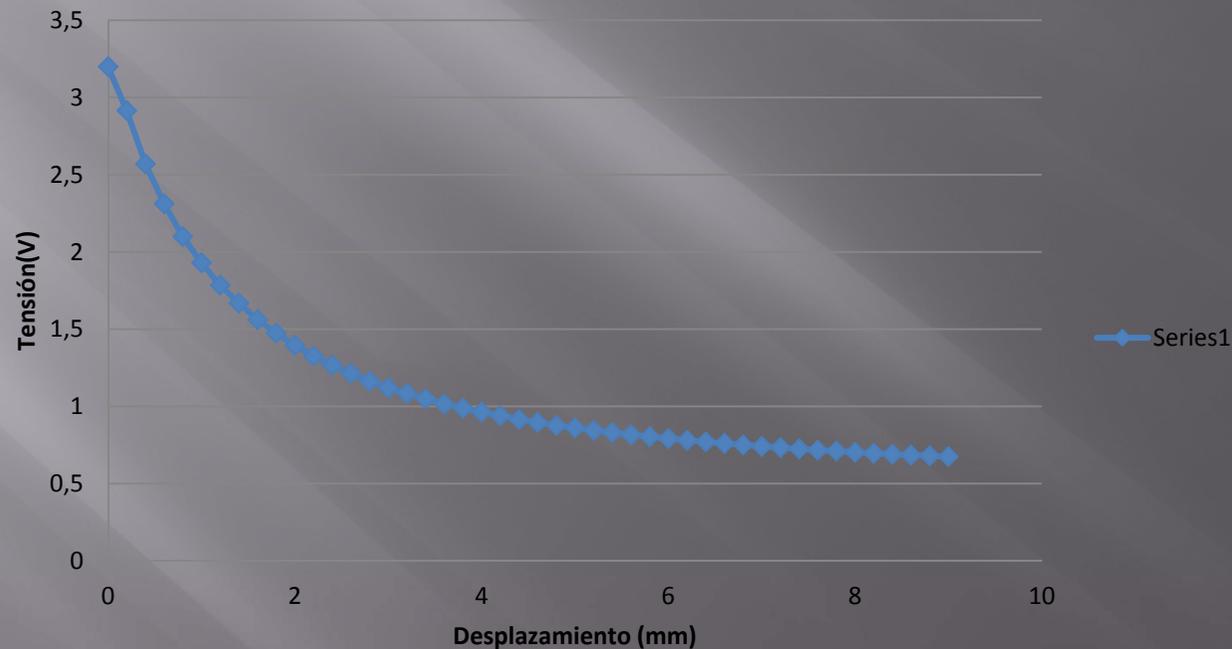


Guillen Berasain Gómez de Segura

4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ HALL

- HE244 Y HE144 con amplificador. Imán forma de anillo.



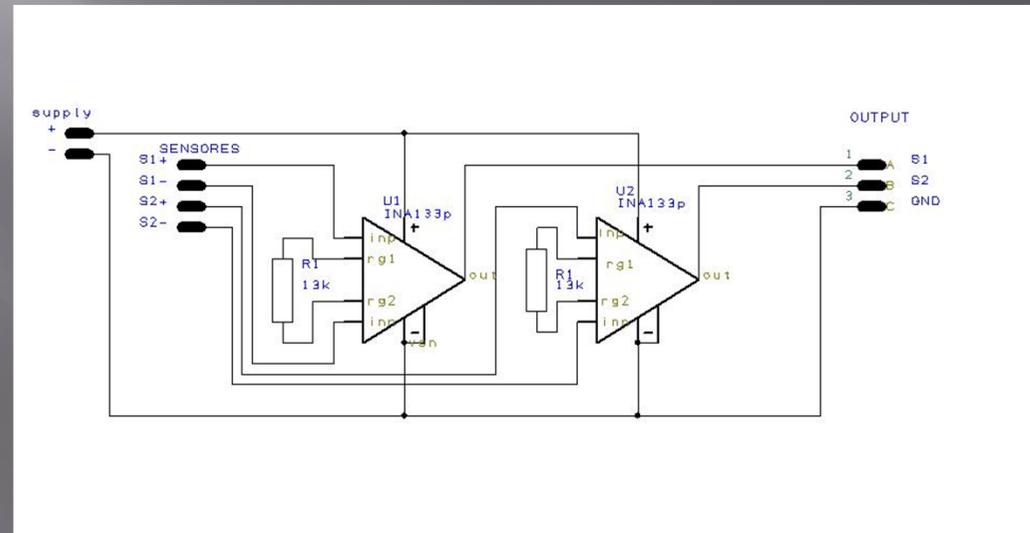
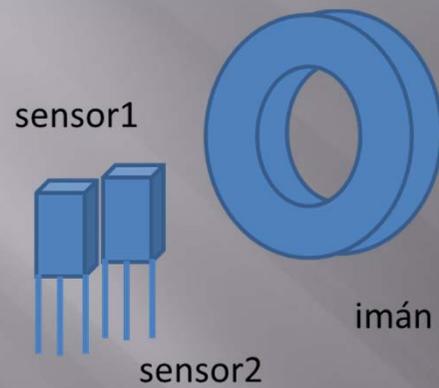
$G=4.84$

Pamplona, 23 de Agosto de 2013

Guillen Berasain Gómez de Segura

4: PRUEBAS CON SENSORES:

- DOBLE HALL
 - Problema: Interferencia.



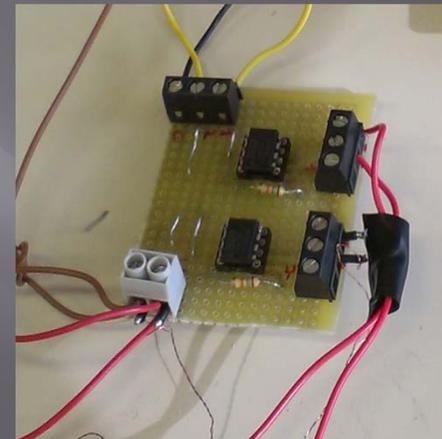
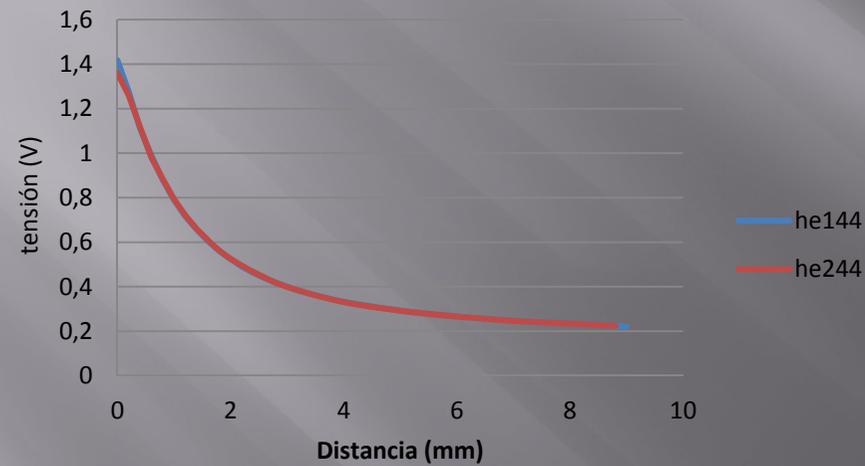
$$G=4.84$$

Guillen Berasain Gómez de Segura

4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ DOBLE HALL

Comparativa sensores



$G=4.84$

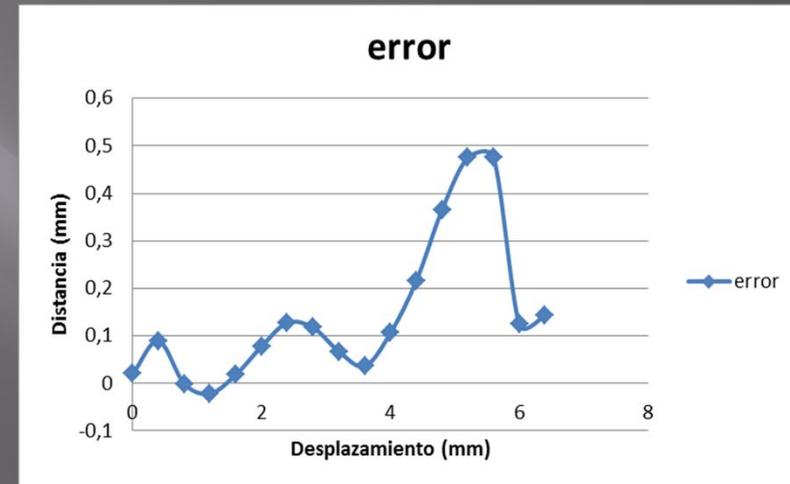
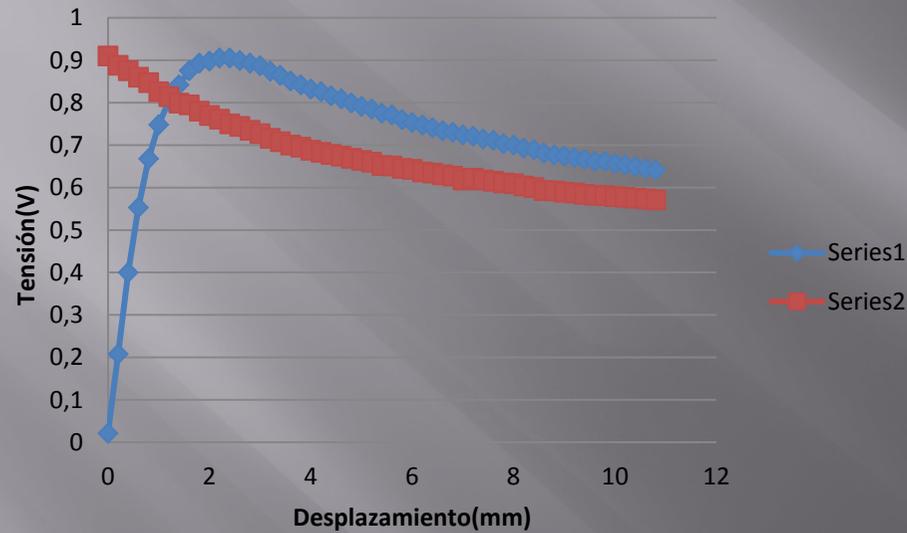
Pamplona, 23 de Agosto de 2013

Guillen Berasain Gómez de Segura



4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ DOBLE HALL



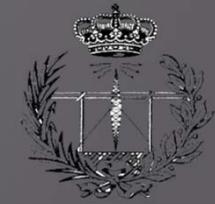
$G=4.84$

Guillen Berasain Gómez de Segura

4: PRUEBAS CON SENSORES:

➤ Galga





ÍNDICE

1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. **SOLUCIÓN ADOPTADA**
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. RESULTADO
8. CONCLUSIONES

Guillen Berasain Gómez de Segura

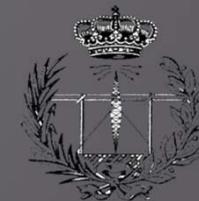
5: SOLUCIÓN ADOPTADA





CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

- Respuesta de la galga.
- Simplicidad del sistema.
- Tamaño reducido.
- Precio reducido.

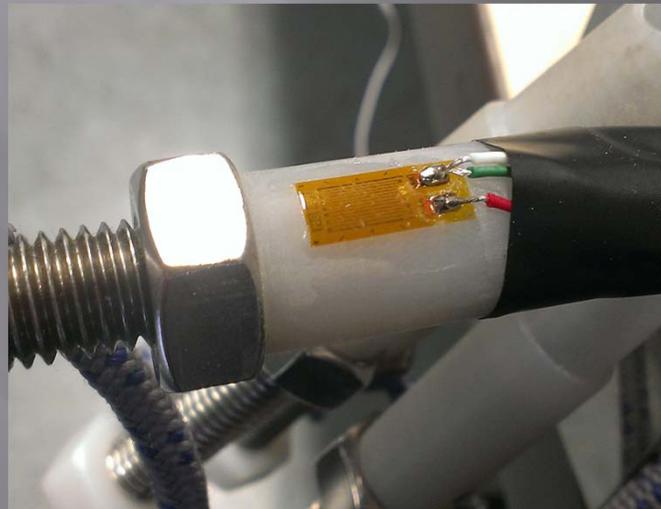


ÍNDICE

1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. **DESCRIPCION DE LO PROYECTADO**
7. CONCLUSIONES

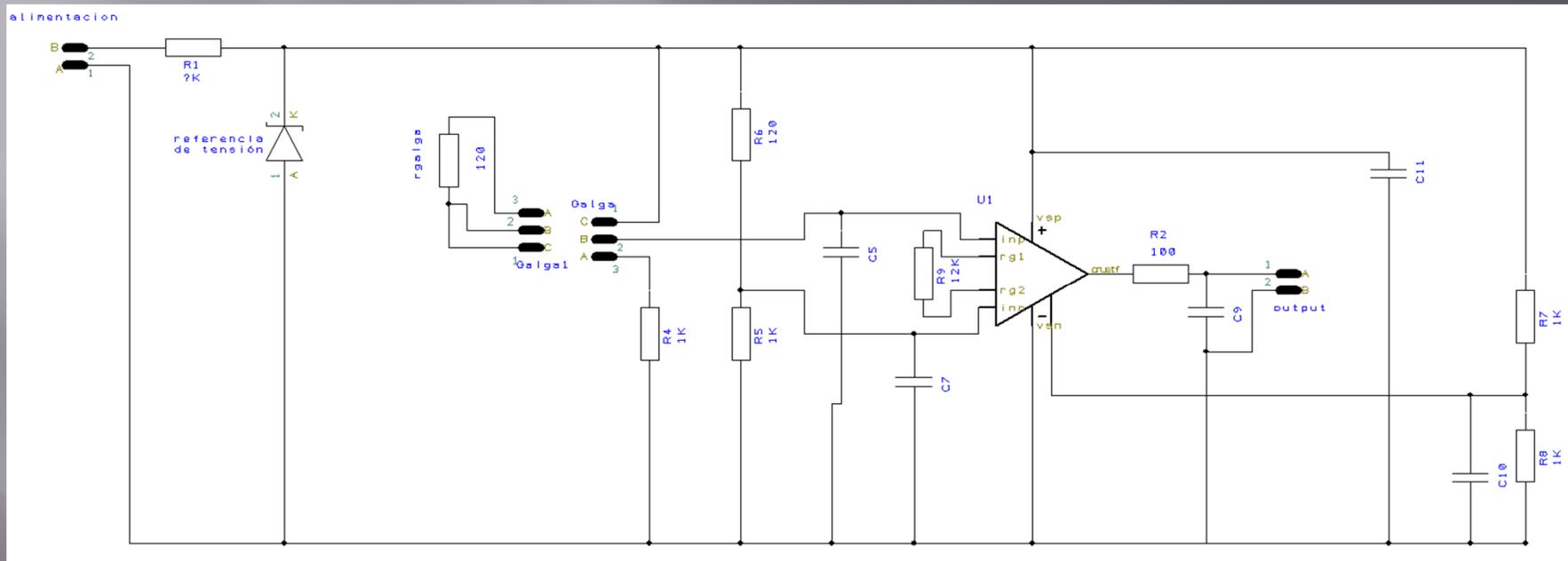


➤ Galga



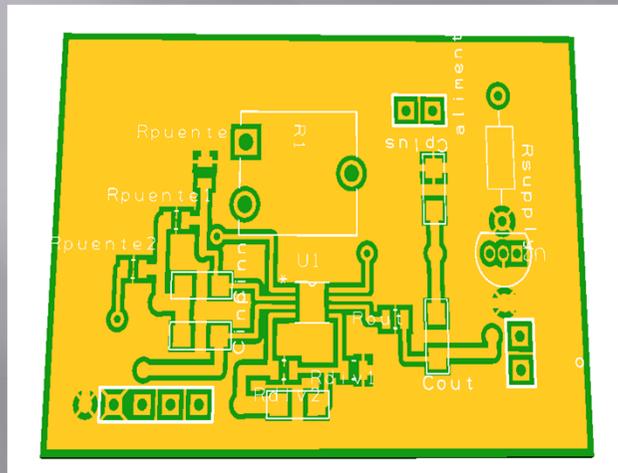


➤ Electrónica

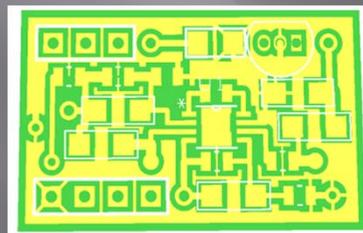




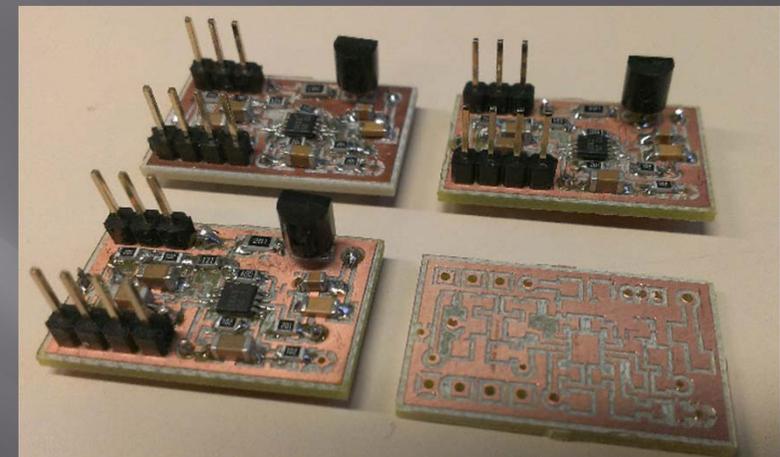
➤ Electrónica



5.97x3.94cm



2.47x1.64cm



Guillen Berasain Gómez de Segura

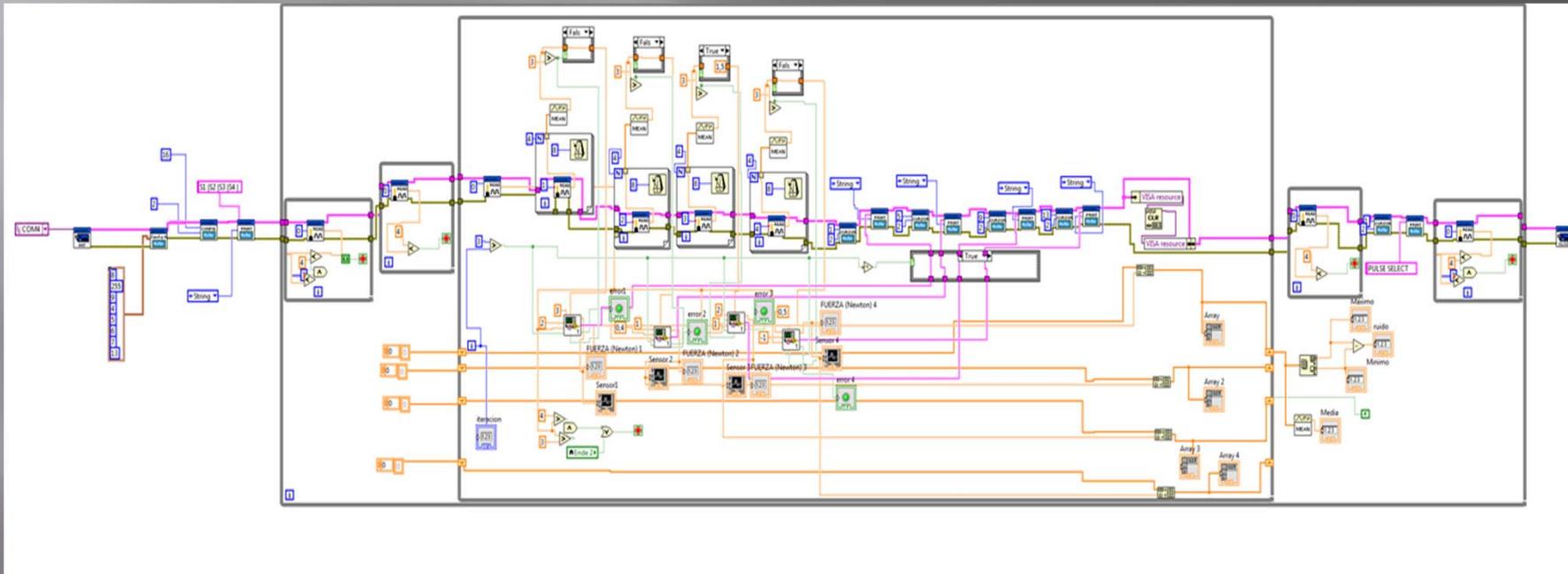


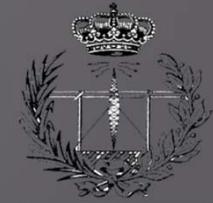
➤ Programación

- Programación únicamente en Labview
- Programación híbrida Labview/ Arduino:
 - Parte de Arduino
 - Parte de Labview
- Programación de ajuste óptimo



- Programación
 - Programación en Labview





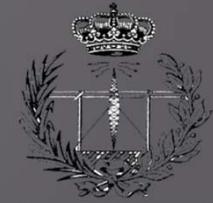
➤ Programación

- Programación híbrida Labview/ Arduino:
 - Parte de Arduino

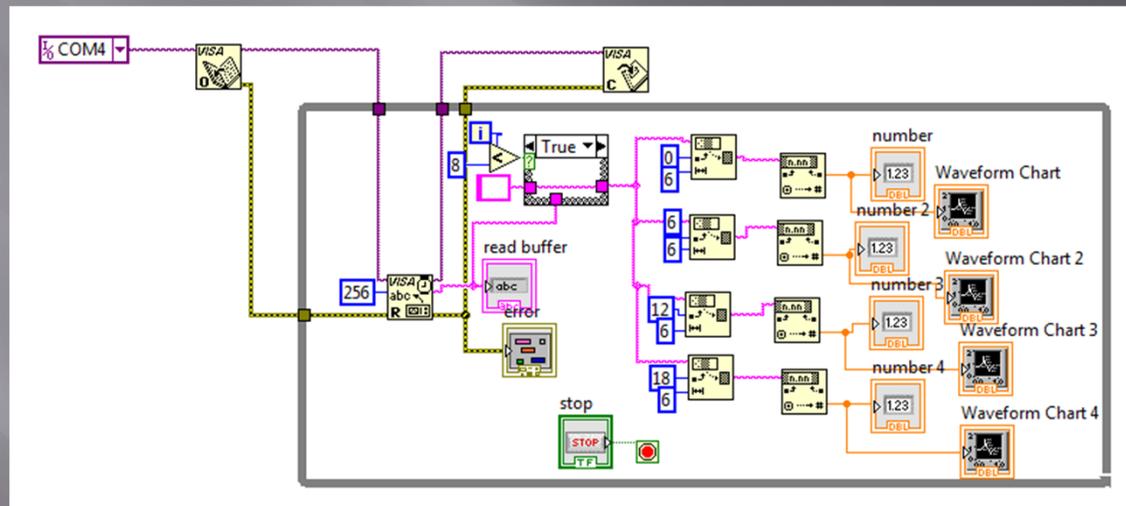
```
int boton = analogRead(0);  
if ((boton < 50) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i<4)))  
if (((50<boton) && (boton < 195)) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i<4)))  
if (((195<boton) && (boton<380)) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i<4)))  
if (((380<boton)&&(boton < 555)) || (((718 < boton) && (boton < 722)) || (i<4)))  
puesta04=analogRead(4)*cte;  
puesta02=analogRead(2)*cte;  
puesta03=analogRead(3)*cte;  
puesta01=analogRead(1)*cte;
```

```
for (int i=0; i <= 6; i++){  
valor1=(valor1+((analogRead(1)*cte)- puesta01)) ;  
delay(30);  
}  
valor4=(valor4)/7;
```

```
Serial.print(valor1,1);  
Serial.print(" ");  
if (valor1<10) Serial.print(" ");  
if (valor1<100) Serial.print(" ");  
if (valor1<1000) Serial.print(" ");  
  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print(valor1,0);
```

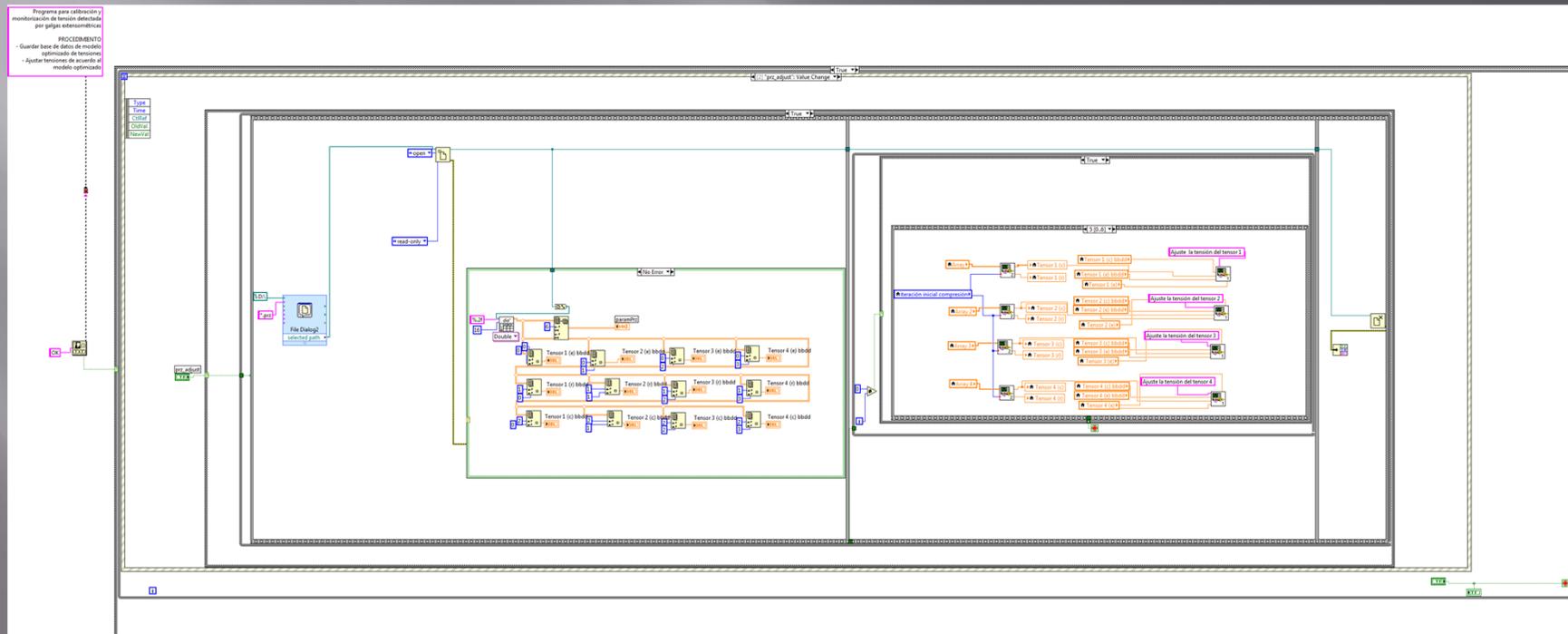


- Programación
 - Programación híbrida Labview/Arduino:
 - Parte Labview



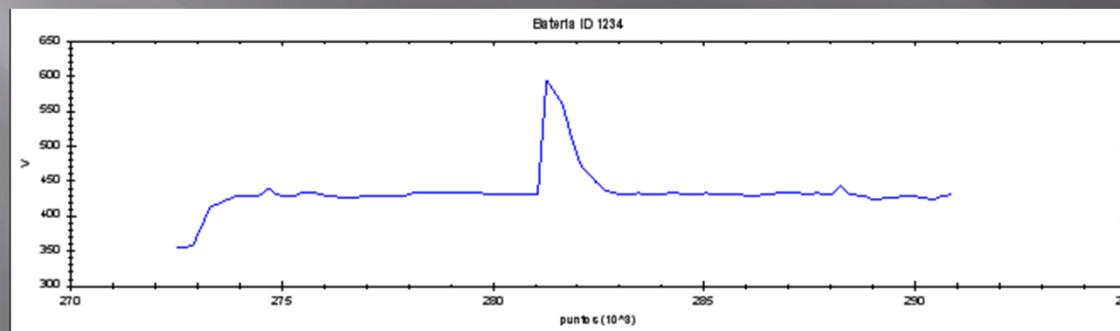
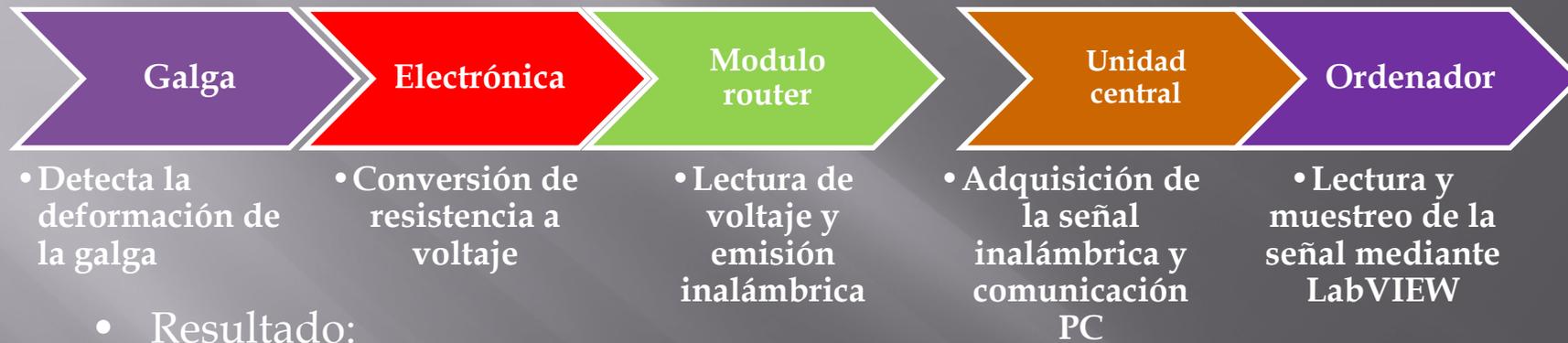


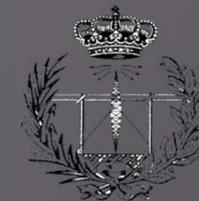
- Programación
 - Programación búsqueda de valor óptimo





➤ Trasmisor inalámbrico

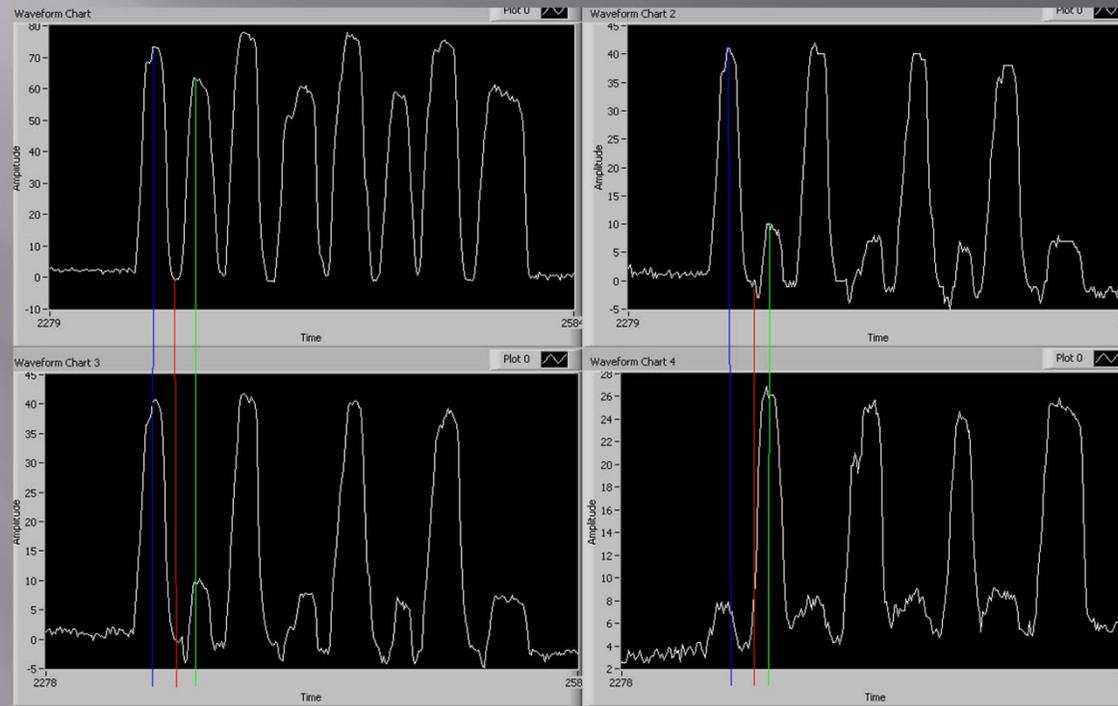




ÍNDICE

1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. **RESULTADO**
8. CONCLUSIONES

7: RESULTADO:



Ajustar tensiones según modelo optimizado

Guardar base de datos de modelo optimizado

Terminar



ÍNDICE

1. OBJTEIVO DEL PROYECTO
2. CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES
3. ESTUDIO DE SENSORES
4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON SENSORES
 - FSR
 - HALL
 - GALGA
5. SOLUCIÓN ADOPTADA
6. DESCRIPCIÓN DE LO PROYECTADO
7. **CONCLUSIONES**

Guillen Berasain Gómez de Segura

7: CONCLUSIONES:



Se ha logrado:

- Implementar una galga para detectar la fuerza ejercida en un tensor.
- Diseñar y crear un circuito de adaptación que convierte la señal de la galga en una tensión.
- Utilizar un módulo Arduino para monitorizar la señal en una pantalla LCD.
- Monitorizar la señal en un PC
- Permitir reseteo del valor de la galga
- Captura de datos óptimos en una hoja de calculo y posible ajuste de los mismos.

Líneas Abiertas en un futuro:

- Rediseñar electrónica para evitar que el amplificador sature.
- Implementar definitivamente la tecnología inalámbrica en el sistema.