

Trabajo Fin de Grado

Diseño y construcción de un sistema medidor de
fuerzas y su aplicación en el diseño de montajes
didácticos.

Autor

José Antonio García González

Director

Rafael Alonso Esteban

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2.016



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ,

con nº de DNI 25.158.679 Z en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
_____ (Título del Trabajo)

Diseño y construcción de un sistema medidor de fuerzas y su aplicación en el
diseño de montajes didácticos .

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 31 de enero de 2.017

Fdo: _____

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es el diseño y construcción de un sistema que permita medir fuerzas de forma sencilla y económica, y aplicarlo a una serie de experiencias didácticas en el laboratorio relacionadas con el equilibrio estático de los cuerpos rígidos.

En el Trabajo se han diseñado dos montajes que formarán parte de las sesiones de prácticas para el alumnado del Departamento de Física Aplicada de la E.I.N.A. El primero permite comprobar el valor de las reacciones en los apoyos de una escalera en dos situaciones: sin rozamiento y con rozamiento. El segundo estudia la descomposición de fuerzas bajo la influencia de una carga en una cercha simple.

Se trata de una Trabajo transversal a varias áreas de conocimiento, fundamentalmente electrónica (adquisición de datos, uso de convertidores de señal), informática (uso de software y hardware), diseño (concepción y materialización de la idea y planos para mecanización de piezas) y mecánica (realización de estructuras y aplicación de leyes).

ÍNDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 6 |
| 1.1 | Objetivos | 6 |
| 1.2 | Metodología. | 7 |
| 1.2.1 | Elección del medidor de fuerzas..... | 7 |
| 1.2.2 | Desarrollo de la parte informática y electrónica | 7 |
| 1.2.3 | Desarrollo de la parte mecánica | 8 |
| 2 | CONCEPTOS | 9 |
| 2.1 | Cómo funciona una célula de carga | 9 |
| 2.2 | El puente de Wheatstone | 10 |
| 2.3 | Placa programable: Arduino | 10 |
| 3 | EL MEDIDOR DE FUERZA | 11 |
| 3.1 | El amplificador conversor analógico/digital. | 11 |
| 3.2 | Montaje y calibrado de la célula de carga | 12 |
| 3.3 | Programa final de nuestro medidor de fuerza | 16 |
| 3.4 | Diagrama esquemático del medidor de fuerza | 17 |
| 3.5 | Conexión eléctrico..... | 18 |
| 4 | DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES | 19 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Fundamento físico..... | 19 |
| 4.2 | Estudio de una escalera apoyada en dos paredes perpendiculares entre sí..... | 20 |
| 4.2.1 | Escalera idealmente apoyada sin rozamiento. | 21 |
| 4.2.2 | Escalera con rozamiento en el suelo e idealmente apoyada en la pared vertical..... | 28 |
| 4.3 | Esfuerzos en cercha simples. Descomposición de fuerzas..... | 33 |
| 5 | CONCLUSIONES | 38 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 40 |
| 6 | ANEXOS..... | 41 |
| 6.1 | OTRAS POSIBLES PRÁCTICAS..... | 41 |
| 6.2 | FOTOS..... | 42 |
| 6.2.1 | Escalera..... | 42 |
| 6.2.2 | Cercha | 49 |
| 6.2.3 | Caja de mediciones | 52 |
| 6.3 | PRESUPUESTO | 53 |
| 6.3.1 | Escalera apoyada en dos paredes perpendiculares | 53 |
| 6.3.2 | Esfuerzos en celosías simples..... | 54 |
| 6.4 | PROGRAMAS..... | 55 |
| 6.4.1 | Programa de calibrado | 55 |
| 6.4.2 | Programa de medición..... | 58 |
| 6.5 | CALIBRADO DE LAS CÉLULAS | 60 |
| 6.5.1 | Calibrado célula N°1 del montaje de la escalera | 60 |
| 6.5.2 | Calibrado célula N°2 del montaje de la escalera | 61 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.5.3 | Calibrado célula N°3 del montaje de la escalera | 62 |
| 6.5.4 | Calibrado célula N°1 de la celosía | 63 |
| 6.5.5 | Calibrado célula N°2 de la celosía | 64 |
| 6.5.6 | Calibrado célula N°3 de la celosía | 65 |
| 6.6 | PLANOS..... | 66 |
| 6.7 | Hojas de características | 73 |
| 6.7.1 | 3KG resistance strain type pressure sensor | 73 |
| 6.7.2 | HX711..... | 77 |

1 INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Grado se ha desarrollado en el Departamento de Física Aplicada de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) de la Universidad de Zaragoza. El objetivo es la elaboración de una serie de montajes para su utilización en las sesiones de prácticas de laboratorio que imparte el Departamento en la EINA. Con este trabajo, el autor, Ingeniero Técnico Industrial (Especialidad Mecánica), concluye el Grado de Ingeniería Mecánica.

El autor ha tenido la motivación extra de realizar este trabajo en el Departamento en el que viene desarrollando su actividad profesional, como técnico de laboratorio, desde el año 1.992.

Para el desarrollo de este Trabajo se ha tratado de utilizar elementos comerciales y cuando ello no ha sido posible se ha procedido a su fabricación. Para el montaje de las estructuras se ha utilizado materiales suministrados por la casa comercial Makeblock, y piezas fabricadas con las máquinas herramienta que dispone el Departamento. Para la parte electrónica del Trabajo se ha utilizado Arduino IDE para la programación del micro-controlador.

1.1 Objetivos

El objetivo final de este Trabajo es el diseño y construcción de montajes didácticos, para ser utilizados en sesiones de prácticas de laboratorio de la asignatura Física I que el Dpto. imparte en la EINA, sobre equilibrio estático de los cuerpos rígidos. El Trabajo empieza con el desarrollo de un sistema sencillo, económico y fiable que nos permita medir fuerzas o esfuerzos en una dirección, tanto de compresión, como de tracción.

El sistema de medida se aplicará a la demostración experimental de dos casos teóricos habituales en las colecciones de problemas de Estática.

El primero estudia una escalera apoyada en dos superficies perpendiculares entre sí. Con él se podrán realizar dos experiencias. En la primera se estudiarán las reacciones en los apoyos de una escalera ideal, sin rozamiento en ninguna superficie, y otra en la que determinaremos la fuerza de rozamiento entre el apoyo de la escalera y el suelo.

En el segundo se estudia una cercha sencilla en la que se medirán los esfuerzos que se producen en las tres barras (dos pares y un tirante) bajo la acción de una carga en la unión de los pares.

INTRUDUCCIÓN

1.2 Metodología.

1.2.1 Elección del medidor de fuerzas

La primera idea fue utilizar un sistema basado en las deformaciones elásticas de una estructura. Se ideó para ello un montaje que, mediante un comparador mecánico, medía la deformación de una chapa de acero bajo la acción de las cargas. Esta idea se desechó porque bajo la acción de pequeñas cargas el sistema no tenía la precisión suficiente (hay que tener en cuenta que la deformación debe ser mínima para que el sistema conserve la geometría).

Otra opción era comprar células de carga comerciales. Dado que cada instalación consta de tres medidores y para una sesión de prácticas se prevé el uso de siete u ocho instalaciones, económicamente, el desarrollo de los montajes era inviable.

Una tercera opción era la construcción de la célula de carga usando galgas extensiométricas. Económicamente el proyecto era viable dado el bajo coste de la galgas, pero surgieron dificultades para la construcción de tal número de células (se prevén siete modelos de cada montaje y cada uno lleva tres células), además el montaje podría ser poco robusto para su uso en un laboratorio docente.

Investigando las opciones que había en el mercado, se decidió utilizar para la medida de fuerza las células que usan las balanzas electrónicas de cocina y similares. Se trata de unas pequeñas células de carga de bajo coste pero con la suficiente precisión para ser utilizadas en montajes didácticos.

1.2.2 Desarrollo de la parte informática y electrónica

Los elementos principales de las células de carga son las galgas extensiométricas, que son unos sensores cuya resistencia varía al ser sometidas a deformaciones. La señal eléctrica requiere de tratamiento electrónico e informático para poder interpretarse. Para ello se ha utilizado Arduino, que es una plataforma de electrónica "open-source" o de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar y económicos.

La primera fase fué la elaboración de un programa de calibrado de los medidores de fuerza. Luego se realizó en el software y hardware de adquisición de datos y en la presentación de éstos al usuario de los montajes mediante un LCD.

INTRUDUCCIÓN

1.2.3 Desarrollo de la parte mecánica

Una vez desarrollada la parte electrónica del Trabajo, se procedió al diseño mecánico de los montajes. Se elaboró un prototipo utilizando material de Makeblock y piezas fabricadas por el autor en el taller del el Dpto. de Física Aplicada. Comprobado el correcto funcionamiento de todas las partes, se ha solicitado al Servicio de Mecánica de Precisión de la U.Z. la elaboración de las piezas no estándar de los montajes.

2 CONCEPTOS

En esta sección se mencionan brevemente los fundamentos en los que se basa el sistema medidor de fuerzas empleado.

2.1 Cómo funciona una célula de carga

La célula de carga se encarga de traducir la fuerza en una señal de voltaje (célula de carga analógica). La célula de carga analógica con galgas extensiométricas es la que se utiliza más comúnmente.

Las células de carga consisten en una pieza metálica que sufre una deformación conforme se le aplica una fuerza. Éste metal se calcula para soportar un rango de fuerza (que va desde cero fuerza hasta la capacidad máxima) ya sea a tensión, compresión o ambos. La deformación se realiza en la parte elástica y proporcional de la curva de deformación, esto es lo que limita la capacidad de una célula de carga.

A la pieza, se le adhieren galgas extensiométricas. Las galgas extensiométricas son láminas de un metal que al traccionarse o comprimirse, varían su resistencia. Cuando la deformación provoca que la lámina se alargue, la resistencia se incrementa en una pequeña cantidad; y cuando se comprime, la resistencia disminuye.

Una amplia variedad de células de carga de diferentes formas y tamaños está disponible en el mercado, según la aplicación. Una célula típica es en forma de “S” provista de cuatro medidores de deformación como se ilustra en la Figura 1. Los medidores se montan de manera que dos de ellos se alarguen cuando se coloca una carga sobre ella y los otros dos se compriman.

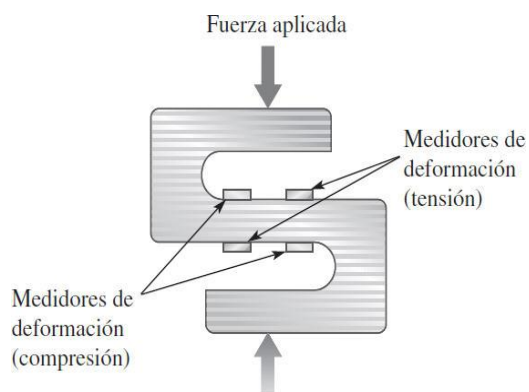


Figura 1

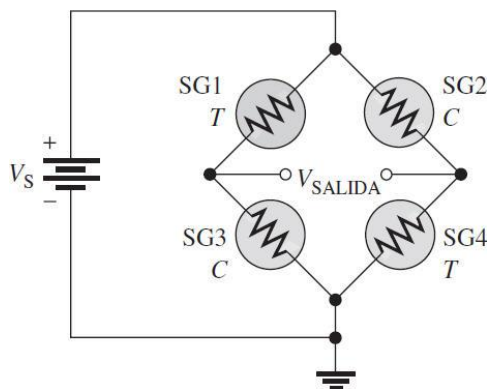


Figura 2

CONCEPTOS

Las galgas casi siempre se conectan en forma de puente Wheatstone como indica la Figura 2 con medidores de deformación (SG, por sus siglas en inglés) a tensión (T) y a compresión (C) en ramas diagonalmente opuestas como se muestra.

Las galgas se alimentan y entregan una señal de proporcional (del orden de milivoltios) a la fuerza aplicada y a su signo.

La señal de la célula se lleva a un convertidor analógico-digital y es enviada a un microprocesador para su procesamiento. Mediante una recta de calibrado se obtiene un factor, que nos permite interpretar una señal eléctrica como una fuerza.

2.2 El puente de Wheatstone

El puente Wheatstone es capaz de medir con precisión diferencias de resistencia muy pequeñas. El uso de cuatro transductores activos incrementa la sensibilidad de la medición y hace del puente el circuito ideal para instrumentación. El circuito puente Wheatstone tiene el beneficio agregado de compensar variaciones de temperatura y resistencia de los alambres conectores, que de lo contrario contribuirían a provocar imprecisiones.

2.3 Placa programable: Arduino

Arduino es una placa programable con entradas y salidas digitales y analógicas, cuyo bajo coste la hace ideal para iniciarse en automatización o realizar pequeños proyectos domésticos en electrónica y robótica. Esto significa que disponemos de un pequeño “autómata”, capaz de recibir información del entorno (sensores) y realizar acciones (actuadores, motores...), según un programa que introducimos en un ordenador y lo grabándonos en Arduino, y así puede ejecutarse de forma autónoma.

3 EL MEDIDOR DE FUERZA

3.1 El amplificador conversor analógico/digital.

Para acondicionar (amplificar, filtrar y convertir de analógico a digital) la señal que obtenemos del sensor, utilizamos el módulo conversor Analógico/Digital de 24 Bits HX711 / CAD / ADC. Se trata de un amplificador y convertidor analógico digital con una precisión de 24 bits diseñado para aplicaciones a pequeña escala y de control industrial.

Este dispositivo es sencillo de usar, proporcionando un excelente rendimiento, alta sensibilidad, con muy buena velocidad de medición. El módulo se comunica con la computadora u ordenador a través de la interfaz de comunicación serie síncrona.

La Figura 3 muestra el diagrama de bloques del circuito integrado.

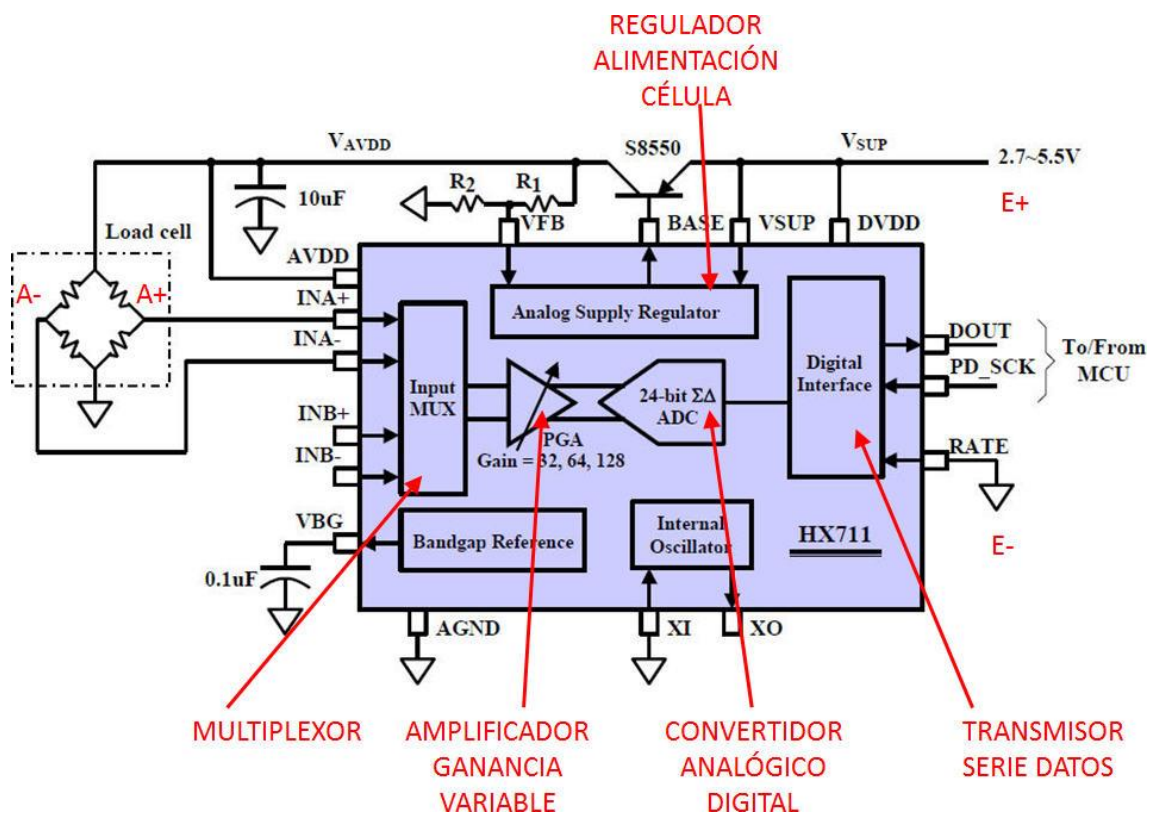


Figura 3

En este trabajo el módulo HX711 está configurado para operar con un oscilador interno, proporcionando una tasa de medida de 10 lecturas por segundo (pin RATE = 0).

Cuando el amplificador dispone de un dato válido para ser leído pone su pin de salida DOUT a cero voltios. En este momento Arduino genera 27 pulsos en la

EL MEDIDOR DE FUERZA

entrada PD_SCK del amplificador. Cada pulso de reloj proporciona un bit, de los 24 bits que forman el dato digital de la medida, en el pin de salida DOUT. Acto seguido se aplica el pulso número 25 que indica el final de la lectura. Son necesarios dos pulsos más de reloj, para configurar el canal A de medida y una ganancia de 64 en el amplificador de ganancia programable (PGA), tal como muestra la Figura 4. Se puede ampliar información en la hoja de datos del módulo (ver anexo 6.7.2)

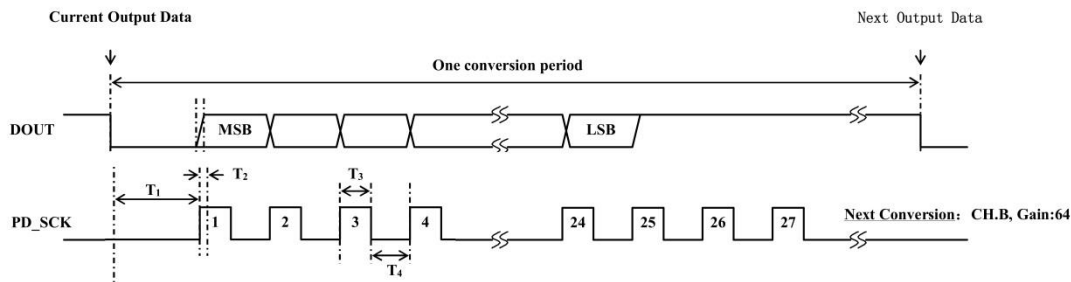


Figura 4

3.2 Montaje y calibrado de la célula de carga

La célula selecciona para los medidores de fuerza es del fabricante Keyes, con un fondo de escala de 3 kg. La hoja de características se puede consultar en el anexo 6.7.1.

Para instalar la célula de carga hay que hacerlo con separadores, los cuales deben distanciar las bases de la célula del elemento que actúa sobre ella. En la Figura 5 se puede apreciar, esquemáticamente, el montaje de la célula. Demás hay que tener en cuenta el sentido de la flecha marcado en la célula. Indica la dirección de la fuerza o peso a aplicar (Figura 6). Si se coloca al revés, el signo de la señal será contrario al esperado.

EL MEDIDOR DE FUERZA

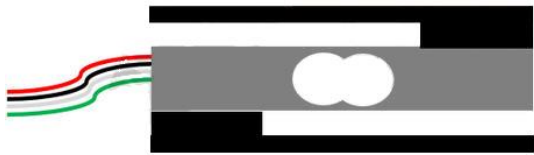


Figura 5

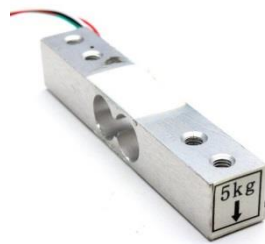


Figura 6

La Figura 7 representa esquemáticamente la célula de carga. Requiere ser alimentada por los puntos E+ y E-. La señal de salida del puente es por los puntos A+ y A-.

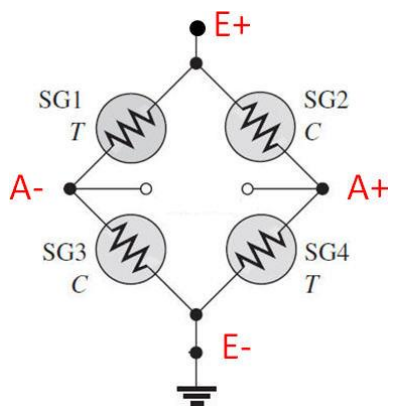


Figura 7

El conexionado entre la célula y el módulo HX711 se efectúa de la siguiente manera:

| Célula de carga | Módulo HX711 |
|-----------------|--------------|
| Cable Rojo | Pin E+ |
| Cable Negro | Pin E- |
| Cable Verde | Pin A- |
| Cable Blanco | Pin A+ |

EL MEDIDOR DE FUERZA

El conexionado entre el módulo HX711 y Arduino se efectúa de la siguiente manera:

| Módulo HX711 | Arduino UNO |
|--------------|-------------|
| Pin GND | Pin GND |
| Pin DOUT | Pin A1 |
| Pin PD_SCK | Pin A0 |
| Pin VCC | Pin 5V |

Efectuadas las conexiones, se carga en Arduino el programa de calibrado, que se incluye en el anexo de programas.

La hoja de características de la célula indica que admite una carga máxima de 3 kg, con una salida nominal de $1 \pm 0.15\text{mV/V}$. Esto significa que, si sobre ella actúa una fuerza de 3 kg y se alimenta con 5 VDC, se obtiene una tensión de salida de 5 mV. El módulo HX711 trabaja con una precisión de 24 bits, y una ganancia de 64(configurada por programación).El sistema de codificación binario de los datos de salida es en complemento a dos. Con la siguiente expresión se obtiene el dato digital, a partir del valor analógico medido a la salida del puente,

$$N = V_{in} \frac{(2^{(n-1)} - 1)}{V_{ref}} \quad (\text{fórmula 1})$$

N, dato digital

V_{in} , voltaje de entrada

V_{ref} , ver hoja de características (1,25 V)

n, número de bits (24)

El procedimiento para calibrar la célula es el siguiente: Se colocan cargas conocidas sobre la célula y se anotan los valores de lectura del módulo HX711. El dato obtenido, que es proporcional a la carga, la visualizaremos en la

EL MEDIDOR DE FUERZA

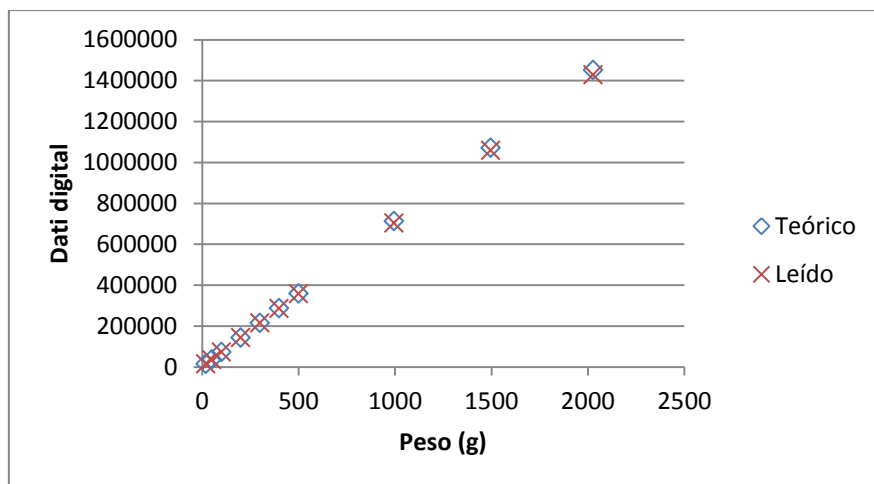
pantalla del PC, usando un programa específico de calibración cargado en Arduino.

La Tabla 1 recoge, para cada peso, el voltaje teórico a la salida del puente, dicho valor con una ganancia de 64, el dato digital que resulta de aplicar la fórmula 1 y el dato digital leído en el monitor del PC. El resto datos y rectas de calibrado se pueden consultar en el anexo 5 de la memoria.

| Peso (g) | V_{in} (V) (teórico) | V_{i_n} (V) (ganancia 64) | Dato digital teórico | Dato digital leído |
|-----------------|--|---|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 20 | 3,33E-05 | 1,07E-03 | 14317 | 14300 |
| 50 | 8,33E-05 | 2,67E-03 | 35791 | 35250 |
| 100 | 1,67E-04 | 5,33E-03 | 71583 | 71359 |
| 200 | 3,33E-04 | 1,07E-02 | 143166 | 142600 |
| 300 | 5,00E-04 | 1,60E-02 | 214748 | 213876 |
| 400 | 6,67E-04 | 2,13E-02 | 286331 | 285325 |
| 500 | 8,33E-04 | 2,67E-02 | 357914 | 356340 |
| 996 | 1,66E-03 | 5,31E-02 | 712965 | 703237 |
| 1496 | 2,49E-03 | 7,98E-02 | 1070879 | 1059054 |
| 2028 | 3,38E-03 | 1,08E-01 | 1451699 | 1428000 |

Tabla 1

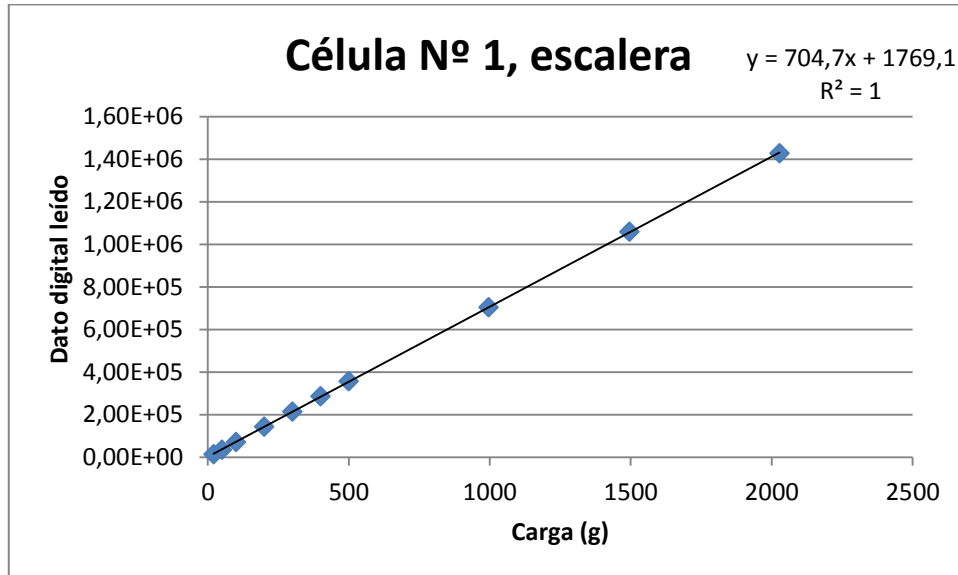
La Gráfica 1 compara los datos leídos en el módulo HX711 con los calculados teóricamente.



Gráfica 1

EL MEDIDOR DE FUERZA

Efectuamos una representación gráfica del dato digital leído frente a la carga, tal como muestra la Gráfica 2.



Gráfica 2

La pendiente de la recta de calibrado (704,7) da el factor de escala. Éste valor será usado en el programa que utiliza el montaje didáctico. Arduino devolverá sobre el display de medida, el dato de la carga ejercida sobre el elemento en estudio, en unidades de fuerza (gramos o newtons, depende de la programación).

La escala es diferente para cada célula y puede cambiar con la forma de instalar. Incluso si se trata del mismo modelo de células no necesariamente tienen el mismo valor de escala

3.3 Programa final de nuestro medidor de fuerza

El programa que se utilizará en el proceso de medida, es similar al programa usado para calibrar, con la diferencia que ya conocemos la escala a utilizar. Éste dato lo introduciremos en la variable `void set_scale(float scale)`. (Ver programa en el anexo 4).

3.4 Diagrama esquemático del medidor de fuerza

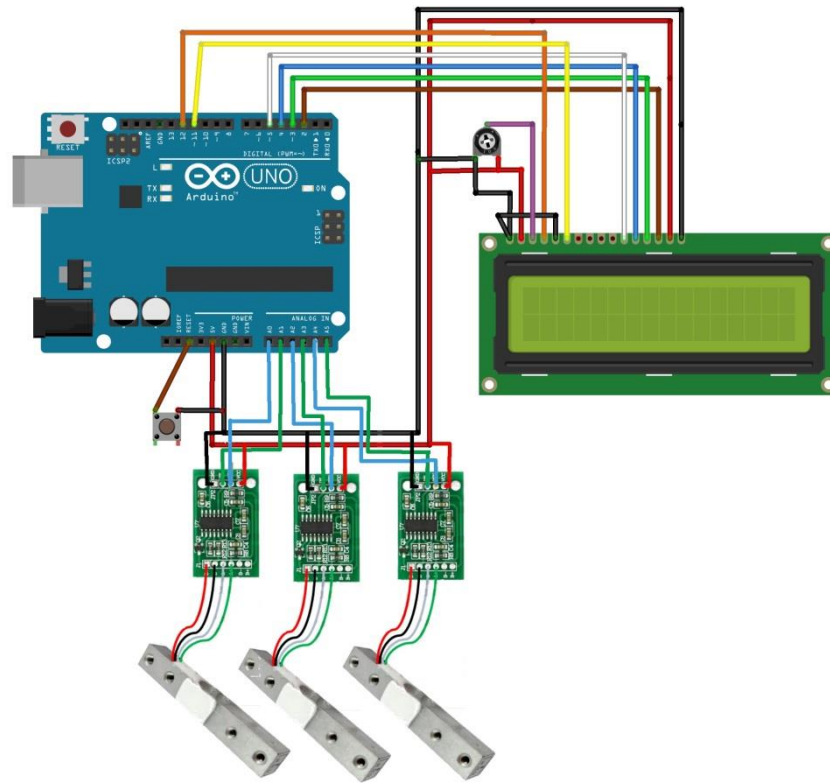
En la Figura 8 muestra esquemáticamente los elementos que intervienen en el proceso de medida, acondicionado y visualización de fuerzas.



Figura 8

3.5 Conexionado eléctrico

En la figura 9 muestra en la parte superior el conexionado eléctrico entre la placa Arduino y la pantalla LCD. En la parte inferior podemos ver el cableado entre las células de carga, el amplificador/conversor ACD y la placa Arduino.



4 DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

4.1 Fundamento físico

Las condiciones de equilibrio son las leyes que rigen la estática. La estática es la ciencia que estudia las fuerzas que se aplican a un cuerpo para describir un sistema en equilibrio. Diremos que un sistema está en equilibrio cuando los cuerpos que lo forman están en reposo, es decir, sin movimiento. A nuestro alrededor podemos encontrar numerosos cuerpos que se encuentran en equilibrio. La explicación física para que esto ocurra se debe a las condiciones de equilibrio:

- **Primera condición de equilibrio:** Diremos que un cuerpo se encuentra en equilibrio de traslación cuando la fuerza resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él es nula:

$$\sum F = 0.$$

Desde el punto de vista matemático, en el caso de fuerzas coplanarias, se tiene que cumplir que la suma aritmética de las fuerzas o de sus componentes que están en la dirección positiva del eje X sea igual a las componentes de las que están en la dirección negativa. De forma análoga, la suma aritmética de las componentes que están en la dirección positiva del eje Y tiene que ser igual a las componentes que se encuentran en la dirección negativa.

Por otro lado, desde el punto de vista geométrico, se tiene que cumplir que las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en equilibrio tienen un gráfico con forma de polígono cerrado; ya que en el gráfico de las fuerzas, el origen de cada fuerza se representa a partir del extremo de la fuerza anterior, tal y como podemos observar en la Figura 10.

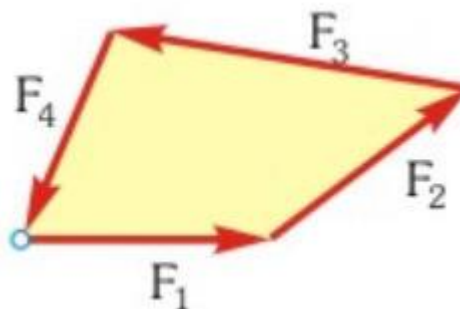


Figura 10

- **Segunda condición de equilibrio:** Por otro lado, diremos que un cuerpo está en equilibrio de rotación cuando la suma de todos los

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

momentos que se ejercen en él respecto nulo. O dicho de otro modo, cuando la suma de los momentos es cero.

$$\sum M = 0.$$

En este caso, desde el punto de vista matemático, y en el caso anterior en el que las fuerzas son coplanarias; se tiene que cumplir que la suma de los momentos o fuerzas asociados a las rotaciones anti horarias (en el sentido contrario de las agujas del reloj), tiene que ser igual a la suma aritmética de los momentos o fuerzas que están asociados a las rotaciones horarias (en el sentido de las agujas del reloj):

Podemos concluir que un cuerpo se encuentra en equilibrio traslacional y rotacional cuando se verifiquen de forma simultánea las dos condiciones de equilibrio. Estas condiciones de equilibrio se convierten, gracias al álgebra vectorial, en un sistema de ecuaciones cuya solución será la solución de la condición del equilibrio.

4.2 Estudio de una escalera apoyada en dos paredes perpendiculares entre sí.

En este montaje se realizarán dos ensayos.

El primero de ellos estudia una escalera idealmente apoyada en la que no existe rozamiento entre los apoyos y las superficies de las paredes. En los extremos de la escalera se han colocado unos rodamientos, que garantizan esta condición.

En el segundo se trata de una escalera idealmente apoyada en la pared vertical pero en la que existe rozamiento entre el suelo y la escalera. Se determinará la fuerza de rozamiento entre la superficie de apoyo y el suelo.

En ambos ensayos existe la posibilidad de:

- Variar el ángulo formado por la escalera, para ello los medidores han sido montados en unos soportes deslizantes sobre unas guías.

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

- El punto de actuación de la carga, la barra que hace las funciones de escalera lleva a lo largo de ella varios orificios.
- La cantidad de carga que se aplica, mediante la adición de pesas en un porta pesas.

4.2.1 Escalera idealmente apoyada sin rozamiento.

Las fuerzas que actúan sobre la escalera (de peso nulo) son:

La fuerza debida a la gravedad, P , que actúa hacia abajo sobre el centro de gravedad, y las fuerzas F_2 y F_3 ejercidas horizontalmente por las paredes (como las paredes no poseen rozamiento, sólo ejercerá una fuerza normal). Al no haber ningún tipo de rozamiento, las fuerzas horizontales, F_2 y F_3 , son iguales y la reacción normal del suelo, F_1 , es igual a la fuerza P , como se puede apreciar en la Figura 11.

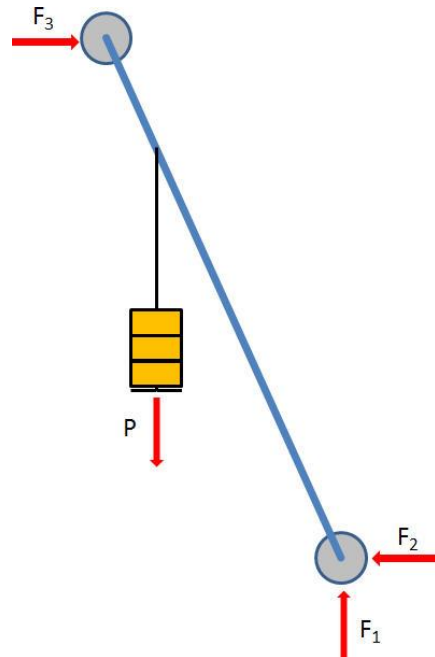


Figura 11

Para realizar ésta experiencia necesitaremos, dispuesto como muestra la Figura 14, el siguiente material:

- Un soporte en “L”, dotado con guías para desplazamientos.
- Medidor de fuerzas X-Y (Figura 12). Se trata de un soporte en el que se han instalado dos células de carga, formando un ángulo de 90° entre sí. Contiene el amplificador/conversor ADC y los conectores necesarios para comunicarse con Arduino. Está dotado de guía para poder desplazarse manualmente sobre el soporte en “L”. Lo colocaremos en brazo el horizontal del soporte. Con él mediremos las fuerzas F_1 y F_2 . Se puede ver planos y más fotos del medidor en los anexos 2 y 6 de la memoria.

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

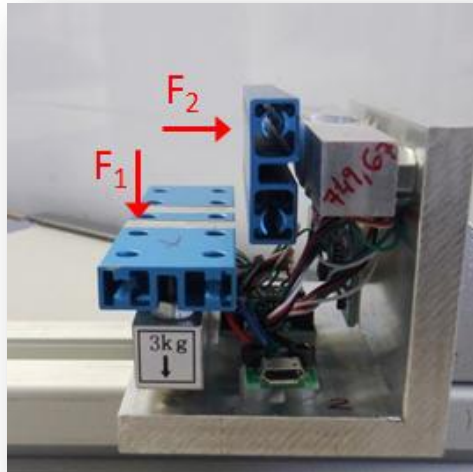


Figura 12

- Medidor de fuerza X (Figura 13). Se trata de un dispositivo en el que se ha instalado una célula de carga, el amplificador/conversor ADC y el conector necesario para comunicarse con Arduino. Está dotado de guía para poder desplazarse manualmente sobre el soporte en "L". Lo colocaremos en brazo vertical del soporte. Con él mediremos la fuerza F_3 . Se puede ver planos y fotos del medidor en los anexos 2 y 6 de la memoria.

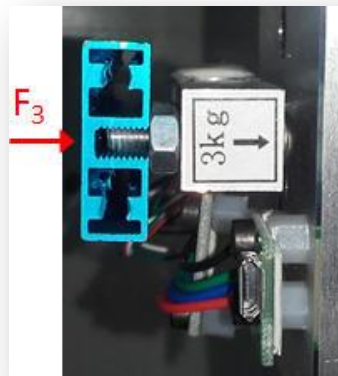


Figura 13

- Escalera. En una barra se han colocado en sus extremos unos rodamientos, para eliminar el rozamiento entre la escalera y las

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

superficies de apoyo. La barra lleva una serie de agujeros que permiten colocar la carga en distintos puntos.

- Pesas y porta pesas. Disponemos de varias pesas para poder realizar un conjunto de medidas.
- Caja de mediciones. Caja de instrumentación que ha sido mecanizada para introducir en ella la placa Arduino, un display de visualización de datos y los conectores necesarios para comunicarse con las células de carga. Se debe respetar la numeración de los conectores al conectar las células de carga a la caja de mediciones

En la siguiente imagen se pueden apreciar los elementos descritos

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES



Figura 14

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

Para realizar el ensayo procedemos de la siguiente manera:

- Colocamos la escalera sobre las células de carga. En la superficie de apoyo de las células se han fresado unas ranuras que nos ayudan al posicionamiento de la escalera.
- Colocamos el porta pesas en uno de los orificios que tiene la escalera.
- Conectamos las células de carga con la caja de medida, prestando atención a la numeración de las células. Encendemos la caja de medida.
- Pulsamos el botón de tarado en la caja de medidas. Se efectúa el tarado. Así realizaremos los ensayos con una escalera ideal, sin peso.
- Vamos añadiendo pesas al porta pesas, y anotamos las reacciones. Éstas vienen dadas en newtons.

En la Tabla 2, se muestran los datos medidos experimentalmente y se comparan con los calculados teóricamente, Tabla 3, para la configuración geométrica que se muestra en la Figura 15.

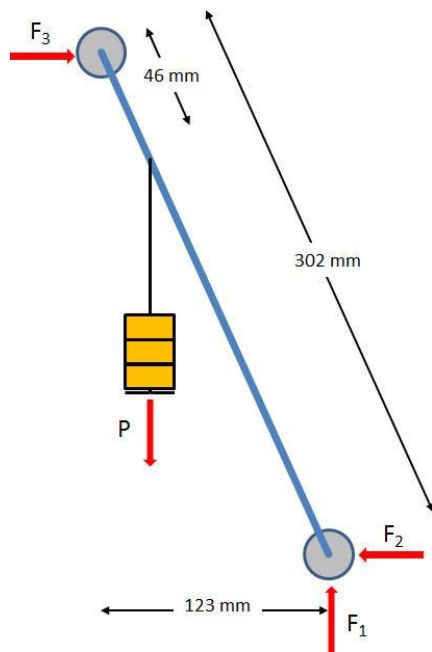


Figura 15

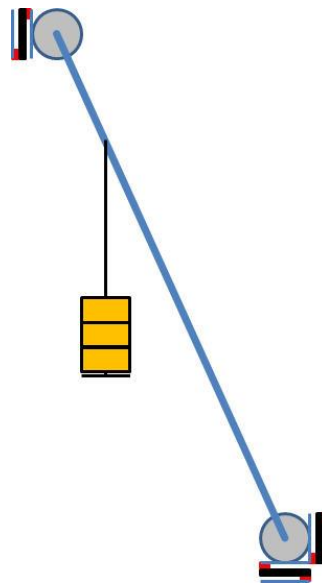


Figura 16

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

| Medidas experimentales | | | | | |
|------------------------|----------|-------|-------|--------|--------|
| Pesas | Peso (g) | P (N) | F1(N) | F2 (N) | F3 (N) |
| 1 | 55 | 0,54 | 0,55 | 0,21 | 0,21 |
| 2 | 110 | 1,08 | 1,10 | 0,41 | 0,42 |
| 3 | 165 | 1,62 | 1,63 | 0,60 | 0,62 |
| 4 | 220 | 2,16 | 2,18 | 0,81 | 0,82 |
| 5 | 275 | 2,70 | 2,73 | 1,02 | 1,03 |
| 6 | 330 | 3,24 | 3,27 | 1,21 | 1,23 |
| 7 | 385 | 3,78 | 3,81 | 1,43 | 1,43 |

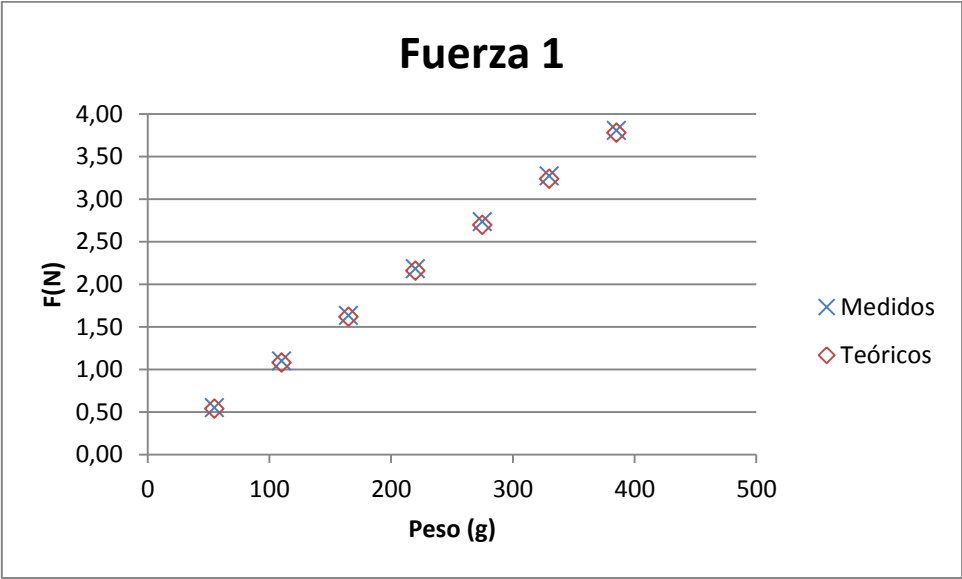
Tabla 2

| Cálculos teóricos | | | | | |
|-------------------|----------|-------|-------|--------|--------|
| Pesas | Peso (g) | P (N) | F1(N) | F2 (N) | F3 (N) |
| 1 | 55 | 0,54 | 0,54 | 0,20 | 0,20 |
| 2 | 110 | 1,08 | 1,08 | 0,41 | 0,41 |
| 3 | 165 | 1,62 | 1,62 | 0,61 | 0,61 |
| 4 | 220 | 2,16 | 2,16 | 0,82 | 0,82 |
| 5 | 275 | 2,70 | 2,70 | 1,02 | 1,02 |
| 6 | 330 | 3,24 | 3,24 | 1,22 | 1,22 |
| 7 | 385 | 3,78 | 3,78 | 1,43 | 1,43 |

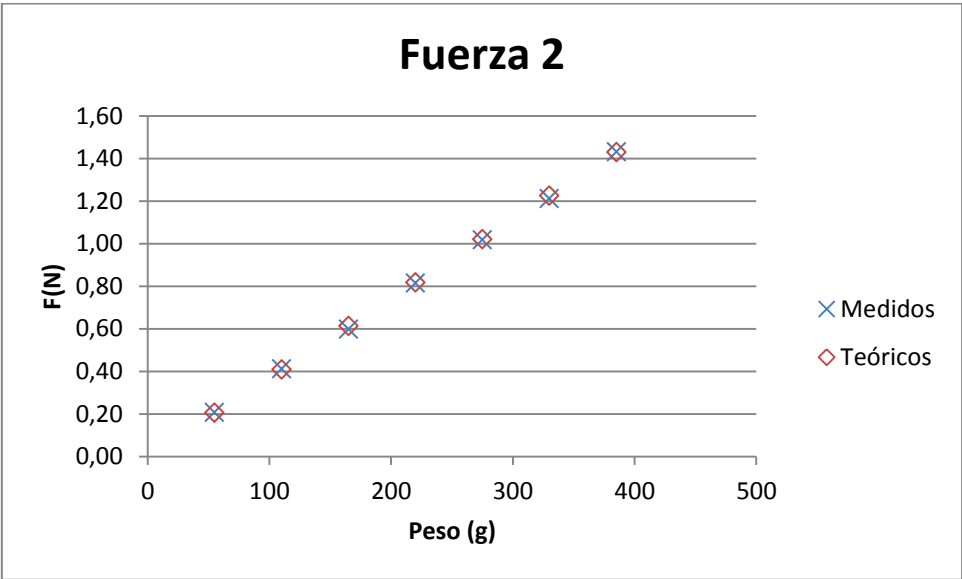
Tabla 3

En las siguientes gráficas se comparan los resultados medidos experimentalmente con los calculados teóricamente, para la fuerzas F1, F2 y F3.

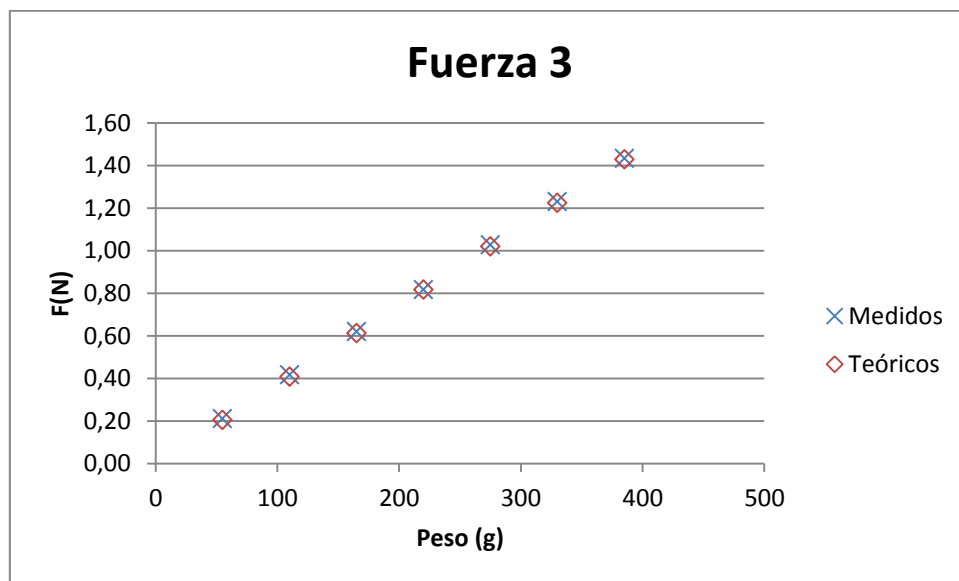
DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES



Gráfica 3



Gráfica 4



Gráfica 5

4.2.2 Escalera con rozamiento en el suelo e idealmente apoyada en la pared vertical.

Las fuerzas que actúan, como muestra la figura 17, sobre la escalera son: La fuerza debida a la gravedad P que actúa hacia abajo sobre el centro de gravedad, y la fuerza F_3 ejercida horizontalmente por la pared (como la pared no poseen rozamiento, sólo ejercerá una fuerza normal), y la fuerza ejercida por el suelo, que es la suma de una fuerza normal N y una fuerza horizontal de rozamiento estático f_e . A partir de la primera condición de equilibrio obtenemos:

$$N = P \quad \text{y} \quad F_3 = f_e$$

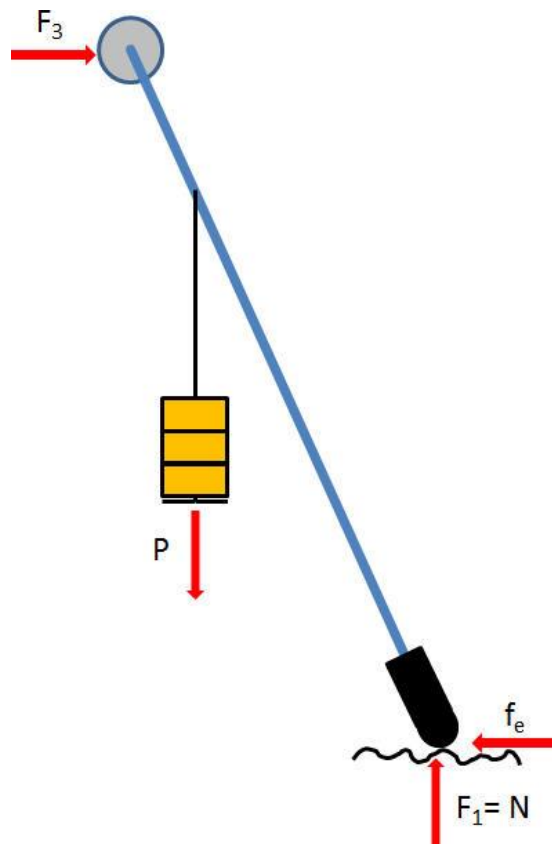


figura 17

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

Para resolver el problema, teóricamente, no conocemos f_e ni F_3 . Debemos utilizar la segunda condición de equilibrio y calcular los momentos respecto al punto que más nos convenga elegir. Elegimos el punto de contacto entre la escalera y el suelo, porque tanto N como f_e actúan sobre éste punto y por tanto no figurarán en la ecuación de momentos.

$$a \cdot F_3 = b \cdot P \quad (\text{ver Figura 19})$$

De la ecuación de momentos obtenemos el valor de la reacción en la pared vertical F_3 .

Para realizar ésta experiencia necesitaremos el siguiente material:

- Un soporte en “L”, dotado con guías para desplazamientos.
- Medidor de fuerzas X-Y. Utilizaremos éste dispositivo, pero la escalera no debe apoyarse en la célula vertical.
- Medidor de fuerza X.
- Escalera. En una barra se han colocado en uno de sus extremos unos rodamientos que minimizan el rozamiento entre la escalera y la pared vertical. En el otro extremo, el que apoya en el suelo, se ha colocado un taco de goma.
- Pesas y porta pesas.
- Caja de mediciones.

Para realizar el ensayo procedemos de manera similar que con la escalera ideal, pero aquí el apoyo de la escalera en el suelo no debe estar en contacto con célula de carga número 2 (vertical), tal como muestra la Figura 18.

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

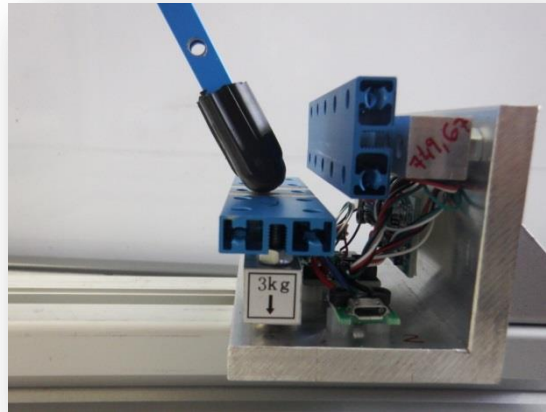


Figura 18

A continuación se muestran los datos medidos experimentalmente, Tabla 4, y se comparan con los calculados teóricamente, Tabla 5, para la configuración geométrica que se muestra en la Figura 20.

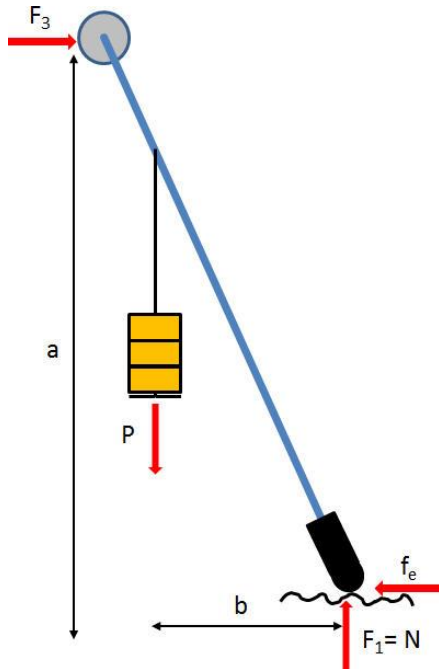


Figura 19

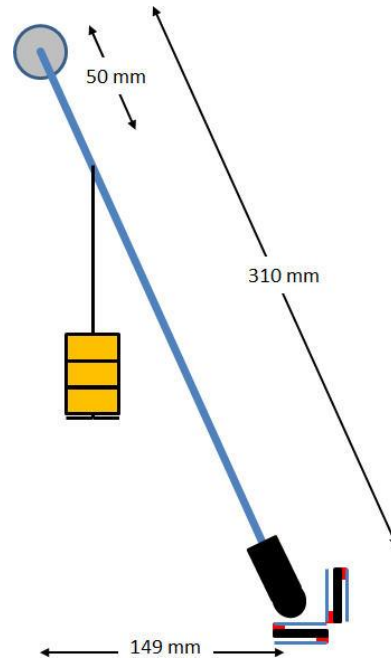


Figura 20

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

| Medias experimentales | | | | |
|-----------------------|----------|-------|--------|--------|
| Pesa | Peso (g) | P (N) | F1 (N) | F3 (N) |
| 1 | 55 | 0,54 | 0,54 | 0,25 |
| 2 | 110 | 1,08 | 1,08 | 0,50 |
| 3 | 165 | 1,62 | 1,63 | 0,76 |
| 4 | 220 | 2,16 | 2,16 | 1,01 |
| 5 | 275 | 2,70 | 2,69 | 1,25 |
| 6 | 330 | 3,24 | 3,28 | 1,51 |
| 7 | 385 | 3,78 | 3,79 | 1,76 |

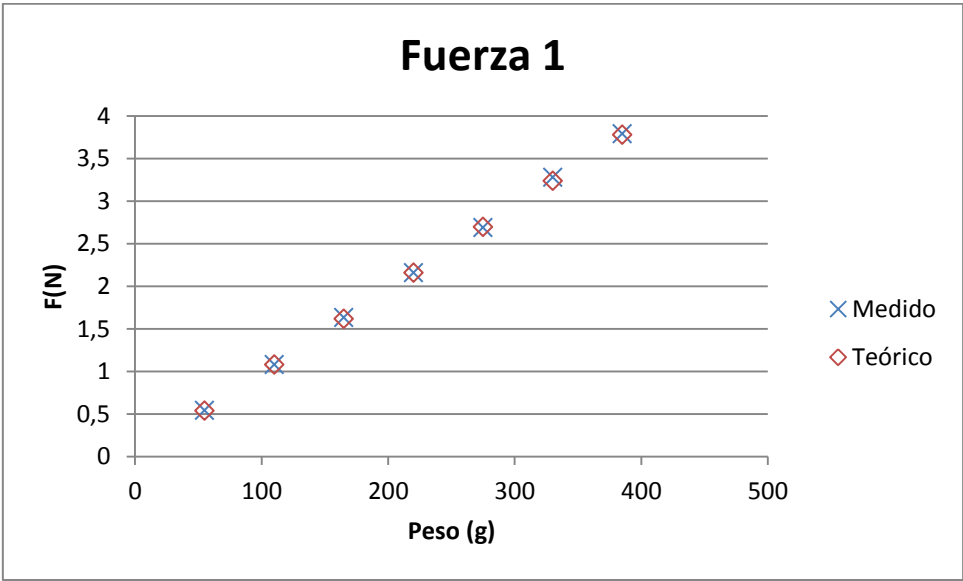
Tabla 4

| Cálculos teóricos | | | | |
|-------------------|----------|-------|-------|--------|
| Pesa | Peso (g) | P (N) | N (N) | F3 (N) |
| 1 | 55 | 0,54 | 0,54 | 0,26 |
| 2 | 110 | 1,08 | 1,08 | 0,52 |
| 3 | 165 | 1,62 | 1,62 | 0,77 |
| 4 | 220 | 2,16 | 2,16 | 1,03 |
| 5 | 275 | 2,70 | 2,70 | 1,29 |
| 6 | 330 | 3,24 | 3,24 | 1,55 |
| 7 | 385 | 3,78 | 3,78 | 1,81 |

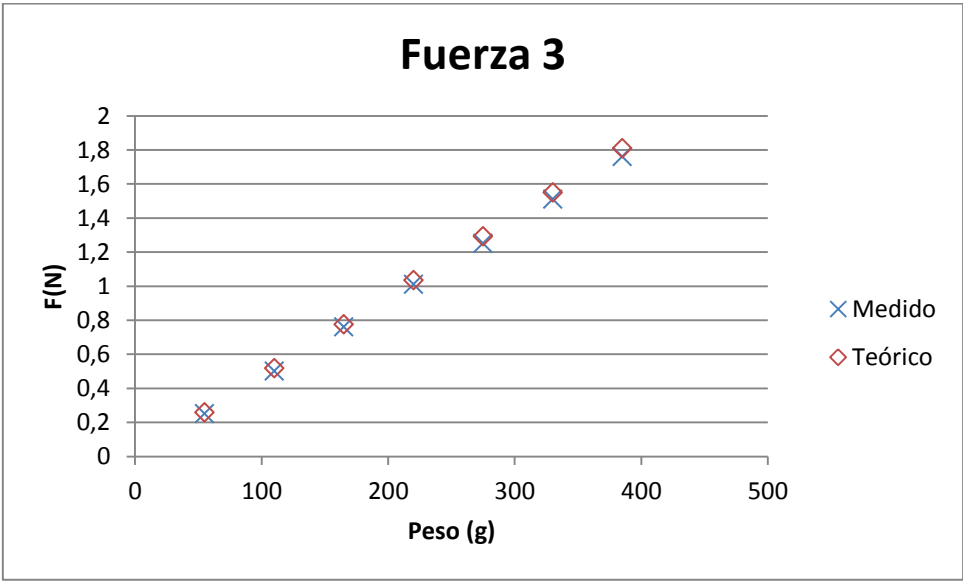
Tabla 5

En las siguientes gráficas se comparan los resultados medidos experimentalmente con los calculados teóricamente, para la fuerzas F1(N), y F3.

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES



Gráfica 6



Gráfica 7

4.3 Esfuerzos en cercha simples. Descomposición de fuerzas

Una celosía se llama estáticamente determinada o totalmente isostática si se aplican sucesivamente las ecuaciones de equilibrio mecánico, primero al conjunto de la estructura, para determinar sus reacciones, y luego a las partes internas, para determinar los esfuerzos sobre cada uno de los elementos que la integran.

Estas dos condiciones se llaman:

- Isostaticidad externa, cuando es posible calcular las reacciones usando exclusivamente las ecuaciones de la estática. Para que eso suceda el número de grados de libertad de la celosía debe ser a lo sumo de tres, puesto que sólo existen tres ecuaciones independientes de la estática aplicables al conjunto de la estructura.
- Isostaticidad interna, cuando es posible determinar los esfuerzos internos de cada una de las barras que forman la estructura utilizando únicamente las ecuaciones que nos da la estática. Esta condición requiere que se cumpla la relación entre el número de barras y nudos sea $b + 3 = 2n$, siendo b el número de barras y n el número de nudos

En cuanto al número de ecuaciones de la estática, al no existir momentos flectores y ejercer cada barra sólo esfuerzo según su eje, se puede ver que en cada uno de los n nudos de la estructura las fuerzas verticales y horizontales deben anularse, eso nos da dos ecuaciones por nudo. En total podemos plantear el equilibrio de cada nudo

El montaje se compone de tres barras, que se conectan entre sí de forma articulada. Los apoyos sobre el perfil de aluminio, que hace de base del sistema, uno de ellos es fijo, anclado mediante tornillos a la barra. El otro es libre, para ello se han colocado unos rodamientos que permiten el deslizamiento y garantizan que el rozamiento sea despreciable. Con esta configuración se trata de una cercha isostática. Las fuerzas externas que actúan sobre la cercha son las representadas en la Figura 21:

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

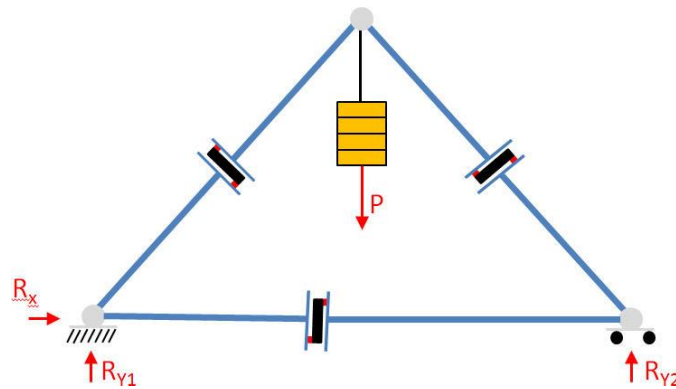


Figura 21

Las uniones de las barras (nudos) se realizan mediante elementos que permiten el giro. En el plano, las barras sólo trabajan a compresión o a tracción. Las fuerzas que actúan en cada nudo se muestran en la Figura 22

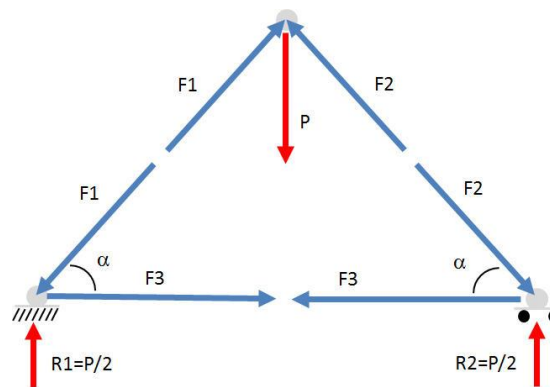


Figura 22

Con el método de los nudos se pueden determinar los esfuerzos en las barras.

Para el nudo izquierdo:

$$\sum F_x = 0 \quad F_3 = F_1 \cos \alpha$$
$$\sum F_y = 0 \quad R_1 = \frac{P}{2} = F_1 \sin \alpha \quad ; \quad F_1 = \frac{P}{2 \sin \alpha}$$

Para el nudo derecho:

$$\sum F_x = 0 \quad F_3 = F_2 \cos \alpha$$
$$\sum F_y = 0 \quad R_2 = \frac{P}{2} = F_2 \sin \alpha \quad ; \quad F_2 = \frac{P}{2 \sin \alpha}$$

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

En la práctica, los esfuerzos en las barras se determinan mediante las células de carga que se han instalado en el centro de ellas (en la inferior ha sido ligeramente desplazada para prevenir que una caída accidental de las pesas pueda dañar la célula).

Para realizar el ensayo partimos de la celosía sin ninguna carga, sólo las debidas a su propio peso y la del porta pesas. Nos aseguramos que las células están conectadas correctamente a la caja de medidas, respetando la numeración marcada tanto en las células como en la caja. Encendemos la caja de medidas. Cargamos una pesa y pulsamos el botón de tarado. Vamos añadiendo pesas y anotamos los esfuerzos que se ocasionan en las barras.

A continuación se muestran los datos medidos experimentalmente, tabla 6, y se comparan con los calculados teóricamente, tabla 7, para la configuración geométrica que se muestra en la Figura 23

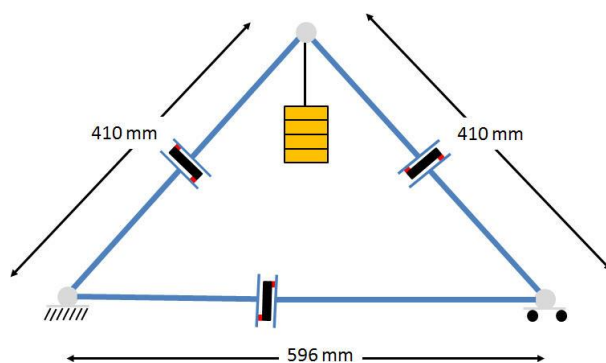


Figura 23

| Medias experimentales | | | | | |
|-----------------------|----------|--------|--------|-------|-------|
| Pesa | Peso (g) | R1 (N) | F1 (N) | F2(N) | F3(N) |
| 1 | 55 | 0,27 | 0,40 | 0,40 | 0,27 |
| 2 | 110 | 0,54 | 0,79 | 0,79 | 0,55 |
| 3 | 165 | 0,81 | 1,18 | 1,18 | 0,85 |
| 4 | 220 | 1,08 | 1,57 | 1,58 | 1,18 |
| 5 | 275 | 1,35 | 1,96 | 1,96 | 1,43 |
| 6 | 330 | 1,62 | 2,36 | 2,35 | 1,70 |
| 7 | 385 | 1,89 | 2,76 | 2,76 | 1,99 |

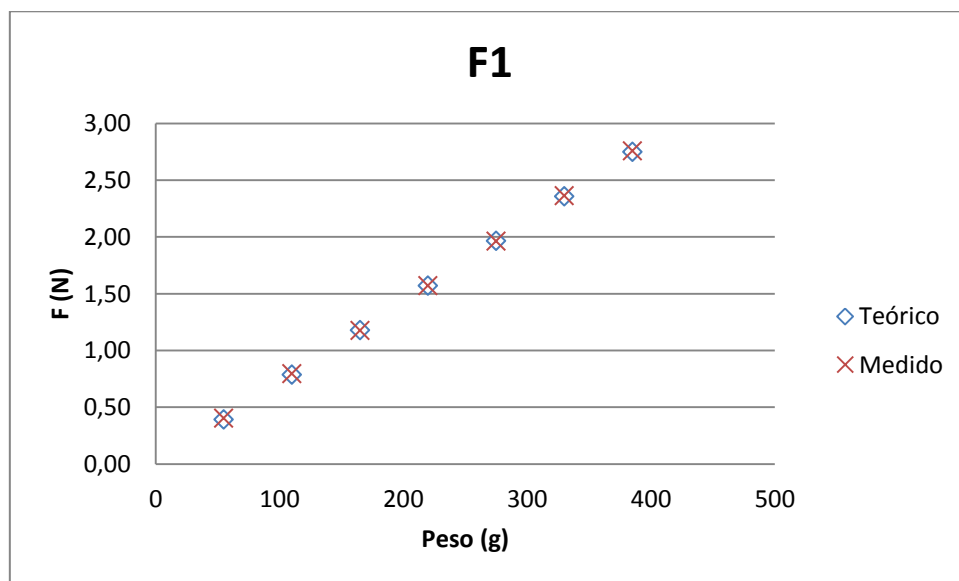
Tabla 6

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

| Cálculos teóricos | | | | | |
|-------------------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Pesa | Peso (g) | R1(N) | F1(N) | F2(N) | F3(N) |
| 1 | 55 | 27,5 | 0,39 | 0,39 | 0,29 |
| 2 | 110 | 55 | 0,79 | 0,79 | 0,57 |
| 3 | 165 | 82,5 | 1,18 | 1,18 | 0,86 |
| 4 | 220 | 110 | 1,57 | 1,57 | 1,14 |
| 5 | 275 | 137,5 | 1,96 | 1,96 | 1,43 |
| 6 | 330 | 165 | 2,36 | 2,36 | 1,71 |
| 7 | 385 | 192,5 | 2,75 | 2,75 | 2,00 |

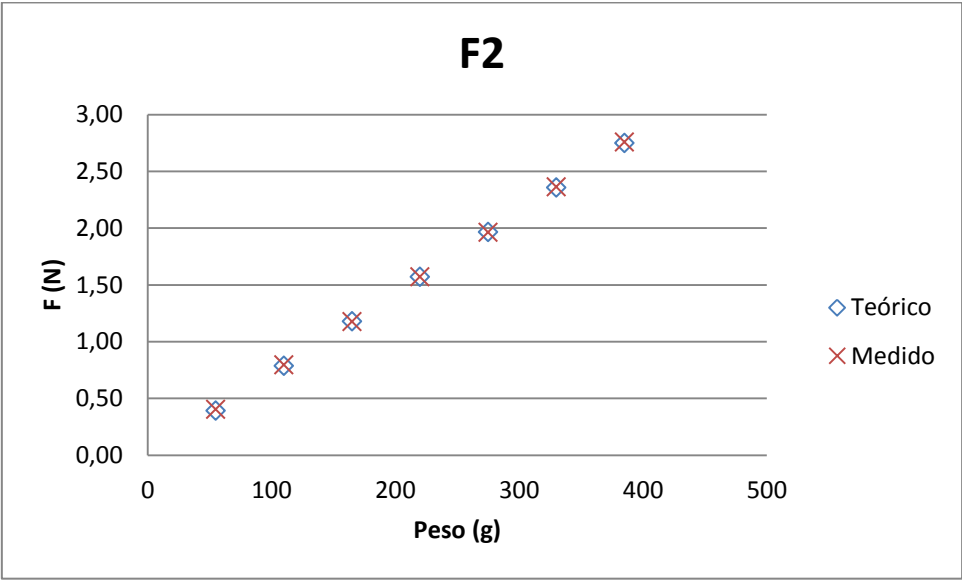
Tabla 7

En las siguientes gráficas se comparan los resultados medidos experimentalmente con los calculados teóricamente, para la fuerzas F1, F2 y F3.

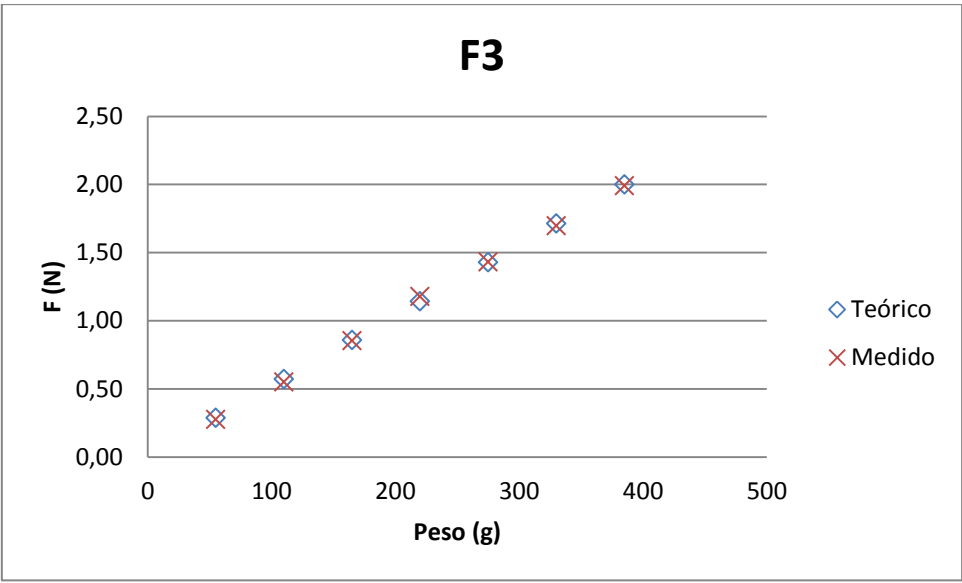


Gráfica 8

DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES



Gráfica 9



Gráfica 10

5 CONCLUSIONES

El Trabajo realizado aúna varias facetas de la actividad profesional de un ingeniero, como son: realización de estudios técnicos, resolución de problemas y ejecución práctica de las soluciones propuestas. La didáctica y la docencia, actualmente, ofrecen también salidas profesionales a los ingenieros.

Los montajes realizados son una herramienta didáctica para los docentes en la resolución de ejercicios. Un problema en papel, a la manera tradicional, aleja al alumno de la situación real. Aquí el alumno puede introducir variables y comprobar, in situ, sus efectos.

En la elaboración del Trabajo Fin de Grado ha habido tres áreas de trabajo.

La primera que se desarrolló fue la parte electrónica con la elección de los sensores, amplificador/conversor ADC, microprocesador y desarrollo de software. El sistema de medida ofrece la precisión suficiente para tratarse de montajes didácticos y su coste es muy inferior a cualquier sistema de medida de fuerzas comercial. En el diseño se prestó especial atención a la robustez del sistema. Hay que tener en cuenta que los montajes van a ser utilizados en sesiones de prácticas en las que pasan muchos alumnos.

La segunda fase se centró en el desarrollo de la parte mecánica, con la elección de los materiales que forman parte los montajes. La disyuntiva fue, entre el diseño y fabricación de todos los elementos, o utilizar materiales comerciales. Se optó, siempre que fuese posible, por utilizar los elementos comerciales de Makeblock. El resto de piezas utilizadas se ha realizado con las máquinas herramientas que dispone el Departamento. La decisión fue acertada, Makeblock ofrece piezas muy versátiles, de coste razonable. También se ha prestado especial atención en realizar un diseño que resulte atractivo, visualmente para el usuario.

La tercera parte, y la más importante, fue el ensamblado de los montajes. Se han resuelto los problemas que conlleva dar el salto del diseño en plano de un elemento, a su montaje real. Los montajes están ajustados y calibrados para poderse usar en una sesión de prácticas.

En cuanto a las medidas obtenidas, se ajustan a las esperadas en los cálculos teóricos. Podemos decir que son válidas, sobre todo teniendo en cuenta la sencillez de los medios empleados y cumplen perfectamente las expectativas iniciales.

CONCLUSIONES

Hay que destacar la versatilidad de los montajes. Han sido diseñados de tal forma, que variando la disposición de los elementos se puedan realizar otras prácticas (ver fotos en el anexo de la memoria).

Esperamos que los montajes les sean útiles a las futuras personas que se gradúen en Ingeniería y les ayuden a comprender mejor los problemas planteados.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

DIAZ, Jesús. *Introducción a la Electrónica de Medida*. Alcalá de Henares: Universidad, Servicio de publicaciones, 1995.

TORRENTE ARTERO, Óscar. *El mundo GENUINO-ARDUINO. Curso práctico de formación*.:RC LIBROS (SC LIBRO), 2016.

TIPLER Paul_; MOSCA Gene .*Física para la Ciencia y la Tecnología (VOL. I)* (6ª ED.). Reverte, 2010

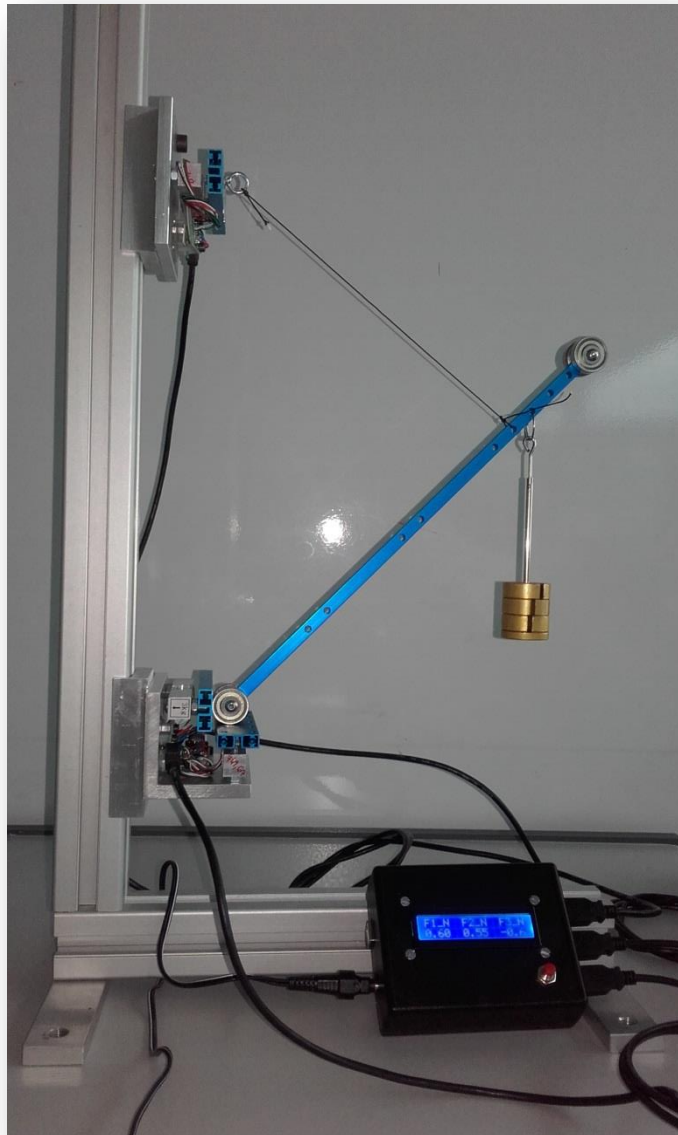
BOLTON, W. *Mechatronics. Electronic control systems in mechanical engineering*. Longman, 1995.

CREUS SOLÉ, Antonio. *Instrumentación industrial - - 8va Edición*. Marcombo 2.010.

6 ANEXOS

6.1 OTRAS POSIBLES PRÁCTICAS

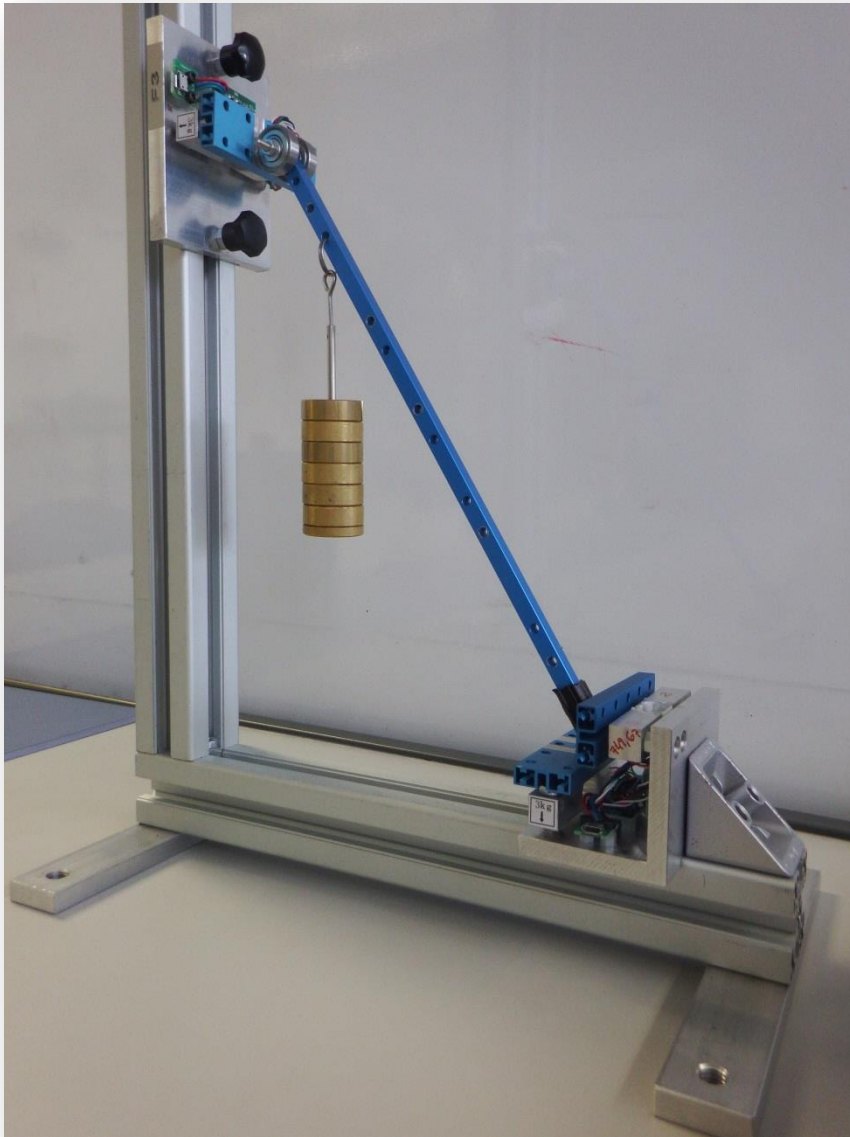
Cambiando la disposición de los medidores e introduciendo ligeras variaciones, con el montaje, se puede abordar otro de los problemas típicos en las colecciones de problemas que tratan la estática: la grúa.



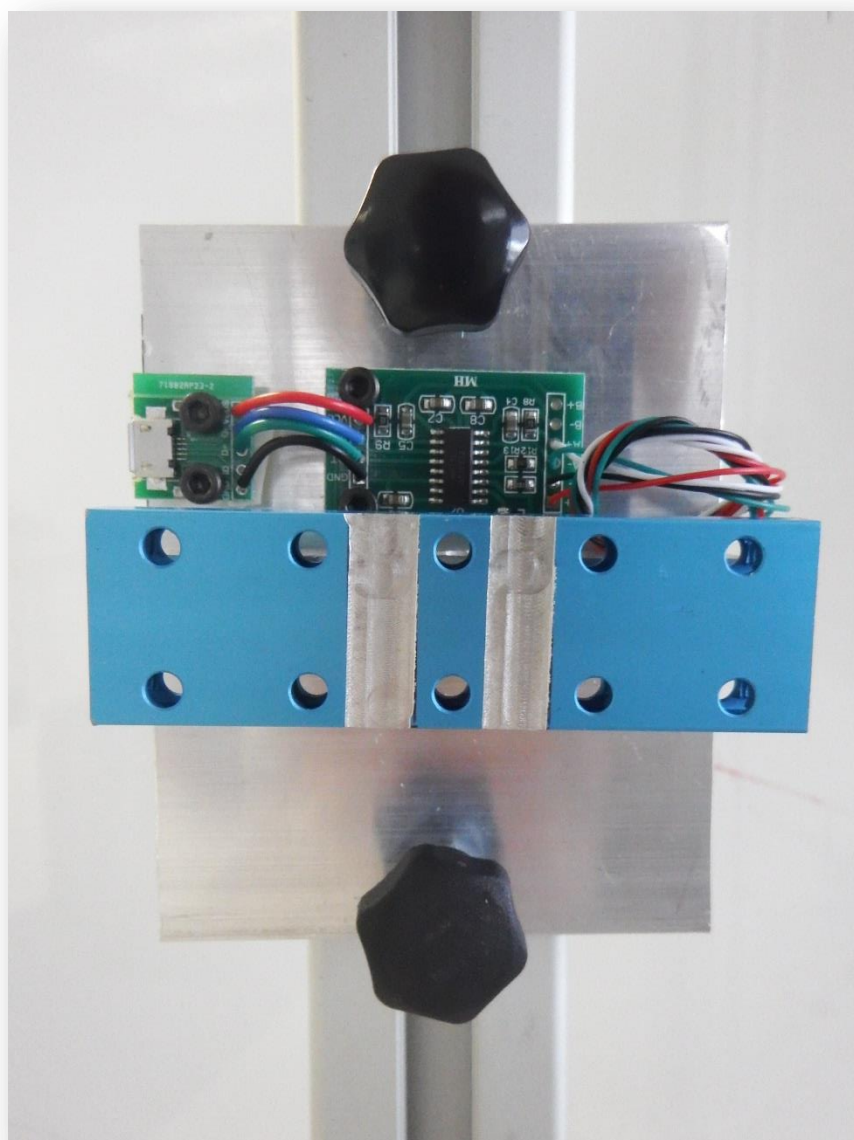
ANEXOS

6.2 FOTOS

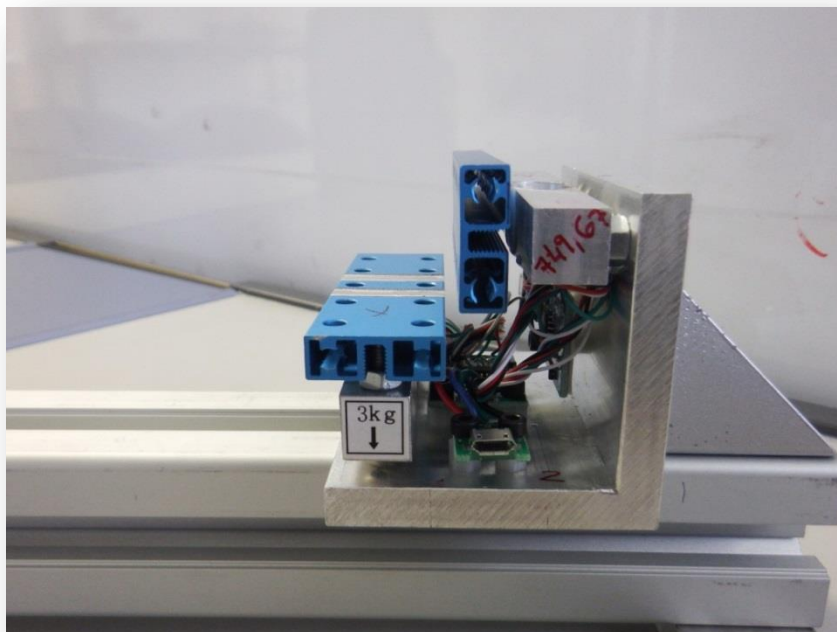
6.2.1 Escalera



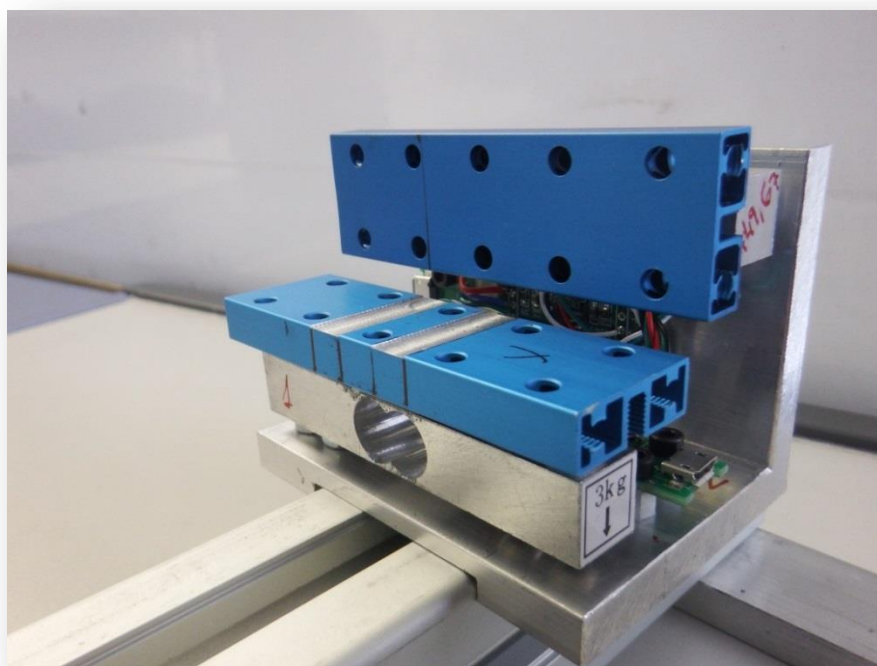
Montaje escalera con rozamiento. Vista general



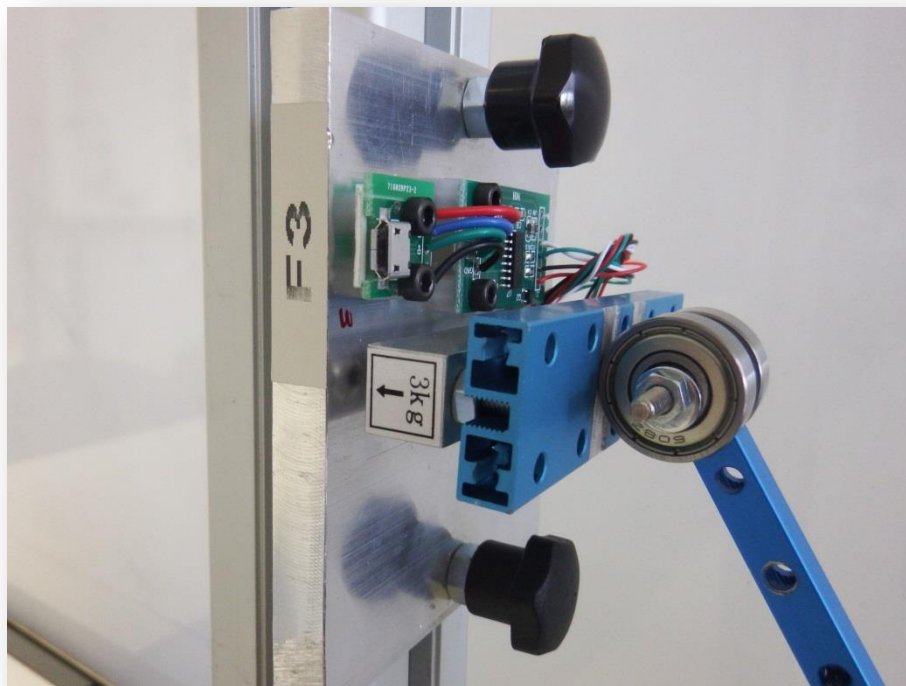
Detalle medidor pared vertical (medidor X)



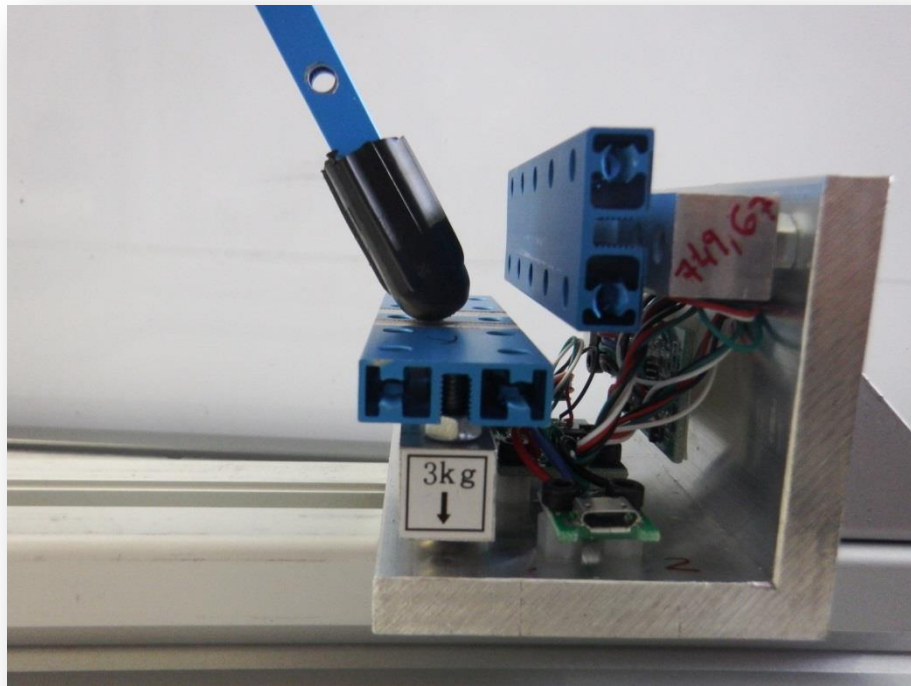
Detalle medidor medidor X-Y



Detalle medidor X-Y



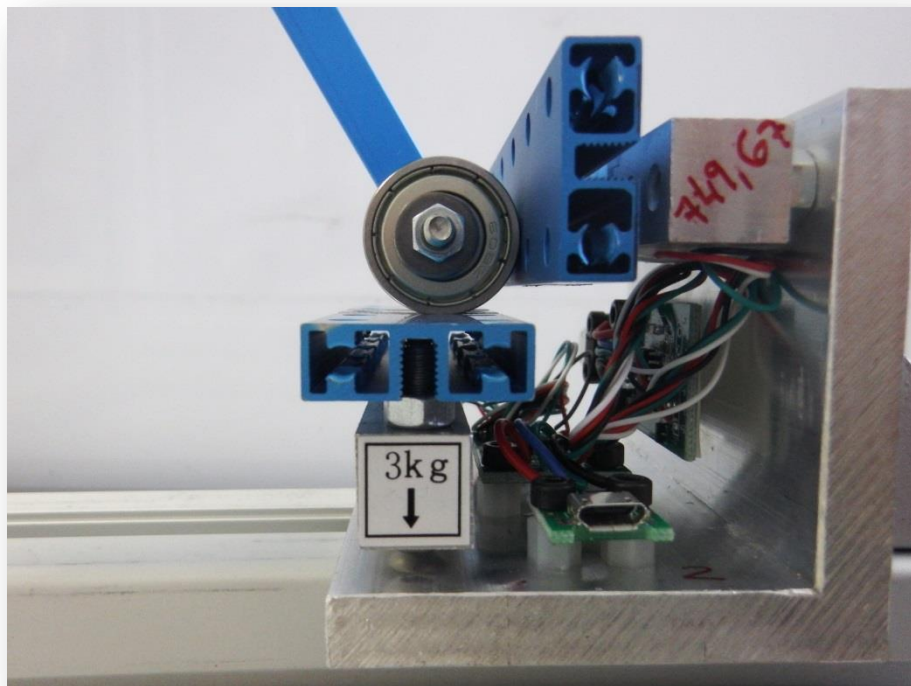
Detalle medidor pared vertical



Detalle medidor X-Y (con rozamiento)



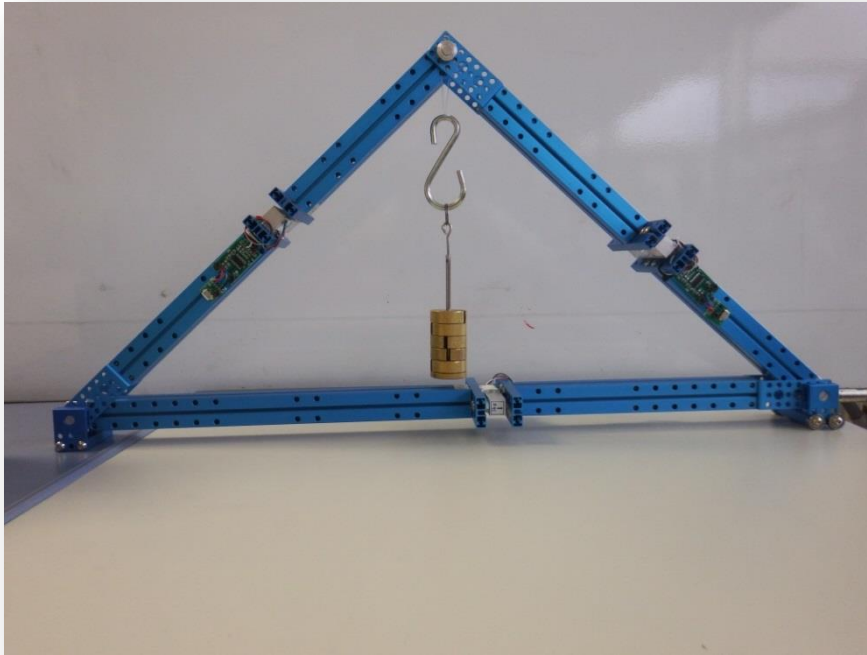
Montaje escalera sin rozamiento. Vista general



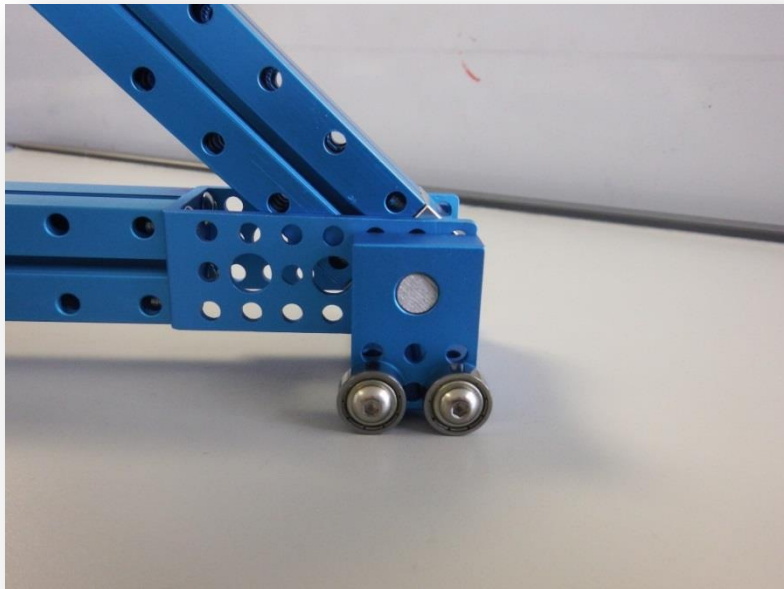
Detalle medidor X-Y (sin rozamiento)

ANEXOS

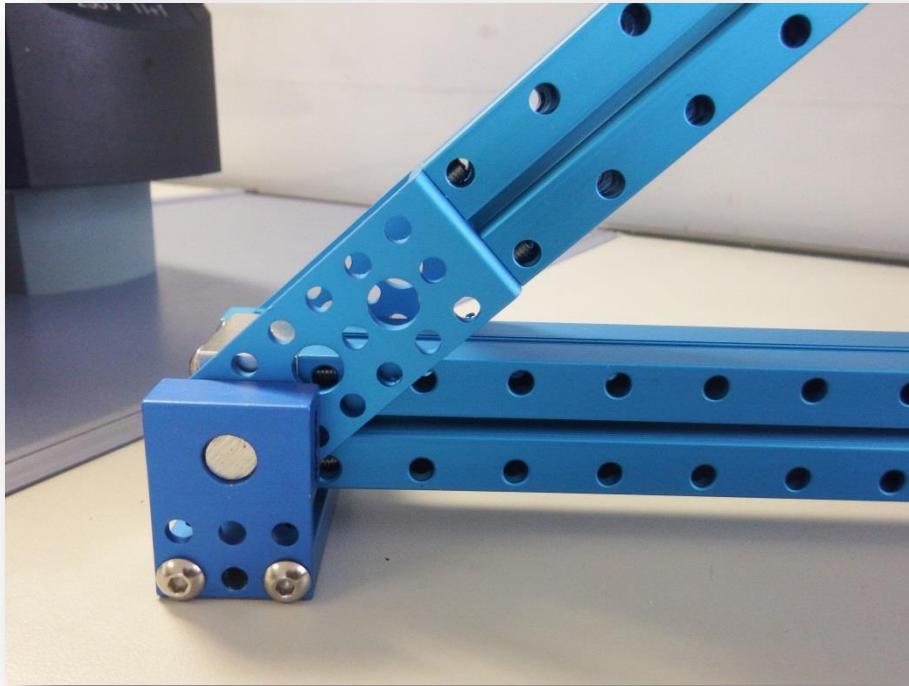
6.2.2 Cercha



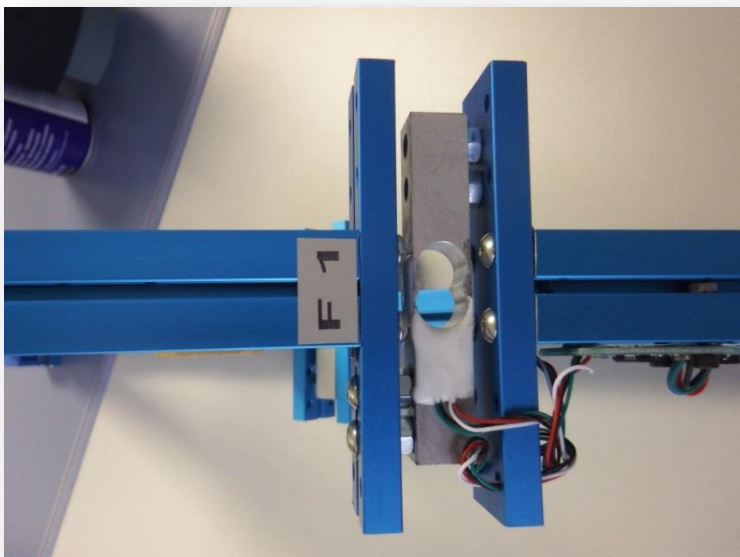
Cercha. Vista general



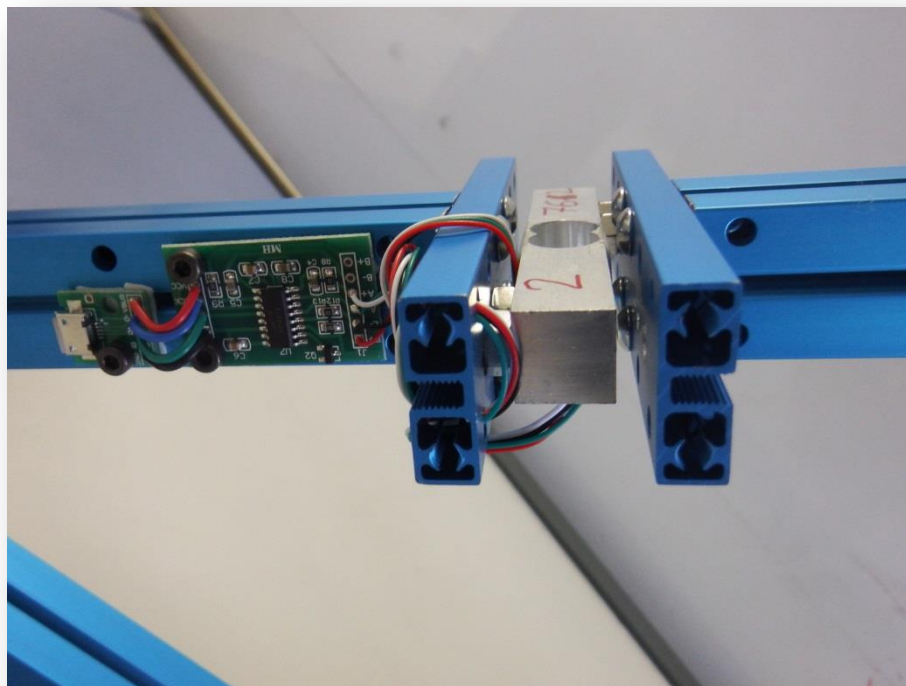
Cercha. Detalle apoyo con deslizamiento



Cercha. Detalle apoyo sin deslizamiento



Cercha. Detalle célula de carga.



Cercha. Detalle célula de carga.

ANEXOS

6.2.3 Caja de mediciones



Caja de mediciones

6.3 PRESUPUESTO

En éste anexo se detalla el coste de cada uno de los montajes.

6.3.1 Escalera apoyada en dos paredes perpendiculares

| Unid. | Descripción | Precio unitario | Precio |
|-------|--|-----------------|---------------|
| 3 | Célula de carga | 4,45 | 13,35 |
| 3 | Amplificador conversor ADC | 1,59 | 4,77 |
| 3 | Conector micro USB (hembra) | 1 | 3 |
| 3 | Conector USB TIPO A Hembra PCB 90 Grados | 0,4 | 1,2 |
| 6 | Rodamiento Bola 22 x 8 x 7 mm tipo 608 | 1,29 | 7,74 |
| 3 | Viga 0824 80mm | 2,75 | 8,25 |
| 1 | Beam0808-312-Blue(Pair) | 9,99 | 9,99 |
| 1 | Perfil 40 x 40 item (metro) | 19,12 | 19,12 |
| 1 | Arduino UNO | 4,22 | 4,22 |
| 1 | Display 16 x 2 | 2,63 | 2,63 |
| 1 | CAJA ABS 120X100X50 | 10,74 | 10,74 |
| 1 | Pulsador rojo 1A 250V | 1,45 | 1,45 |
| 3 | Cable USB2.0 to Micro USB Data 1,8 m | 1,6 | 4,8 |
| 1 | Fuente De Alimentación Cargador AC 100-240V A DC 7.5V 1A 7.5W | 2,95 | 2,95 |
| 1 | Tornillería | 3 | 3 |
| 3 | Horas mecanizado SAI mecánica de precisión | 20 | 60 |
| | | | 157,21 |

6.3.2 Esfuerzos en celosías simples

| Unid. | Descripción | Precio unitario | Precio |
|--------------|--|------------------------|---------------|
| 3 | Célula de carga | 4,45 | 13,35 |
| 3 | Amplificador conversor ADC | 1,59 | 4,77 |
| 3 | Conector micro USB (hembra) | 1 | 3 |
| 3 | Conector USB TIPO A Hembra PCB 90 Grados | 0,4 | 1,2 |
| 3 | Viga 0824 96mm | 3,25 | 9,75 |
| 1 | Beam0808-312-Blue(Pair) | 9,99 | 9,99 |
| 1 | Perfil 40 x 40 item (metro) | 19,12 | 19,12 |
| 1 | Arduino UNO | 4,22 | 4,22 |
| 1 | Display 16 x 2 | 2,63 | 2,63 |
| 1 | CAJA ABS 120X100X50 | 10,74 | 10,74 |
| 1 | Pulsador rojo 1A 250V | 1,45 | 1,45 |
| 3 | Cable USB2.0 to Micro USB Data 1,8 m | 1,6 | 4,8 |
| 1 | Fuente De Alimentación Cargador AC 100-240V A DC 7.5V 1A 7.5W | 2,95 | 2,95 |
| 1 | Tornillería | 3 | 3 |
| 1 | Horas mecanizado SAI mecánica de precisión | 20 | 20 |
| 3 | Soporte U | 2,95 | 8,85 |
| 4 | Soporte P3 | 2,75 | 11 |
| 2 | Viga 0824 48mm | 2,25 | 4,5 |
| 6 | Collar ejes 8mm | 2,95 | 17,7 |
| 1 | Varilla aluminio diámetro 8 (1 metro) | 2 | 2 |
| 2 | Slide Unit Bushing with Copper Sleeve 24x24x16mm (Pair) | 19,99 | 39,98 |
| 4 | Rodamiento SMR 84-2Z | 1,5 | 6 |
| | | | 201 |

6.4 PROGRAMAS

En éste apartado de la memoria se muestran los programas que se cargan en Arduino. El primero de ellos se utiliza exclusivamente para el calibrado de las células de carga. El segundo, es el que lleva cargado Arduino, dentro de la caja de mediciones. Para su elaboración se ha usado como base el programa publicado en la web <http://www.naylampmechatronics.com>.

6.4.1 Programa de calibrado

```
#include "HX711.h"

#define DOUT A1

#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  Serial.print("Lectura del valor del ADC:t");

  Serial.println(balanza.read());

  Serial.println("No ponga ningun objeto sobre la balanza");

  Serial.println("Destarando...");

  balanza.set_scale(); //La escala por defecto es 1

  balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

  Serial.println("Coloque un peso conocido:");

}

void loop() {
```



```
Serial.print("Valor de lectura: t");

Serial.println(balanza.get_value(20),0);

delay(100);

}
```

El programa utiliza la librería HX711, que es la que controla el amplificador/conversor ADC, las principales funciones de esta librería son:

- `HX711(byte PinData, byte PinClock)`

Es el constructor del objeto HX711, se puede trabajar con cualquiera de los pines de Arduino.

- `void tare(byte n);`

Establece el peso actual como el peso de tara, **n** indica el número de lecturas que se realizan para obtener la tara, por defecto **n=10**;

- `void set_scale(float scale);`

Establece el valor de la escala, que es el factor de conversión para convertir valor de lectura en un valor con unidades de peso. Por defecto es **scale=1**;

- `long read();`

Espera hasta que el dispositivo esté listo y devuelve la lectura del ADC del HX711

- `long read_average(byte n)`

Realiza **n** veces la lectura del ADC y devuelve el promedio

- `double get_value(byte n)`

Devuelve el valor actual restando el peso de tara. Equivalente a `(read_average() - OFFSET)` . Si se especifica un valor de **n**, devuelve el promedio de **n** lecturas.

- `float get_units(byte n)`

Devuelve el valor actual restado del peso de tara y dividido por la escala. Es equivalente a `(get_value()/SCALE)`. Si se especifica un valor de `n`, devuelve el promedio de `n` lecturas.

6.4.2 Programa de medición

```
#include "HX711.h"

#define DOUT A1

#define CLK A0

#define DOUT2 A3

#define CLK2 A2

#define DOUT3 A5

#define CLK3 A4

HX711 mibalanza(DOUT, CLK);

HX711 mi2balanza(DOUT2, CLK2);

HX711 mi3balanza(DOUT3, CLK3);

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup()

{

mibalanza.set_scale(704.7*101 ); // Establecemos la escala

mibalanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

mi2balanza.set_scale(-749.67*101); // Establecemos la escala

mi2balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

mi3balanza.set_scale(704.12*101 ); // Establecemos la escala

mi3balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
```

```
lcd.begin(16, 2);

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("  TARANDO");

delay(1000);

lcd.clear();

}

void loop() {

lcd.print("F1_N F2_N F3_N ");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(mibalanza.get_units(5), 2);

lcd.print(" ");

lcd.setCursor(6, 1);

lcd.print(-mi2balanza.get_units(5), 2);

lcd.print(" ");

lcd.setCursor(12, 1);

lcd.print(mi3balanza.get_units(5), 2);

delay(3000);

lcd.clear();

}
```

6.5 CALIBRADO DE LAS CÉLULAS

6.5.1 Calibrado célula N°1 del montaje de la escalera

La tabla 8 recoge los datos tomados en la calibración de la célula de carga número 1 del montaje de la escalera y en la figura 8 su recta calibrado, de cuya pendiente obtenemos el factor que introducimos en el programa del Arduino.

| Peso(g) | Dato digital |
|---------|--------------|
| 20 | 14300 |
| 50 | 35250 |
| 100 | 71359 |
| 200 | 142600 |
| 300 | 213876 |
| 400 | 285325 |
| 500 | 356340 |
| 996 | 703237 |
| 1496 | 1059054 |
| 2028 | 1428000 |

Tabla 8

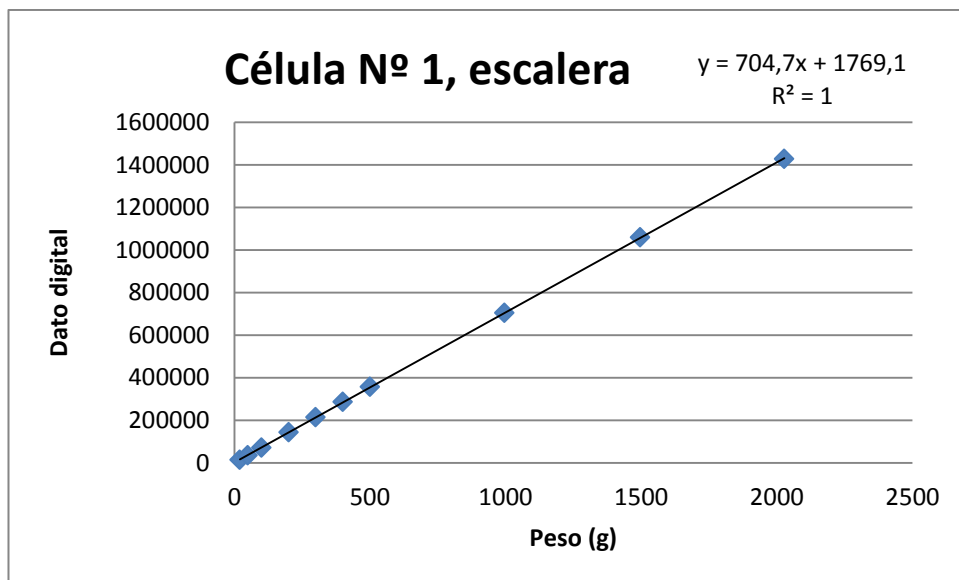


Figura 8

6.5.2 Calibrado célula N°2 del montaje de la escalera

La tabla 9 recoge los datos tomados en la calibración de la célula de carga número 2 del montaje de la escalera y en la figura 9 su recta calibrado, de cuya pendiente obtenemos el factor que introducimos en el programa del Arduino.

| Peso(g) | Dato digital |
|---------|--------------|
| 20 | 15100 |
| 50 | 37280 |
| 100 | 75755 |
| 200 | 151420 |
| 300 | 227090 |
| 400 | 302770 |
| 500 | 378200 |
| 996 | 746830 |
| 1496 | 1124925 |
| 2028 | 1520000 |

Tabla 9

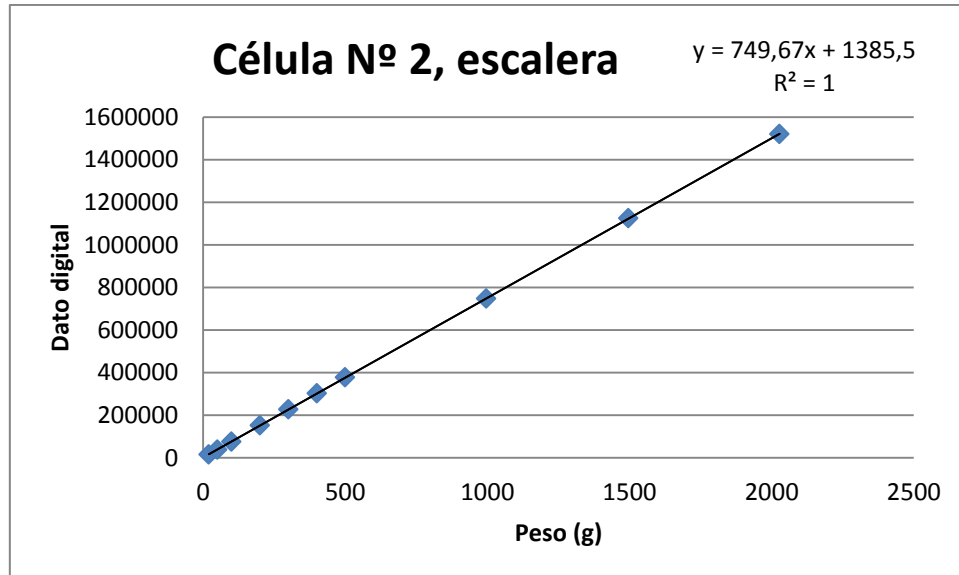


Figura 9

6.5.3 Calibrado célula N°3 del montaje de la escalera

La tabla 10 recoge los datos tomados en la calibración de la célula de carga número 3 del montaje de la escalera y en la figura 10 su recta calibrado, de cuya pendiente obtenemos el factor que introducimos en el programa del Arduino.

| Peso(g) | Dato digital |
|---------|--------------|
| 20 | 14220 |
| 50 | 35070 |
| 100 | 71070 |
| 200 | 142140 |
| 300 | 213190 |
| 400 | 284250 |
| 500 | 355150 |
| 996 | 701380 |
| 1496 | 1056530 |
| 2028 | 1427630 |

Tabla 10

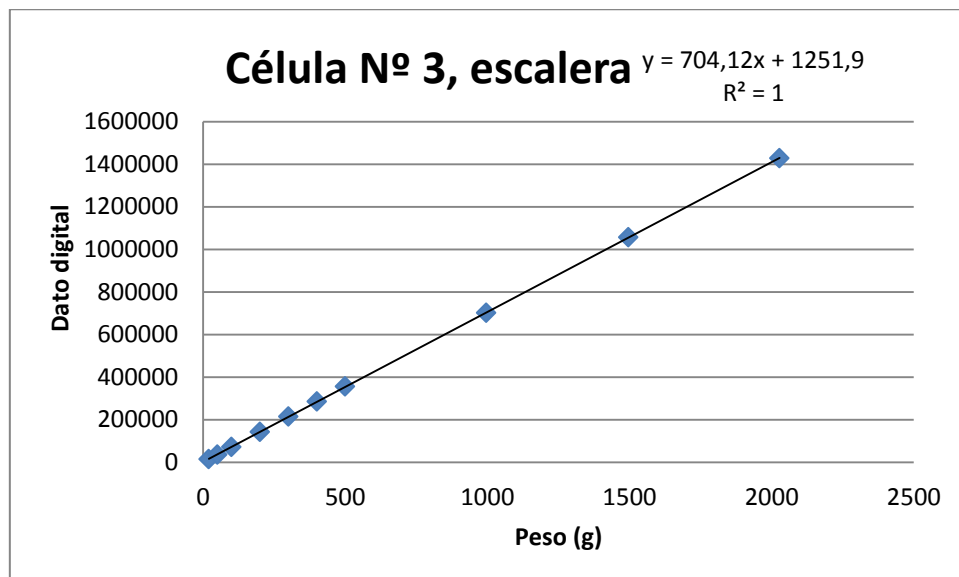


Figura 10

6.5.4 Calibrado célula N°1 de la celosía

La tabla 11 recoge los datos tomados en la calibración de la célula de carga número 1 del montaje de la celosía y en la figura 11 su recta calibrado de cuya pendiente obtenemos el factor que introducimos en el programa del Arduino.

| Peso (g) | Dato digital |
|----------|--------------|
| 20 | 15324 |
| 50 | 37875 |
| 100 | 76795 |
| 200 | 153631 |
| 300 | 230471 |
| 400 | 307296 |
| 500 | 383956 |
| 996 | 759272 |
| 1496 | 1144226 |
| 2028 | 1546821 |

Tabla 11

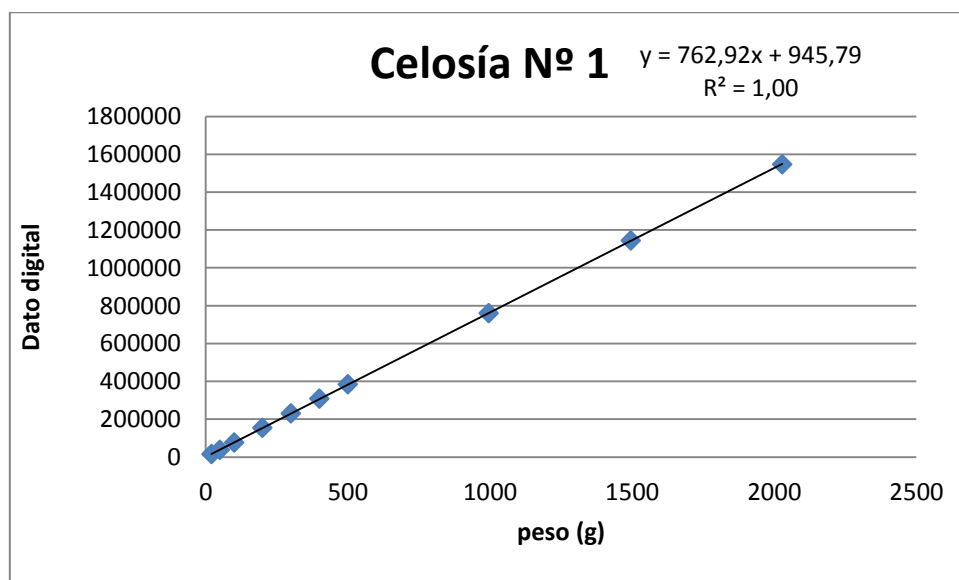


Figura 11

6.5.5 Calibrado célula N°2 de la celosía

La tabla 12 recoge los datos tomados en la calibración de la célula de carga número 2 del montaje de la celosía y en la figura 12 su recta calibrado de cuya pendiente obtenemos el factor que introducimos en el programa del Arduino

| Peso (g) | Dato digital |
|----------|--------------|
| 20 | 15235 |
| 50 | 37457 |
| 100 | 76046 |
| 200 | 151997 |
| 300 | 227887 |
| 400 | 303651 |
| 500 | 379507 |
| 996 | 748947 |
| 1496 | 1128091 |
| 2028 | 1524247 |

Tabla 12

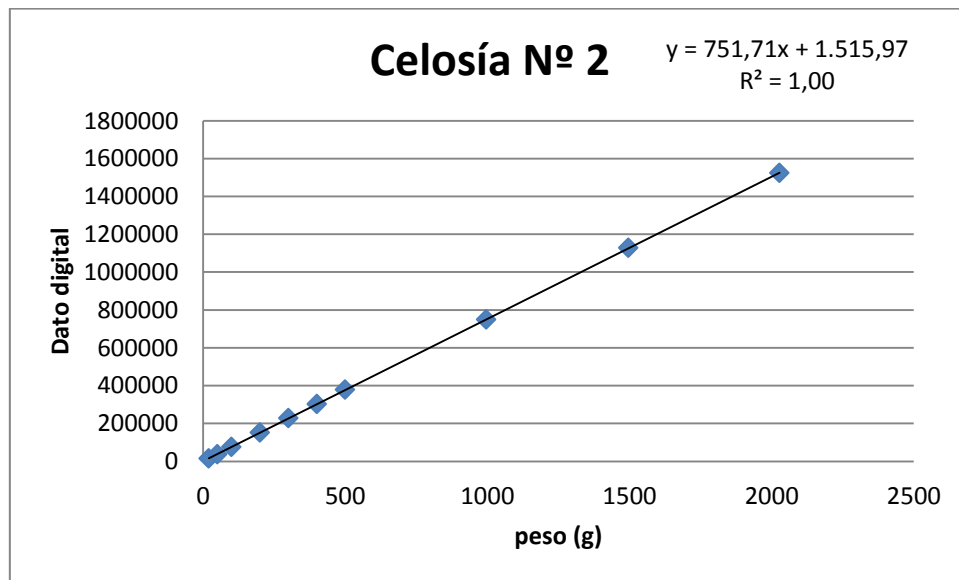


Figura 12

6.5.6 Calibrado célula N°3 de la celosía

La tabla 13 recoge los datos tomados en la calibración de la célula de carga número 3 del montaje de la celosía y en la figura 13 su recta calibrado de cuya pendiente obtenemos el factor que introducimos en el programa del Arduino

| Peso (g) | Dato digital |
|----------|--------------|
| 20 | 15199 |
| 50 | 37743 |
| 100 | 76600 |
| 200 | 153272 |
| 300 | 229978 |
| 400 | 306641 |
| 500 | 383166 |
| 996 | 757006 |
| 1496 | 1140264 |
| 2028 | 1540904 |

Tabla 13

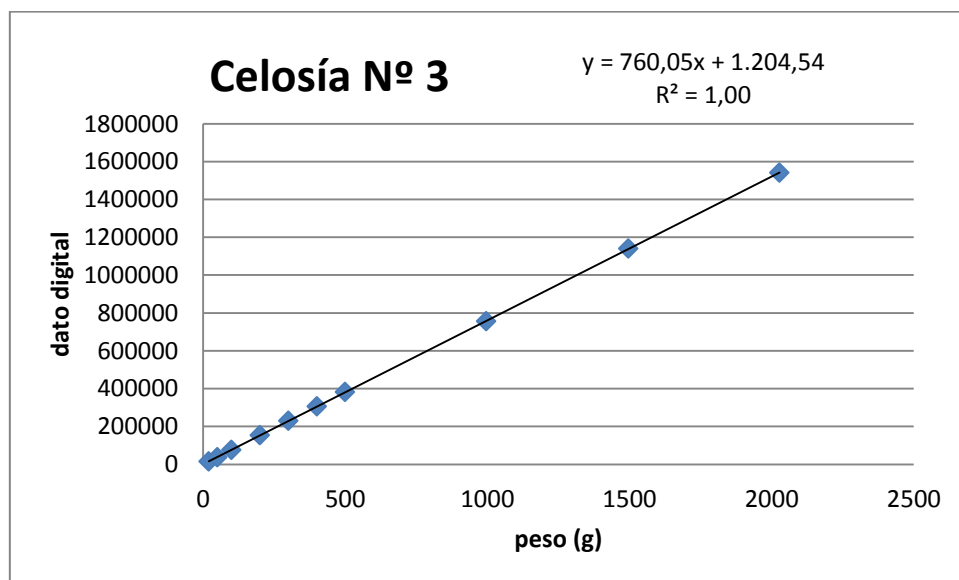
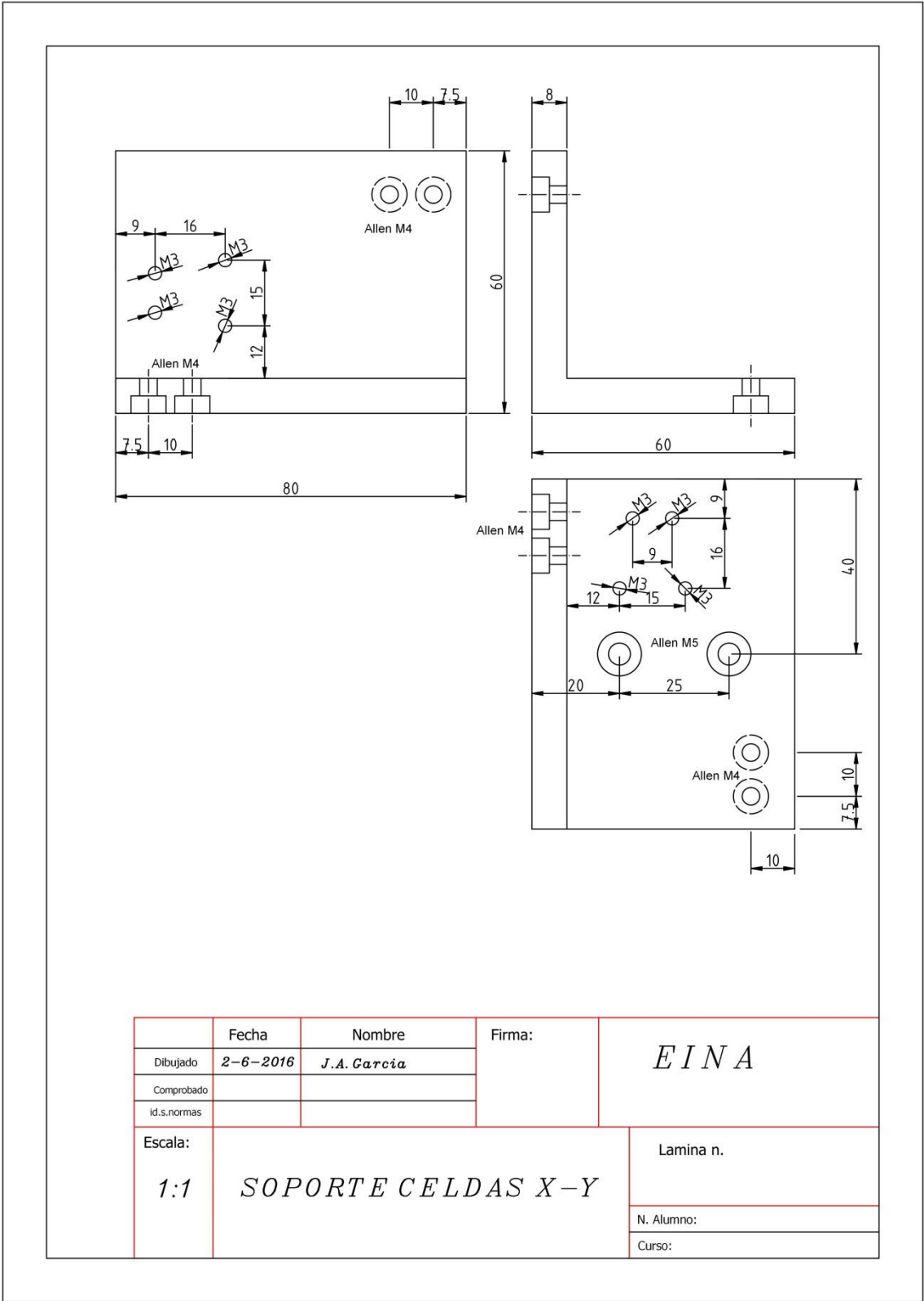
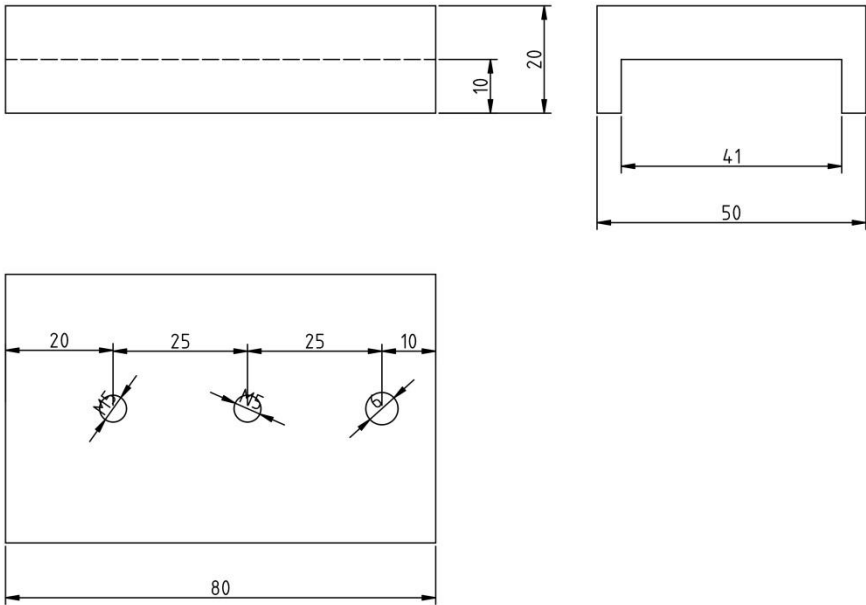


Figura 13

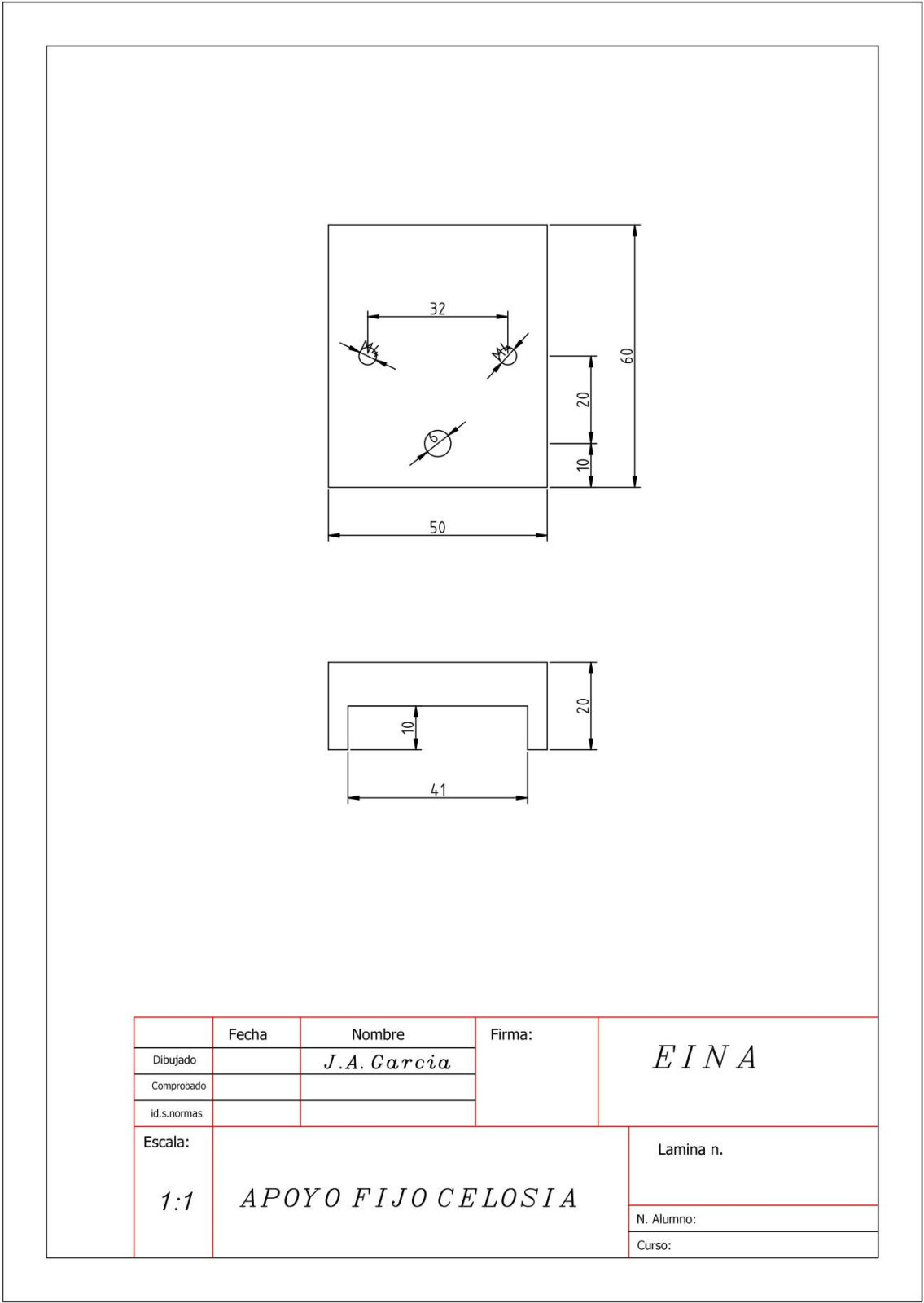
6.6 PLANOS

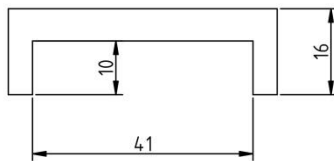
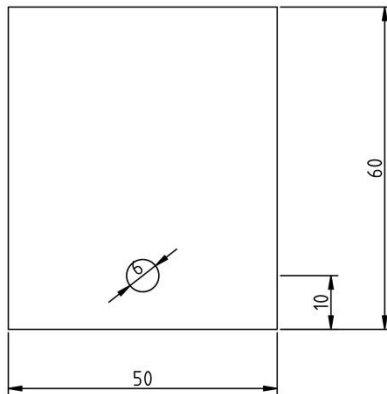
Las siguientes hojas de éste anexo muestran los planos que se han enviado al taller para la mecanización de las piezas no estándar de los montajes.



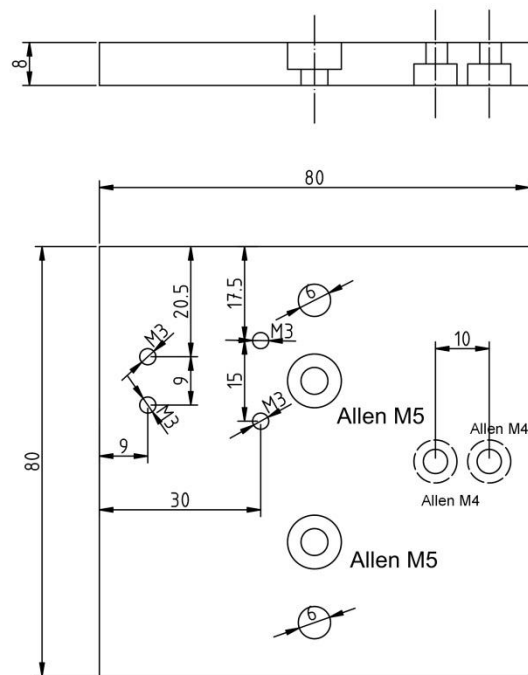


| | | | | |
|-------------|---------------------|-------------|--------|------------|
| | Fecha | Nombre | Firma: | E I N A |
| Dibujado | | J.A. Garcia | | |
| Comprobado | | | | |
| Id.s.normas | | | | |
| Escala: | SOPORTE MEDIDOR X-Y | | | Lamina n. |
| 1:1 | | | | N. Alumno: |
| | | | | Curso: |

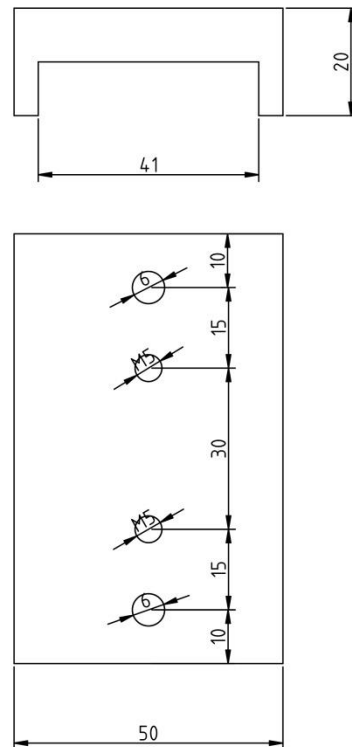




| | | | | |
|---|--|--------------------|--------|--|
| | Fecha | Nombre | Firma: | <div style="font-size: 2em; font-family: serif; text-align: center;">E I N A</div> |
| Dibujado | | <i>J.A. Garcia</i> | | |
| Comprobado | | | | |
| id.s.normas | | | | |
| Escala: <div style="font-size: 1.5em; font-family: serif;">1:1</div> | <div style="font-size: 2em; font-family: serif; text-align: center;">APOYO MOVIL CELOSIA</div> | | | Lamina n. |
| | | | | N. Alumno: |
| | | | | Curso: |



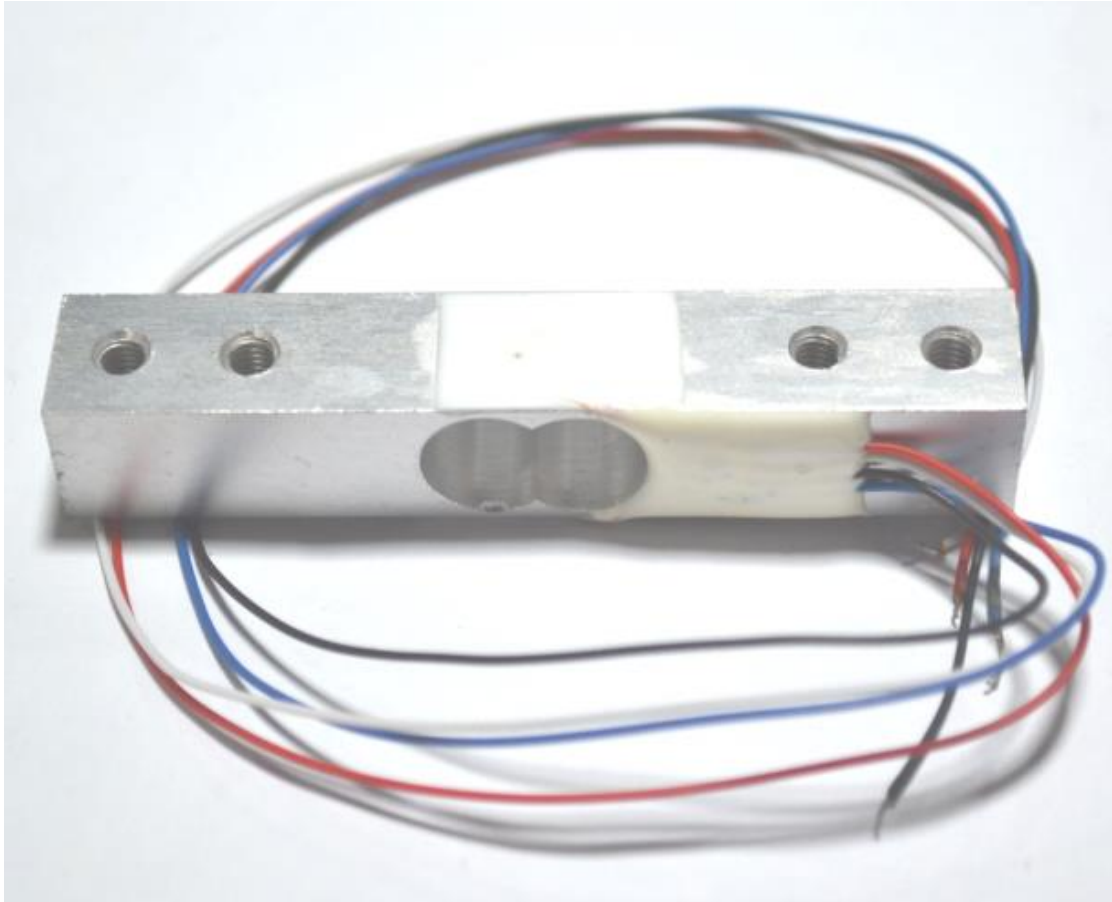
| | | | | |
|-------------|---|--------------------|--------|--|
| | Fecha | Nombre | Firma: | <div style="font-size: 2em; font-family: serif; text-align: center;">E I N A</div> |
| Dibujado | | <i>J.A. Garcia</i> | | |
| Comprobado | | | | |
| id.s.normas | | | | |
| Escala: | <div style="font-size: 2em; font-family: serif; text-align: center;">1:1 SOPORTE UNA CELDA</div> | | | Lamina n. |
| | | | | N. Alumno: |
| | | | | Curso: |



| | | | | |
|-------------|-----------------------------|-------------|--------|------------|
| | Fecha | Nombre | Firma: | E I N A |
| Dibujado | | J.A. Garcia | | |
| Comprobado | | | | |
| id.s.normas | | | | |
| Escala: | 1:1 SOPORTE MEDIDOR 1D | | | Lamina n. |
| | | | | N. Alumno: |
| | | | | Curso: |

6.7 Hojas de características

6.7.1 3KG resistance strain type pressure sensor



Parameter introduction:

Rated load: 3kg

Rated output: $1 \pm 0.15\text{mV/V}$

Nonlinear: 0.03%F.S

Lag: 0.03%F.S

Repeatability: 0.03%F.S

Creep (5 minutes): 0.03%F.S

ANEXOS

The influence of temperature: %F.S/ °C output: 0.01

Effect of temperature: %F.S/ °C 0.05 zeros

Zero balance: ± 0.1000 mV/V

Input impedance: $1115 \pm 10\%$

Output impedance: $1000 \pm 10\%$

Insulation resistance: ≥ 1000 M

Safety overload rate: 150%F.S

Ultimate rate: 200%F.S

Working temperature: -20~60 °C

Recommended working voltage: 3~12 VDC

Maximum working voltage: 15 VDC

Material: aluminum alloy

Protection grade: IP65

Cable: $\phi 0.8 \times 15$ cm

Table size: 150 x 150 mm

Connection: Red: power +, black: power, green: signal +, white: signal -

The red pen is connected with the sensor line; black pen is connected with the sensor line, the 2 is the input voltage. Results and 1000 ohm standards are similar, the sensor is normal.

The white red pen is connected with the sensor; black pen is connected with the sensor line, the 2 is a signal output end. Results and 1000 ohm standard similar, also shows that the sensor is normal

ANEXOS

If the voltage lines and signal lines connected together, there will be a lot of difference of resistance, buyers don't mistakenly believe that the sensor is broken. It is installed the wrong way

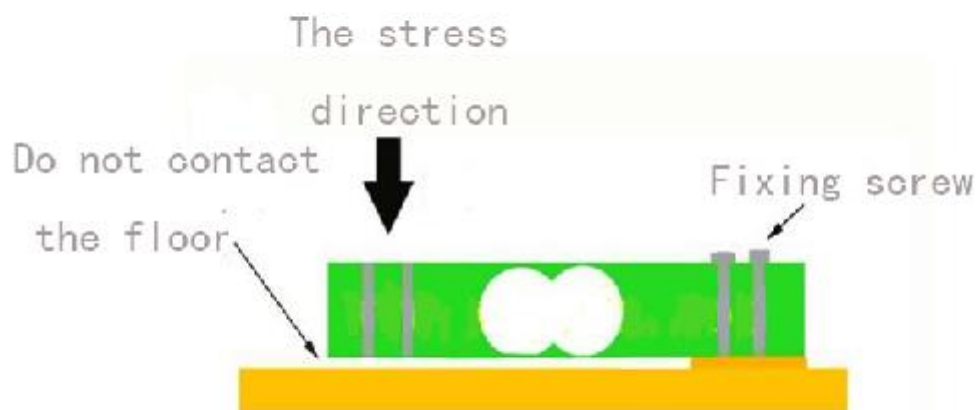
The full-scale output voltage = excitation voltage sensitivity of $\times 1.0\text{mv/v}$

For example: the power supply voltage is 5V times the sensitivity of $1.0\text{mv/v} = 5\text{mv}$ full scale

Wiring: Red + black line input voltage input voltage

The green line output signal + white output signal

Installation: cantilever **installation**



The environment will cause the following effects of weighing sensor:

1 high temperature environment caused by the coating material melt, sensor solder joint Kaihua, elastic body stress structure change.

2 outdoor dust, damp on the sensor caused by the short circuit effect.

3 in the high corrosive environment, such as wet, acid on the sensor caused by the elastic body is damaged or short circuit impact.

4 Effect of electromagnetic field on the sensor output disturbancesignal.

5 flammable, explosive environment must use special explosion-proof sensor.

A quantitative index of the stability of the sensor, over the period,before use should be re calibrated, to determine whether the performance of the sensor changes. Use for a long time and cannot be easily replaced or calibration in the certain requirements ofsensor to sensor stability situation, the requirements are more stringent, must be able to withstand a long time test.

6.7.2 HX711



HX711

24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
normal operation $< 1.5\text{mA}$, power down $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: 2.6 – 5.5V
- Operation temperature range: $-40 - +85^{\circ}\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

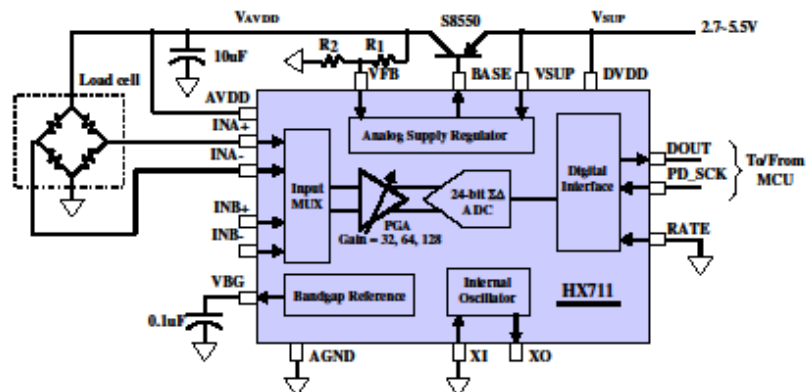


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

Pin Description

| | | | | | |
|--------------------------|------|---|----|--------|--------------------------------------|
| Regulator Power | VSUP | 1 | 16 | DVDD | Digital Power |
| Regulator Control Output | BASE | 2 | 15 | RATE | Output Data Rate Control Input |
| Analog Power | AVDD | 3 | 14 | XI | Crystal I/O and External Clock Input |
| Regulator Control Input | VFB | 4 | 13 | XO | Crystal I/O |
| Analog Ground | AGND | 5 | 12 | DOUT | Serial Data Output |
| Reference Bypass | VBG | 6 | 11 | PD_SCK | Power Down and Serial Clock Input |
| Ch. A Negative Input | INNA | 7 | 10 | INPB | Ch. B Positive Input |
| Ch. A Positive Input | INPA | 8 | 9 | INNBB | Ch. B Negative Input |

SOP-16L Package

| Pin # | Name | Function | Description |
|-------|--------|----------------|--|
| 1 | VSUP | Power | Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V |
| 2 | BASE | Analog Output | Regulator control output (NC when not used) |
| 3 | AVDD | Power | Analog supply: 2.6 ~ 5.5V |
| 4 | VFB | Analog Input | Regulator control input (connect to AGND when not used) |
| 5 | AGND | Ground | Analog Ground |
| 6 | VBG | Analog Output | Reference bypass output |
| 7 | INA- | Analog Input | Channel A negative input |
| 8 | INA+ | Analog Input | Channel A positive input |
| 9 | INB- | Analog Input | Channel B negative input |
| 10 | INB+ | Analog Input | Channel B positive input |
| 11 | PD_SCK | Digital Input | Power down control (high active) and serial clock input |
| 12 | DOUT | Digital Output | Serial data output |
| 13 | XO | Digital I/O | Crystal I/O (NC when not used) |
| 14 | XI | Digital Input | Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator |
| 15 | RATE | Digital Input | Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz |
| 16 | DVDD | Power | Digital supply: 2.6 ~ 5.5V |

Table 1 Pin Description

KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS

| Parameter | Notes | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|----------|---------------|
| Full scale differential input range | $V(\text{inp}) - V(\text{inn})$ | $\pm 0.5(\text{AVDD}/\text{GAIN})$ | | | V |
| Common mode input | | AGND+1.2 | | AVDD-1.3 | V |
| Output data rate | Internal Oscillator, RATE = 0 | | 10 | | Hz |
| | Internal Oscillator, RATE = DVDD | | 80 | | |
| | Crystal or external clock, RATE = 0 | | $f_{\text{clk}}/1,105,920$ | | |
| | Crystal or external clock, RATE = DVDD | | $f_{\text{clk}}/138,240$ | | |
| Output data coding | 2's complement | 800000 | | 7FFFFFFF | HEX |
| Output settling time ⁽¹⁾ | RATE = 0 | | 400 | | ms |
| | RATE = DVDD | | 50 | | |
| Input offset drift | Gain = 128 | | 0.2 | | mV |
| | Gain = 64 | | 0.4 | | |
| Input noise | Gain = 128, RATE = 0 | | 50 | | nV(rms) |
| | Gain = 128, RATE = DVDD | | 90 | | |
| Temperature drift | Input offset (Gain = 128) | | ± 6 | | nV/°C |
| | Gain (Gain = 128) | | ± 5 | | ppm/°C |
| Input common mode rejection | Gain = 128, RATE = 0 | | 100 | | dB |
| Power supply rejection | Gain = 128, RATE = 0 | | 100 | | dB |
| Reference bypass (V_{BG}) | | | 1.25 | | V |
| Crystal or external clock frequency | | 1 | 11.0592 | 20 | MHz |
| Power supply voltage | DVDD | 2.6 | | 5.5 | V |
| | AVDD, VSUP | 2.6 | | 5.5 | |
| Analog supply current (including regulator) | Normal | | 1400 | | μA |
| | Power down | | 0.3 | | |
| Digital supply current | Normal | | 100 | | μA |
| | Power down | | 0.2 | | |

(1) Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

Table 2 Key Electrical Characteristics

Analog Inputs

Channel A differential input is designed to interface directly with a bridge sensor's differential output. It can be programmed with a gain of 128 or 64. The large gains are needed to accommodate the small output signal from the sensor. When 5V supply is used at the AVDD pin, these gains correspond to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively.

Channel B differential input has a fixed gain of 32. The full-scale input voltage range is $\pm 80\text{mV}$, when 5V supply is used at the AVDD pin.

Power Supply Options

Digital power supply (DVDD) should be the same power supply as the MCU power supply.

When using internal analog supply regulator, the dropout voltage of the regulator depends on the external transistor used. The output voltage is equal to $V_{AVDD} = V_{BG} * (R1 + R2) / R1$ (Fig. 1). This voltage should be designed with a minimum of 100mV below VSUP voltage.

If the on-chip analog supply regulator is not used, the VSUP pin should be connected to either AVDD or DVDD, depending on which voltage is higher. Pin VFB should be connected to Ground and pin BASE becomes NC. The external 0.1uF bypass capacitor shown on Fig. 1 at the VBG output pin is then not needed.

Clock Source Options

By connecting pin XI to Ground, the on-chip oscillator is activated. The nominal output data rate when using the internal oscillator is 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

If accurate output data rate is needed, crystal or external reference clock can be used. A crystal can be directly connected across XI and XO pins. An external clock can be connected to XI pin, through a 20pF ac coupled capacitor. This external clock is not required to be a square wave. It can come directly from the crystal output pin of the MCU chip, with amplitude as low as 150 mV.

When using a crystal or an external clock, the internal oscillator is automatically powered down.

Output Data Rate and Format

When using the on-chip oscillator, output data rate is typically 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

When using external clock or crystal, output data rate is directly proportional to the clock or crystal frequency. Using 11.0592MHz clock or crystal results in an accurate 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1) output data rate.

The output 24 bits of data is in 2's complement format. When input differential signal goes out of the 24 bit range, the output data will be saturated at 800000h (MIN) or 7FFFFFFh (MAX), until the input signal comes back to the input range.

Serial Interface

Pin PD_SCK and DOUT are used for data retrieval, input selection, gain selection and power down controls.

When output data is not ready for retrieval, digital output pin DOUT is high. Serial clock input PD_SCK should be low. When DOUT goes to low, it indicates data is ready for retrieval. By applying 25~27 positive clock pulses at the PD_SCK pin, data is shifted out from the DOUT output pin. Each PD_SCK pulse shifts out one bit, starting with the MSB bit first, until all 24 bits are shifted out. The 25th pulse at PD_SCK input will pull DOUT pin back to high (Fig. 2).

Input and gain selection is controlled by the number of the input PD_SCK pulses (Table 3). PD_SCK clock pulses should not be less than 25 or more than 27 within one conversion period, to avoid causing serial communication error.

| PD_SCK Pulses | Input channel | Gain |
|---------------|---------------|------|
| 25 | A | 128 |
| 26 | B | 32 |
| 27 | A | 64 |

Table 3 Input Channel and Gain Selection

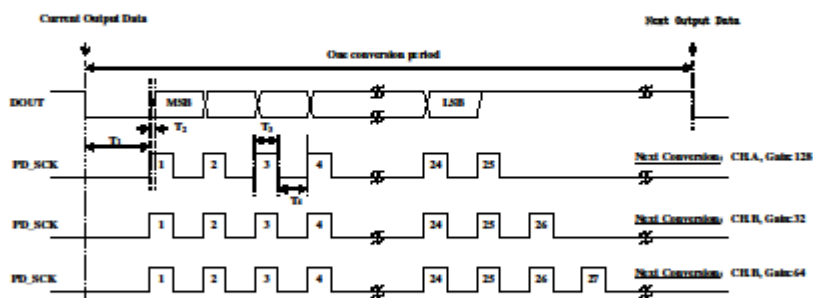


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

| Symbol | Note | MIN | TYP | MAX | Unit |
|----------------|---|-----|-----|-----|------|
| T ₁ | DOUT falling edge to PD_SCK rising edge | 0.1 | | | μs |
| T ₂ | PD_SCK rising edge to DOUT data ready | | | 0.1 | μs |
| T ₃ | PD_SCK high time | 0.2 | 1 | 50 | μs |
| T ₄ | PD_SCK low time | 0.2 | 1 | | μs |

Reset and Power-Down

When chip is powered up, on-chip power on reset circuitry will reset the chip.

Pin PD_SCK input is used to power down the HX711. When PD_SCK Input is low, chip is in normal working mode.

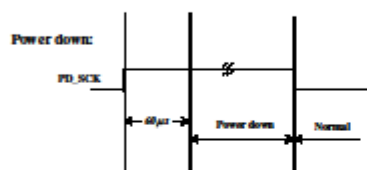


Fig.3 Power down control

When PD_SCK pin changes from low to high and stays at high for longer than 60μs, HX711 enters power down mode (Fig.3). When internal regulator is used for HX711 and the external transducer, both HX711 and the transducer will be

powered down. When PD_SCK returns to low, chip will reset and enter normal operation mode.

After a reset or power-down event, input selection is default to Channel A with a gain of 128.

Application Example

Fig.1 is a typical weigh scale application using HX711. It uses on-chip oscillator (XI=0), 10Hz output data rate (RATE=0). A Single power supply (2.7~5.5V) comes directly from MCU power supply. Channel B can be used for battery level detection. The related circuitry is not shown on Fig. 1.

KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS

| Parameter | Notes | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|--|------------------------------------|----------------------------|----------|---------------|
| Full scale differential input range | $V(\text{inp}) - V(\text{inn})$ | $\pm 0.5(\text{AVDD}/\text{GAIN})$ | | | V |
| Common mode input | | AGND+1.2 | | AVDD-1.3 | V |
| Output data rate | Internal Oscillator, RATE = 0 | | 10 | | Hz |
| | Internal Oscillator, RATE = DVDD | | 80 | | |
| | Crystal or external clock, RATE = 0 | | $f_{\text{clk}}/1,105,920$ | | |
| | Crystal or external clock, RATE = DVDD | | $f_{\text{clk}}/138,240$ | | |
| Output data coding | 2's complement | 800000 | | 7FFFFFFF | HEX |
| Output settling time ⁽¹⁾ | RATE = 0 | | 400 | | ms |
| | RATE = DVDD | | 50 | | |
| Input offset drift | Gain = 128 | | 0.2 | | mV |
| | Gain = 64 | | 0.4 | | |
| Input noise | Gain = 128, RATE = 0 | | 50 | | nV(rms) |
| | Gain = 128, RATE = DVDD | | 90 | | |
| Temperature drift | Input offset (Gain = 128) | | ± 6 | | nV/°C |
| | Gain (Gain = 128) | | ± 5 | | ppm/°C |
| Input common mode rejection | Gain = 128, RATE = 0 | | 100 | | dB |
| Power supply rejection | Gain = 128, RATE = 0 | | 100 | | dB |
| Reference bypass (V_{BG}) | | | 1.25 | | V |
| Crystal or external clock frequency | | 1 | 11.0592 | 20 | MHz |
| Power supply voltage | DVDD | 2.6 | | 5.5 | V |
| | AVDD, VSUP | 2.6 | | 5.5 | |
| Analog supply current (including regulator) | Normal | | 1400 | | μA |
| | Power down | | 0.3 | | |
| Digital supply current | Normal | | 100 | | μA |
| | Power down | | 0.2 | | |

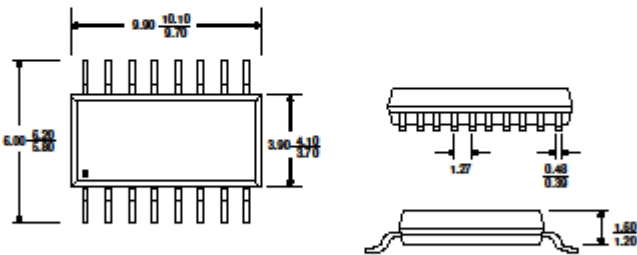
(1) Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

Table 2 Key Electrical Characteristics

**Reference Driver (C)**

```
//-----  
sbit ADD0 = P1^5;  
sbit ADGK = P0^0;  
unsigned long ReadCount(void) {  
    unsigned long Count;  
    unsigned char i;  
    ADD0=1;  
    ADGK=0;  
    Count=0;  
    while (ADD0);  
    for (i=0;i<24;i++){  
        ADGK=1;  
        Count=Count<<1;  
        ADGK=0;  
        if (ADD0) Count++;  
    }  
    ADGK=1;  
    Count=Count*0x800000;  
    ADGK=0;  
    return (Count);  
}
```

Package Dimensions



Typ MAX
 MIN Unit: mm
SOP-16L Package