

# Diseño del acoplamiento y sensado de un instrumento digital para la medición de la densidad en líquidos

Carlos E. Moreno, Pablo E. Moreno & Carlos F. Quintero

**Resumen** - En el presente artículo se concibe un análisis y modelo para la medición de densidad en líquidos mediante la aplicación del principio de Arquímedes. En esta fase se hace una descripción conceptual y real de la propuesta para la etapa de sensado y acoplamiento del instrumento de medición, con base en las características solicitadas para el instrumento final. Asimismo, estas etapas hacen uso de una celda de carga, un módulo HX711 (ADC 24 bits) y una esfera para la medición de la densidad a partir de la variación de la fuerza de empuje.

**Palabras clave:** Celda de carga, Principio de Arquímedes, Medición de densidad

## I. INTRODUCCIÓN

En electrónica, cuando se trabaja con adquisición y manipulación de señales es indispensable fijar una etapa en la cual se pueda sensar y acoplar la señal, lo anterior con el fin de amplificar la señal recibida y manipularla de manera que se pueda tener lectura de esta, además de ser compatible con otros elementos presentes en el dispositivo en cuestión y así, mantener la integridad de la señal adquirida mediante un proceso de sensado implícito en esta misma etapa.

En este informe, se entra en detalle el proceso que tiene la etapa de sensado y acoplamiento (amplificación) para señales adquiridas mediante una celda de carga la cual estará en conexión al módulo <e permite la transmisión de datos entre la celda de carga y la tarjeta de adquisición por lo anterior y gracias al uso del módulo HX711 la señal de ruido se verá atenuada.

## II. ETAPA DE SENSADO

De acuerdo a lo planteado en la 1ra Fase del proyecto, para la etapa de sensado, es necesario el uso de una Celda de Carga. Esta celda es un transductor que convierte la fuerza o el peso en una señal eléctrica por medio de galgas

extensiométricas, de tal forma cuando se aplica una fuerza, la galga se flexiona o comprime debido a las propiedades elásticas del material del que está hecho [1]. Cabe resaltar que, al estirarse o comprimirse la galga, ocasiona un cambio en la resistencia, haciendo así que exista una variación o cambio en el voltaje del circuito (Ver Fig 1).

Ahora bien, dado a que existe una gran variedad de Celdas de Carga, para distintas funciones, es necesario detallar que para su elección la celda debería ser capaz de deformarse cuando está bajo una fuerza vertical ocasionado por un objeto que cuelga sobre ella. De esta manera, la celda específica para esta función es la Celda de Carga de Punto Único.

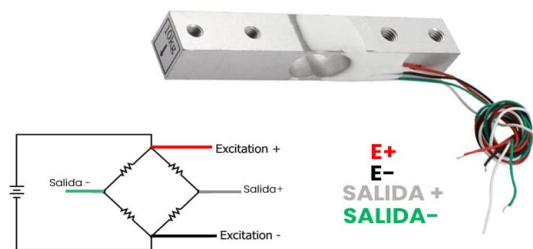


Fig 1. Celda de Carga de Punto único

Tal y como se muestra en la Fig.1, la Celda de Carga de Punto Único cuenta con un orificio. De tal manera, que esta se monta por medio de tornillos, posicionados en cada extremo de la celda, en donde uno sirve para fijar la celda, y el otro permite amarrar un hilo o cable, el cual sostiene un cuerpo determinado.

Por otra parte, de la Fig.1 también se observa que es un Puente de Wheatstone Balanceado, en donde son 4 resistencias alimentadas a través del cable rojo por una fuente +E y unida a tierra a través del cable negro -E. Cabe destacar, que a través del cable Verde y Blanco se obtiene el Voltaje diferencial, ocasionado si la galga se comprime o se estira.

Las especificaciones técnicas de la celda de carga escogida son:

Capacity	Kg	1, 2, 3, 5, 10, 20
Rated output	mV/V	1.0±0.15
Nonlinearity	%	0.05
Repeatability	%	0.03
Hysteresis	%	0.03
Creep(5min)	%	0.1
Temperature effect on sensitivity	%RO/°C	0.003
Temperature effect on zero	%RO/°C	0.02
Zero balance	%RO	±0.1
Input resistance	Ω	1066±20
Output resistance	Ω	1000±20
Insulation resistance	MΩ(50V)	2000
Recommended excitation voltage	V	5V
Compensated temperature range	°C	-10~+50
Operating temperature range	°C	-20~+65
Safe overload	%RO	120
Ultimate overload	%RO	150
Load cell material		Aluminium
Connecting cable		Ø 0.8X180mm

Fig 2. Especificaciones de la Celda de Carga

Suponiendo para una carga ideal, los aspectos necesarios para tener en cuenta es:

- La capacidad (Capacity) se refiere al peso máximo permitido, el cual es capaz de alcanzar a medir nominalmente. En este caso, el peso que fue escogido a soportar fue de 1 Kg, ya que el objeto que se cuelga sobre este no supera 1 Kg.
- La salida nominal (Rated Output) o también conocida en otras hojas de especificaciones como Sensitividad, indica el voltaje diferencial máximo entregado por voltio de excitación, cuando la galga está sometida al peso máximo entregado. [2]

Ahora bien, dado a que la Celda es alimentada con una fuente de 5 V, si la sensibilidad es de 1 mV/ V, hace que tenga 5 mV cuando el peso es de 1 Kg. De esta manera, la relación que existe con el voltaje diferencial con respecto al peso es dada por la siguiente ecuación:

$$V_{dif} = \frac{5mV}{1Kg} * Peso \quad (1)$$

- Otro aspecto necesario a conocer es la resistencia de entrada y salida, en donde es de suma importancia a la hora de simular o diseñar el comportamiento de la celda de carga en un Simulador como PSPICE o Multisim. De esta manera, para el caso de la resistencia de Entrada se tiene que es la medición al colocar un ohmímetro a través de los cables de entrada o de excitación.

Por otro lado, para el caso de la resistencia de Salida, esta se mide colocando un ohmímetro entre los cables de señal o de salida.

De ese modo, teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, si la resistencia de entrada es de 1066 Ω y la resistencia de salida es de 1000 Ω, el diseño circuita es:

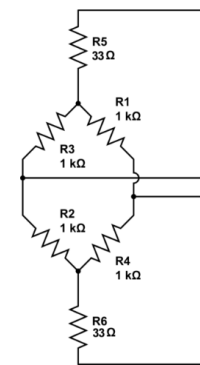


Fig 3. Diseño Circuitual de la Celda de Carga

Cabe destacar que, para simular la galga se debe variar la resistencia R4 para así obtener diferentes voltajes diferenciales, teniendo en cuenta que su valor mínimo de resistencia es de 1000 Ω, que es cuando no se le ejerce ninguna fuerza a la celda de carga.

- El voltaje de Excitación recomendado se refiere al voltaje de alimentación para que funcione dentro de las especificaciones. Siendo este de 5 V, el cual es el voltaje que va ser usado para alimentar la celda de carga.
- Sobrecarga segura, se refiere al peso máximo que se puede aplicar sin causar algún daño permanente, de tal manera que no altere las especificaciones dadas [3]. De esta manera, para la carga escogida se tiene que es el 120 % de 1 Kg, siendo esto igual a:  

$$S. Segura = 1.2 * 1 Kg = 1.2 Kg$$
- Sobrecarga máxima: Es el peso que puede soportar sin ocasionar daños estructurales. Por tanto, de acuerdo a la Fig. 2, se tiene que es el 150% de 1 Kg, siendo este igual a:

$$S. \text{ máxima} = 1.5 * 1 \text{ Kg} = 1.5 \text{ Kg}$$

#### Otras consideraciones

Para esta etapa de sensado, se ha decidido utilizar una bola de acero, la cual cuelga de la Celda de Carga, a través de un hilo. De esta manera, la bola de acero, seleccionada tiene las siguientes especificaciones:

- Diámetro: 1.5 cm
- Material: Acero Inoxidable 440 C
- Volumen :  $1.767 \text{ cm}^3$
- Peso : 13.6 g - 0.0136 kg



Fig 4. Bola de Acero Seleccionada

Ahora bien, teniendo en cuenta las especificaciones de la bola, cuando la bola cuelga sobre la celda y no está sumergida en un líquido, ocasiona que la Tensión o Fuerza que siente la Celda sea igual a:

$$T_{\text{celda}} = mg$$

Siendo m igual a la masa de la bola, y g es la gravedad de la Tierra.

Reemplazando, se obtiene que:

$$T_{\text{celda}} = 0.0136 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.133 \text{ N}$$

Por otra parte, cuando la bola está sumergida en un líquido con densidad de  $2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ( $2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ), siendo esta densidad, el valor máximo del rango de medición permitida, ocasiona que la fuerza de tensión sobre la celda sea igual a:

$$T_{\text{celda}} = mg - \rho \cdot V \cdot g = (m - \rho \cdot V) \cdot g$$

Donde  $\rho$  es la densidad de líquido, V es el volumen de la Bola. De esta manera, al reemplazar en la ecuación se tiene que :

$$T_{\text{celda}} = [(13.6 \text{ g} - 2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1.767 \text{ g}) * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}}] * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T_{\text{celda}} = (10.1 \text{ g}) * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.010 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T_{\text{celda}} = 0.0989 \text{ N}$$

De esta manera, se encuentra que la Fuerza vertical sea de 0.0989 N, lo cual análogamente, es como si la celda tuviese un cuerpo que pesa 10.1 g y está colgando sobre esta.

En conclusión, se logra inferir que al aumentar la densidad, ocasiona que el peso que siente la celda disminuye. Por tanto, el rango de peso que trabaja la celda es de 10.1 g hasta 13.6 g, lo cual hace que el voltaje diferencial en la celda sea de:

$$V_{\text{dif}-10.1 \text{ g}} = \frac{5 \text{ mV}}{1 \text{ Kg}} * 0.0101 \text{ kg} = 50.5 \mu\text{V}$$

$$V_{\text{dif}-13.6 \text{ g}} = \frac{5 \text{ mV}}{1 \text{ Kg}} * 0.0136 \text{ kg} = 68 \mu\text{V}$$

En resumen se tiene que:

Masa	$V_{\text{dif}}$ en la galga	Densidad
13.6 g	68 $\mu\text{V}$	$0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
10.1 g	50.5 $\mu\text{V}$	$2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Tabla 1. Rangos de operación de masa, Voltaje diferencial y densidad

### III. ETAPA DE ACOPLAMIENTO

Para la etapa de acoplamiento se hace uso de un módulo HX711 Figura 5. el cual se define en el datasheet de Avia semiconductor como “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.” Este se encargará de la lectura en el puente de Wheatstone que se encuentra dentro de la celda de carga y permite 16.777.216 cuentas mediante un ADC sigma-delta .

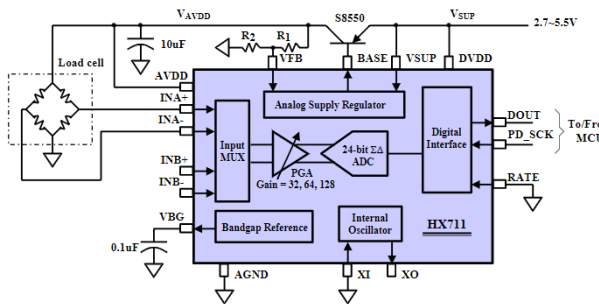


Fig 5. Diagrama de bloques aplicación HX711

Este módulo permite tener una ganancia programable (32, 64 y 128), la cual será seleccionada mediante programación debido que, posee dos entradas analógicas en las cuales el canal B tendrá una ganancia fija de 32 mientras que, el canal A interactúa de forma directa con lo que se obtiene a la salida del puente y así seleccionar la ganancia con la que se trabajará.

En cuanto al consumo, este presenta un flujo de corriente de 1.5mA en operación normal y un voltaje de operación de 5V, dando como resultado un consumo de potencia de 7.5mW aproximadamente.

Las conexiones entre la celda de carga y el módulo HX711 se realizan como se aprecia en la siguiente figura

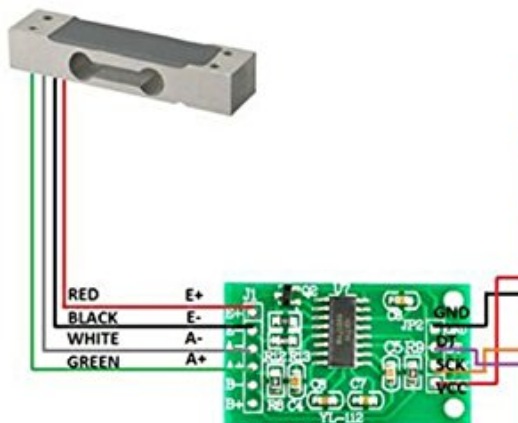


Fig 6. Conexiones reales entre celda de carga y módulo HX711

Las salidas de HX711 se dan a través de los pines de datos y recibe la señal de reloj del microcontrolador (Arduino) como se aprecia en la siguiente figura

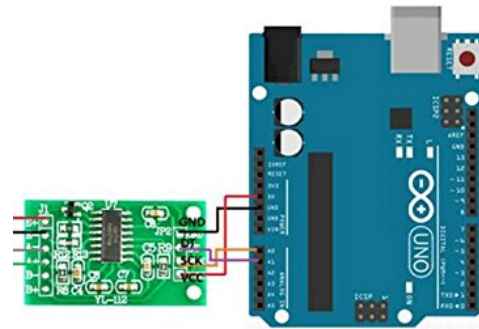


Fig 7. Conexiones reales entre módulo HX711 y Arduino uno

#### IV. CONCLUSIONES

1. La celda de carga es un transductor que convierte la fuerza o el peso en una señal eléctrica por medio de galgas extensiométricas, de tal forma cuando se aplica una fuerza, la galga se flexiona o comprime debido a las propiedades elásticas del material del que está hecho.
2. Se aprendió que es necesario conocer las especificaciones de la Celda, ya que permite conocer el comportamiento o voltaje diferencial dependiendo del valor de la sensibilidad, siendo esto muy necesario de conocer ya que debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar.
3. El uso del módulo HX711 facilita el manejo del software ya que, el uso de amplificadores puede presentar una señal de ruido mayor comparada con la señal de ruido que se genera al trabajar con este módulo
4. El módulo HX711 al tener un ADC de 24 bits permite entregar el dato al microcontrolador con la precisión solicitada en el diseño del instrumento en la fase 1.
5. Se demostró que al aumentar la densidad, ocasiona que el peso que siente la celda disminuye.

#### V. REFERENCIAS

[1]"What Is A Beam Load Cell, And How Does It Work".Flintec.

<https://www.flintec.com/co/sensores-de-peso/celdas-de-carga/what-is-a-beam-load-cell-and-how-does-it-work> (accedido el 23 de junio de 2022).

[2]P. E. Otero Valladares, "Diseño y construcción de una balanza electrónica con una interfaz gráfica para visualización", Pregrado, Escuela politécnica nacional, Quito, 2007.

[3]V. Transducers, "Load Cells and Weigh Modules", 15 de enero de 2015, Load Cell Technology.  
<http://www.vishaypg.com/docs/11866/vpg-01.pdf>

[4] García, C., Lombana, M., Martínez, L., Moreno, C., Moreno, P., Quintero, C., García, H., & Ramírez, H. (2022). Concepción de un instrumento digital para la medición de la densidad en líquidos. 1–8. (accedido el 23 de junio de 2022).