



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

EL5004 TALLER DE DISEÑO

---

# SISPO: SISTEMA DE POSTUROGRAFIA

---

*Profesor:*

Jorge Sandoval

*Alumnos:*

Eduardo Carrasco

Bastián Díaz

Marcelo Marín

Daniel Montecino

*Fecha:*

27 de Diciembre de 2018

# Resumen

El Objetivo principal de este proyecto consta en diseñar y construir un sistema de posturografía portátil, liviano y de bajo costo en comparación a los existentes en el mercado. Este sistema de posturografía permitirá evaluar el equilibrio de una persona mediante la localización de su centro de masa proyectada en el piso o en una superficie paralela. Esta técnica es ampliamente utilizada en la medicina para cuantificar el estado funcional de los pacientes con alteraciones del equilibrio, trastornos neurosensoriales o aquellas que hallan sufrido algún tipo de lesión en sus extremidades inferiores.

El sistema de posturografía estará compuesto por una plataforma dividida en 4 cuadrantes, cada uno con dos sensores de carga de 20 Kg y un transmisor HX711 asociado a cada sensor. El procesador principal será un Arduino UNO, al que se conectarán los 8 sensores a través de los transmisores. El sistema además contará con una conexión USB, que se conectará a un ordenador, quien tendrá el *software* de visualización y el *feedback* para el paciente, con tal de mostrar en pantalla un gráfico que indique en todo momento la ubicación del centro de masa de la persona sobre la plataforma, para finalizar la sesión con un mapa de calor que representará las zonas donde la persona mantuvo más tiempo su centro de masa.

# Introducción

Durante las visitas a la fundación Esperanza Nuestra se estableció que una parte muy importante de la rehabilitación de los pacientes es que aprendan a equilibrar su peso. Esto porque un mal balance del peso corporal provoca problemas en las articulaciones como; tobillos, rodillas, cadera y hombros, además, de aumentar el riesgo de caídas mientras caminan.

Actualmente, para enseñarle a los pacientes a equilibrar su peso los profesionales de la fundación usan métodos cualitativos que consisten en describir la sesión de rehabilitación. Esto es, indicar hacia donde inclina el peso el paciente, como fue la coordinación, entre otros (esto aplica tanto para pacientes de pie como para pacientes que están aprendiendo a balancear su cuerpo al estar sentados). Esta es la principal motivación del proyecto SISPO, el cual consiste en brindarle una herramienta que permita a los profesionales de la fundación evaluar la sesión de rehabilitación de manera **cuantitativa**.

SISPO es una plataforma dotada con sensores de presión, en la cual los pacientes se pueden parar o sentar y así se puede medir de forma precisa como es la distribución del peso. De forma complementaria, este proyecto también contempla un software de visualización que permite a los pacientes y a los profesionales ver en tiempo real como es la distribución del peso mediante una gráfica que muestra el centro de masa del paciente con una pelota azul como se puede ver en la figura 1. Además, al finalizar la sesión se muestra un resumen en forma de mapa de calor de las zonas donde se cargó el peso frecuentemente como se observa en la misma figura.

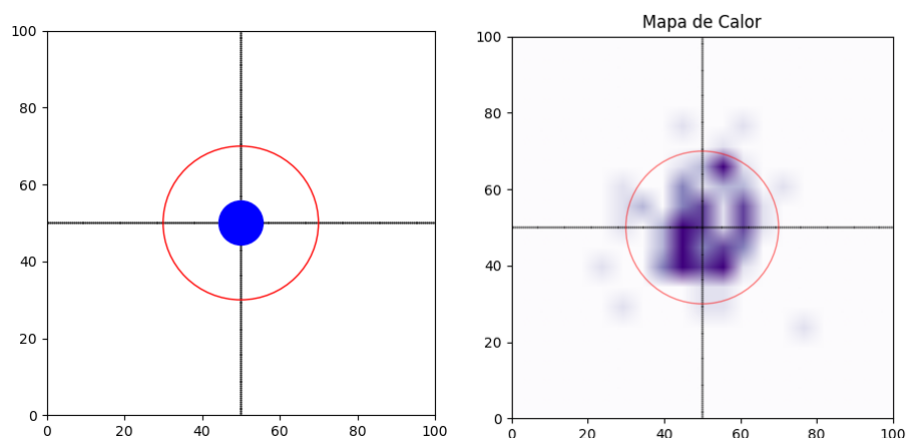


Figura 1: Visualización de centro de masa y mapa de calor

# Objetivos y Argumento

Según han documentado algunos centros que estudian la movilidad de personas con y sin trastornos, la mayor cantidad de las pruebas realizadas con sistemas de posturografía comerciales consisten en pruebas de equilibrio estático, y por lo general siempre se realiza el mismo tipo de ejercicio, por lo que en la práctica no se aprovechan estos complejos y costosos sistemas en su totalidad, que rodean los 30.000 Euros (24.000.000 CLP aprox.), y por tanto no se justifica su compra en la mayoría de los casos.

Por otro lado, el tamaño de estos sistemas es superior a los 4.5 metros, impidiendo ubicarlo en cualquier lugar y/o recinto, ocupando gran porcentaje de la habitación donde se encuentre, y dificultando considerablemente su traslado. Por estas razones surge la necesidad, en particular de la fundación Esperanza Nuestra, de obtener un sistema de posturografía estática, que sea portátil, pequeño y de costo reducido, y que contenga las funciones básicas de un sistema de posturografía común y corriente.

## Información relacionada

Antes de comenzar con la descripción técnica de SISPO es necesario conocer el contexto y en que consiste la posturografía, así como sus aplicaciones.

La Posturografía abarca todas las técnicas utilizadas en la evaluación del equilibrio de una persona y su postura, permitiendo definir objetivamente la posición media del cuerpo y medir los pequeños movimientos que sufre alrededor de la posición bípeda (dispersión). Existen dos tipos de posturografía dependiendo de las condiciones en las que se realicen las pruebas y/o exámenes, estas son posturografía estática y dinámica.

La posturografía estática corresponde a las técnicas usadas para evaluar la postura y equilibrio de una persona en bipedestación determinando la posición de su centro de masa proyectado en el plano en condiciones estáticas, es decir, sin movimiento de la plataforma que mide el centro de presión. Por otro lado, la posturografía dinámica consiste en aquella donde la plataforma donde se realiza la prueba tiene movilidad, pudiendo inclinarse, trasladarse, rotarse, etc., con el fin de evaluar la respuesta del paciente ante perturbaciones externas que alteren su postura y lo desestabilicen.

Dentro de las pruebas más comunes entre los sistemas de posturografía se encuentran las relacionadas con el **Test de Romberg**, que se basa en la hipótesis que una persona necesita por lo menos dos de tres sentidos para mantener la estabilidad en bipedestación, estos sentidos son:

1. **Visión:** Es uno de los sentidos principales del cuerpo humano, que permite percibir la forma, distancia, posición, tamaño y color de los objetos al rededor. La visión es tremendamente útil para percibir los cambios de postura y de posición al tomar como referencia los objetos del entorno.
2. **Propiocepción:** Es el sentido que informa al organismo de la posición de los músculos, o bien, es la capacidad de sentir la posición relativa de partes corporales adyacentes.
3. **Sensibilidad:** Capacidad del hombre de percibir estímulos externos e internos como vibraciones o cambios de presión a través del tacto.

Para realizar el Test de Romberg el paciente debe situarse en bipedestación, con los pies juntos sobre la plataforma o sistema de posturografía y con los brazos a los costados del cuerpo. Entonces se procederá a observar el desplazamiento del centro de gravedad del paciente en diferentes pruebas, alterando uno o mas de los sentidos descritos:

- Sobre superficie plana y con ojos abiertos
- Sobre superficie plana y con ojos cerrados
- Sobre superficie acolchada y con ojos abiertos
- Sobre superficie acolchada y con ojos cerrados

Una vez finalizadas las pruebas, será posible cuantificar el estado funcional de cada uno de los sentidos, permitiendo determinar cuales afectan mas a la estabilidad del paciente.

# Descripción de producto

En base a las problemáticas observadas en la Fundación Esperanza Nuestra y la información recopilada, se busca crear un dispositivo que a través de estímulos visuales pueda ayudar en ejercicios de equilibrio y balance a los usuarios de la fundación.

Esta solución propone una plataforma en la que los usuarios pueden pararse y a través de una pantalla averiguar si están cargados más hacia delante o atrás, o hacia derecho o izquierda. De esta forma, los usuarios mismos pueden ver como están realizando el ejercicio sin la mediación de un kinesiólogo u otro profesional de la salud, el cuál también deberá realizar un trabajo previo con el usuario para que el ejercicio realizado sea el correcto. A su vez, el producto también puede generar resúmenes de los ejercicios a través de mapas de calor de manera de visualizar el avance de los ejercicios realizados y para que los mismos profesionales de la salud puedan generar propuestas en torno a ellas.

Los requerimientos específicos constan de los siguientes puntos:

1. Medición de las cargas de los usuarios en tiempo real.
2. Procesamiento de las cargas que identifiquen la distribución del peso corporal.
3. Visualización del estado de cargas actual por parte del paciente y feed-back de un ejercicio bien realizado.
4. Visualización de un mapa de calor como resultado de la sesión.



Figura 2: Producto final

# Definición de procesos

A continuación, se definen todos los procesos involucrados en la solución. Estos son; sensado, procesamiento de la señal y visualización de los datos.

1. **Sensado:** La etapa de sensado corresponde a la instalación de los 8 sensores de presión (2 en cada cuadrante) que van justo por debajo de la superficie para poder detectar las diferencias de presión en los distintos sensores y así estimar la distribución del peso corporal sobre los pies del paciente. Además, esta etapa contempla la correcta transmisión de los datos al procesador central.
2. **Procesamiento:** La etapa de procesamiento es el núcleo de esta solución, ya que es donde la señal en bruto de los sensores es transformada a información relevante. Esta etapa involucra un filtrado de la señal para suavizar cambios bruscos en las mediciones de los sensores. También contempla la normalización de los datos, ya que lo que se necesita son las diferencias de presión relativas entre los sensores y no la presión real. Y finalmente, la información que saldrá de la unidad de procesamiento debe ser un porcentaje que indica cuanto porcentaje del peso se esta cargando en cada uno de los sensores.
3. **Visualización:** La visualización de la información, es lo que usara el usuario, en este caso el paciente para tener *feedback* de como esta distribuyendo el peso corporal en sus pies. Esta etapa es de suma importancia, ya que es la “cara visible” de la solución y la información debe ser presentada en la forma correcta, para que el paciente la pueda interpretar fácilmente, y así ayudar en la mejora de su condición. En esta etapa también se contempla mostrar un resumen de los datos al finalizar la sesión, como por ejemplo, un mapa de calor de la sesión, de manera que el paciente tenga un *insight* general de la sesión y a la vez el kinesiólogo pueda tomar decisiones a partir de estos datos.

# Relación entre procesos

Una vez definidos cada uno de los procesos que se realizarán, es necesario establecer las relaciones entre cada uno, definiendo como se comunicarán y comportarán en conjunto. Para esto se describe a continuación cada una de estas relaciones:

- **Paciente - Carga - Sensado:** La primera etapa del proceso corresponde a la establecida entre el paciente y el dispositivo. En esta etapa el paciente se debe parar sobre la plataforma, lo que generará una carga en esta, la cual es monitoreada por los sensores de carga. Estos sensores entregan una señal eléctrica analógica.
- **Sensado - Procesamiento I:** Debido a que el proceso de sensado entrega señales analógicas es necesario procesarlas, tal como se mencionó anteriormente, en particular, en la etapa de procesamiento I se entrega el estado actual del paciente, es decir su carga en el mismo instante.
- **Sensado I - Almacenamiento - Procesamiento II:** Estas relaciones se establecen con la finalidad de obtener, en todo momento, el historial del paciente (estado acumulado) en la sesión actual, es decir, que tan bien lo ha hecho desde que comenzó el ejercicio. Para esto se almacena el estado actual, para luego calcular el estado acumulado con toda la información guardada.
- **Procesamiento - Visualización:** Una vez calculado el estado actual del paciente, así como el estado acumulado, estos se deben ingresar al proceso de visualización.
- **Visualización - Paciente:** Esta es una de las relaciones más importantes, ya que establece el *feedback* necesario para que el paciente pueda, inmediatamente, regular su postura. Este *feedback* se produce a través de un mapa que muestra el cambio de la posición del centro de masas hasta finalizar la sesión que muestra un mapa de calor de la distribución durante la sesión.



# Diseño del circuito y conexión de sensores

## 0.1. Materiales

Los materiales utilizados y sus respectivos costos se encuentran resumidos en la tabla a continuación, aquí no se incluyen algunos insumos de trabajo, como herramientas, pegamentos u otros componentes de ese estilo.

| Materiales                                   | Costo Unitario | Cantidad     | Costo Total     |
|--|----------------|--------------|-----------------|
| Celdas de Carga 20 kg + HX711                | \$6990         | 8            | \$55920         |
| Arduino UNO                                  | \$15830        | 1            | \$15830         |
| Cable Arduino 1.5m                           | \$2990         | 1            | \$2990          |
| Set de Cables                                | \$4810         | 1            | \$4810          |
| Tabla de madera melamina 15x183x250 mm.      | \$6623         | 1            | \$6623          |
| Tabla de madera 10x300x300 mm.               | \$4000         | 1            | \$4000          |
| Tornillos de 4 pulgadas                      | \$162          | 8            | \$1296          |
| Tornillos de 3.5 pulgadas                    | \$215          | 6            | \$1290          |
| Pernos para Celdas de Carga                  | \$250          | 32           | \$8000          |
| Papel Vinílico Autoadhesivo negro 45x200 mm. | \$2990         | 1            | \$2990          |
|  |                | <b>TOTAL</b> | <b>\$103749</b> |

Tabla 1: Materiales utilizados y presupuesto

## 0.2. Plataforma

La construcción de la plataforma se llevó a cabo por capas, en donde la capa intermedia contenía dos tablas de 30x30 cms. como aparece en la figura 3, la cuál contenía los ocho sensores de carga de 20 kg., dos en sus respectivos cuadrantes. Estas parte intermedia fue tapada con dos estructuras más de madera, una en su parte inferior y otra en su parte superior, las cuáles eran de 40x40 cms. dando así el espacio necesario para el cableado como para las unidades de procesamiento. Las estructuras de madera fueron ensambladas mediante tornillos, y todo el ensamblaje fue cubierto por un material vinílico que le da resitencia al dispositivo.

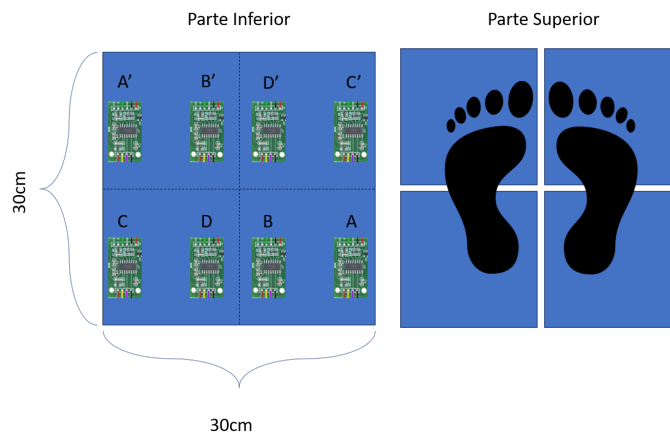


Figura 3: Esquemático plataforma

### 0.3. Conexiones Celda de Carga

Las conexiones de las celdas de carga a su respectivo transmisor HX711 son todas iguales, y se rigen bajo las conexiones de la figura 4

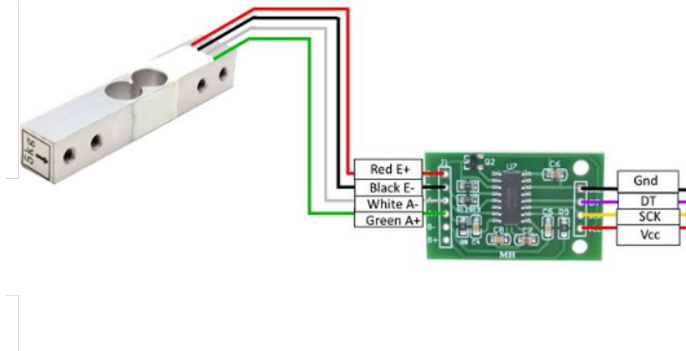


Figura 4: Conexión de celda de carga a HX711

### 0.4. Conexiones HX711

Las conexiones de los transmisores HX711 están establecidas en la tabla 2. En esta tabla la columna HX711 es el código que representa la posición del sensor en la plataforma (ver figura 3). La columna PIN HX711 indica el pin del respectivo transmisor y la columna PIN ARDUINO indica el pin donde debe ser conectado (los pines que son solo números son pines digitales, mientras que los A0, A1, A2, A3, A4 y A5 son pines analógicos).

| HX711 | PIN HX711 | PIN ARDUINO |
|-------|-----------|-------------|
| A     | DOUT      | 6           |
| A     | CLK       | 8           |
| B     | DOUT      | 4           |
| B     | CLK       | 7           |
| C     | DOUT      | A2          |
| C     | CLK       | A3          |
| D     | DOUT      | A0          |
| D     | CLK       | A1          |
| A'    | DOUT      | A4          |
| A'    | CLK       | A5          |
| B'    | DOUT      | 13          |
| B'    | CLK       | 12          |
| C'    | DOUT      | 11          |
| C'    | CLK       | 10          |
| D'    | DOUT      | 5           |
| D'    | CLK       | 2           |

Tabla 2: Conexion de transmisores HX711 a arduino

## Calibración

Una parte fundamental del censado del centro de gravedad consiste en la calibración de los sensores, ya que esto permite determinar con fidelidad dicha posición.

Cada sensor debe ser calibrado con dos factores, uno correspondiente al peso de la plataforma sobre dicho sensor, el que generaría un sesgo en las mediciones de no considerarlo, y un factor multiplicativo relacionado con la estructura y composición de cada sensor, siendo ambos factores distintos para cada sensor.

Al contar con 2 sensores por cuadrante, no es directo calibrarlos en conjunto ya que se deben determinar 4 factores con la suposición que el peso se distribuye homogéneamente entre ambos sensores, cosa que en la práctica no es así debido al roce entre cuadrantes y a la inclinación del mismo. Por esta razón se calibró cada sensor por separado, siguiendo los siguientes pasos:

1. En primer lugar se debe adquirir las lecturas de un único sensor, considerando solamente el peso de la plataforma. Para evitar los efectos del ruido se adquirieron 5 muestras consecutivas debido a la variabilidad de las mediciones. El promedio de estas mediciones corresponde al sesgo relacionado con la pesa.
2. Posteriormente se debe restar el sesgo obtenido en el paso anterior a las mediciones del sensor, con lo que al activarlo nuevamente este debe indicar valores cercanos a 0.
3. En tercer lugar se debe posicionar un peso fijo y conocido sobre el cuadrante asociado al sensor, este peso idealmente debe ser de 15 Kg, para no saturarlo ni trabajar en puntos de operación de bajo peso.
4. El factor multiplicativo se obtiene al dividir el peso real (15 Kg) con la medición entregada por el sensor.
5. Finalmente se deben multiplicar las mediciones por este factor y comprobar su correcta calibración al colocar diferentes pesos sobre el cuadrante.
6. Proceder desde el paso 1 con todos los sensores.

# Software

## Arduino

A continuación, se presenta un pseudo código que representa el funcionamiento del software embebido en el arduino. Todas las actualizaciones de software serán publicadas en el github del proyecto (<https://github.com/DanielMontecino/SISPO>).

```
Importar librería HX711.h
Inicializar los objetos para recibir información de los sensores
Inicializar la escala de las celdas en 0

While True:
    Leer la información de los sensores
    Calcular centro de masa
    Si el peso medido es menor a 10kg
        Entonces enviar cordenadas X = 50,Y = 50 y peso
    Si no:
        Enviar las coordenadas del centro de masa y peso
```

## Computador

A continuación, se presenta un pseudo código que representa el funcionamiento del software que se ejecuta en el computador y que permite visualizar los datos capturados por los sensores de la plataforma. Todas las actualizaciones de software serán publicadas en el github del proyecto.

```
Importar librerías requeridas
Inicializar la comunicación con arduino
Inicializar gráfico para visualizar el centro de masa

While True:
    Leer información enviada por arduino
    Guardar los datos en una lista
    Si las coordenadas están dentro de la zona de seguridad:
        Gráficar círculo azul centrado en las coordenadas
    Si no:
        Gráficar círculo rojo centrado en las coordenadas
    Si la ventana se cierra:
        Parar el loop
```

Graficar un mapa de calor con los datos guardados

## Instalacion y Uso

Para usar el programa es necesario instalar Python 3 y las librerías requeridas por el software del computador. Estas librerías son Matplotlib, Numpy y PySerial.

Para instalar Python 3 se deben seguir las instrucciones de <https://www.python.org/downloads/windows/>. Luego se debe ejecutar los siguientes comandos para instalar MATplotlib y Numpy:

```
pip install matplotlib  
pip install numpy
```

Otra alternativa para instalar estas librerías es usar anaconda que puede ser descargado de <https://www.anaconda.com/download>. Con esto ya se puede ejecutar el programa usando la consola. Para esto se debe navegar a la carpeta donde está alojado el programa (usando el comando `cd < PATH >`) y luego ejecutar (para que el programa se ejecute correctamente la plataforma debe estar conectada al computador):

```
python realplot.py
```

# Conclusiones

A través del proyecto se logró identificar conceptos e ideas fundamentales para el kinesiólogo, los cuales fueron llevados al mundo ingenieril, esto permitió realizar un proyecto exitoso. Donde la retroalimentación dada por los profesionales de la salud fue un elemento clave.

Se espera que el sistema de posturografía sea de gran ayuda en la rehabilitación de los pacientes de la fundación. Dentro de los principales beneficios que traerá el proyecto, está la ayuda a la rehabilitación de los pacientes, entrega de métricas para los kinesiólogos para evaluar el avance de un tratamiento, además de que permitirá a la fundación contar con un dispositivo de posturografía de calidad y de bajo costo.

Dentro de las mejoras que podrían ser implementadas a futuro, se encuentra; agregar una interfaz de usuario al software, con el fin de que éste sea mas intuitivo, añadir juegos que permitan a los pacientes no solo enfocar su peso en el punto central sino que también aprendan a moverlo en la dirección que ellos deseen mejorando, de esta forma, su coordinación y movilidad mejorarán, además que se crea una atmósfera lúdica durante los tratamientos.