

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE RÍO CUARTO



FACULTAD DE INGENIERÍA

PRÁCTICAS PROFESIONALES SUPERVISADAS

Alumno:

Ricottilli González, Damián Alejandro

## 1 RESUMEN

Durante las Prácticas Profesionales Supervisadas se llevó a cabo el diseño de un dinamómetro de mano. En primera instancia se buscó información que tratara de estos dispositivos, mayormente, qué se podía encontrar en el mercado y los rangos con los que se debería trabajar. A continuación, se instigó sobre los componentes encargados de tomar la medida y el tratamiento de la señal para llevar la información hasta una pantalla. Una vez decidido, se realizó la compra teniendo en cuenta el costo de estos componentes y se procedió con la calibración de la celda encargada de medir la fuerza ejercida, y también el análisis de su error. Se continuó con la producción de un “programa” en el entorno de programación Arduino, para el tratamiento de la señal y su impresión en una pantalla, también para aumentar la funcionalidad del dispositivo, como por ejemplo la mantención en pantalla del mayor valor medido. Se diseñó una carcasa para contener los componentes encargados de la medición, la misma pensada para ser producida mediante una impresora de tres dimensiones, de modo que cumpla su función, sea fácil de imprimir, rígida y segura para los componentes interiores, cómoda, simple e intuitiva para manipular, que sea agradable a la vista, ahorre material y sea fácil de ensamblar, a continuación, se llevó cabo su impresión y el ensamblaje del sistema electrónico dentro de la misma. Para finalizar, se le hicieron distintas pruebas para dejar en evidencia su funcionamiento.

## Contenido

1	Resumen.....	1
2	Datos de la práctica profesional supervisada .....	4
3	Objetivos .....	5
3.1	Objetivos planteados .....	5
3.2	Objetivos alcanzados .....	6
4	Descripción de la empresa .....	7
4.1	Presentación de la empresa .....	7
4.2	Descripción.....	7
4.3	Organigrama .....	10
4.3.1	Organigrama general.....	10
4.3.2	Organigrama del laboratorio .....	11
5	Descripción de las actividades .....	12
5.1	Revisión bibliografica .....	12
5.2	Materiales y metodos .....	16
5.2.1	Análisis y selección del sensor de fuerza.....	16
5.2.2	Amplificación de la señal .....	18
5.2.3	Selección del microcontrolador.....	19
5.2.4	Calibración .....	20
5.2.5	Visualización de datos .....	22
5.3	Diseño y armado de la carcasa .....	23
6	Conclusión .....	27
7	Interminables desenlaces.....	28
8	Anexo.....	29
8.1	Nuevas tablas de fuerza de la mano para población adulta de Teruel .....	29
8.2	Celda de carga.....	30

8.3	Circuito electrico y microcontrolador Arduino Nano .....	31
8.4	Calibracion de la celda .....	32
8.4.1	Calculo del error .....	32
8.4.2	Código utilizado para la calibración de la celda: .....	34
8.4.3	Software del dispositivo: .....	35
9	Bibliografía .....	40

## 2 DATOS DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

- Título de la práctica: *Diseño y construcción de un prototipo de dinamómetro de mano.*
- Nombre del alumno: *Ricottilli González, Damián Alejandro.*
- Tutor de la Empresa: *Fontana, Juan Manuel.*
- Tutor de la Facultad de Ingeniería: *O'Brien, Ronald Julián.*
- Lugar de trabajo: *Grupo de Acústica y Vibraciones (GAV) - Facultad de Ingeniería - UNRC.*
- Fecha de iniciación de la práctica: *14/05/2018 (Lunes).*
- Fecha de finalización de la práctica: *2/07/2018 (Lunes).*
- Fecha de presentación del informe:

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVOS PLANTEADOS

- Adquirir experiencia en el ámbito laboral vinculada a la formación académica, tomando contacto con el ámbito de la investigación en el que se desenvuelven las actividades de desarrollo de nuevos avances tecnológicos.
- Aplicar los conocimientos interdisciplinarios adquiridos durante la carrera, para posibilitar la realización del diseño y construcción de un prototipo de dinamómetro de mano. Dicho dispositivo estará destinado a medir la fuerza de prensión ejercida por una mano robótica y permitirá también la medición de la fuerza ejercida por una mano humana a fin de comparar resultados.
- Favorecer el desarrollo de capacidades para el trabajo en equipo y también de las capacidades individuales.

### 3.2 OBJETIVOS ALCANZADOS

- La experiencia en el laboratorio fue muy buena, ya que permitió un buen ambiente para el desarrollo de la investigación. Se logró una continua formación personal mediante la búsqueda de información en diferentes medios, como la web, libros y experiencias personales, provenientes tanto de los nuevos integrantes como los profesionales ya experimentados, integrantes de dicho grupo, para estar al tanto de la tecnología disponible en beneficio de un diseño óptimo.
- Se logró el diseño integral y la construcción del prototipo buscado, que cumple de manera satisfactoria su finalidad. En el diseño, tanto en sus partes iniciales, como finales, se aplicaron gran cantidad de conocimientos de distintas áreas de la ingeniería. Estos conocimientos se hicieron confluír armónicamente en el diseño final, sin dejar de lado un buen aspecto y la máxima simplicidad, tanto en su utilización, como en su fabricación y ensamblado, en pos de una eventual reparación o mejora en el diseño del prototipo. También se pudo lograr un diseño original, superando los obstáculos que dicha tarea supone.
- Durante las prácticas, se produjo a diario el trabajo en equipo, dándose la sinergia necesaria para poder llevar a cabo una jornada agradable, también ayudando y dando consejos recíprocamente, para llevar a cabo los distintos objetivos planteados a diario entre los integrantes de dicho grupo. También es de destacar la ayuda recibida rápidamente, con las mejores intenciones y sin esperar nada a cambio de profesionales externos al grupo de investigación, miembros de la querida Facultad de Ingeniería.

## 4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### 4.1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

- Nombre: *Grupo de Acústica y Vibraciones (GAV).*
- Dirección: *Ruta Nacional 36, Km 601.*
- Teléfono/Fax: *0358-4676247.*
- Rubro: *Servicios-Investigación.*
- Área donde se realiza la práctica: *Investigación.*
- Duración de la Practica: *200 horas.*
- Horario: *Lunes a Viernes de 8hs a 14hs.*

### 4.2 DESCRIPCIÓN

El Grupo de Acústica y Vibraciones (GAV) pertenece a la Universidad Nacional de Río Cuarto, esta integrados al Departamento de Mecánica de la Facultad de Ingeniería y realiza actividades de investigación, extensión y desarrollo en el área de acústica y vibraciones mecánicas.

Su misión es de la solucionar problemas científicos y mejorar la vida de la comunidad.

Otro objetivo primordial es proveer el conocimiento básico, la experiencia, y el liderazgo en el área de control de sonido y vibraciones.

Los objetivos del grupo son:

- Colaborar con la docencia de grado y posgrado mediante la formación de grado y posgrado mediante la formación de recursos humanos en el área, a través del desarrollo de actividades de interés a los objetivos generales del Grupo.
- Promover la vinculación con industrias del ámbito local, regional e internacional.
- Generar vínculos con otros grupos o centros de universidades nacionales o extranjeras con líneas de trabajo afines o complementarias.

- Impulsar el perfeccionamiento de sus miembros en temas que sean prioritarios en función de líneas de trabajo planificadas por el grupo.

El GAV ofrece a toda la comunidad servicios de alta complejidad y eficiencia, los cuales son:

- Servicios en Acústica:
  - Medición del Ruido
    - ❖ Coast-by methods for measurement of tyre-to-road sound emission (ISO 13325:2003).
    - ❖ Medición de ruidos molestos en el vecindario (IRAM 4062)
    - ❖ Medición de Nivel Sonoro Continuo Equivalente (NSCE)
    - ❖ Medición de Reverberación (ISO 3382)
    - ❖ Medición de absorción de sonido en sala reverberante (IRAM 4065)
    - ❖ Calibración de Decibelímetros clase 2 (IRAM 4123, IEC 60942, ANSI S. 1.40)
  - Control del Ruido
    - ❖ Absorción Sonora
    - ❖ Aislación Sonora
  - Protectores Auditivos
    - ❖ Estudio y Parámetros en tipos de protectores.
    - ❖ Evaluación de la Protección.
  - Socio acústica
    - ❖ Estudio de ruidos en el vecindario (IRAM 4062)
    - ❖ Diseño de Barreras acústicas.

- Servicios en vibraciones mecánicas
  - Medición y evaluación de vibraciones
    - ❖ Evaluación de vibraciones en estructuras y máquinas (ISO 2372)
    - ❖ Evaluación de vibraciones en seres humanos (ISO 2631, IRAM 4078, IRAM 40)
  - Control de Vibraciones
- Servicios en educación y ruido
  - Enfoque médico de los trastornos por el ruido
  - Peritaje y asesoramiento jurídico

Dentro del Grupo de Acústica y Vibraciones se desarrollan las siguientes líneas de investigación:

- Vibro acústica
  - Emisión de ruido en neumáticos: Ensayos experimentales y simulaciones
  - Detección de fuentes de ruido en maquinaria industrial.
  - Optimización de la potencia en motores de combustión interna
- Bio Ingeniería
  - Sistemas de retroalimentación Vibrotáctil
  - Modelado del oído medio
- Vibraciones
  - Detección de fallas en estructuras de material compuesto

El GAV tiene en sus instalaciones equipamiento especializado para realizar diferentes ensayos, los cuales son:

- Ensayo de vibraciones
  - Impulsive Hammer Systems

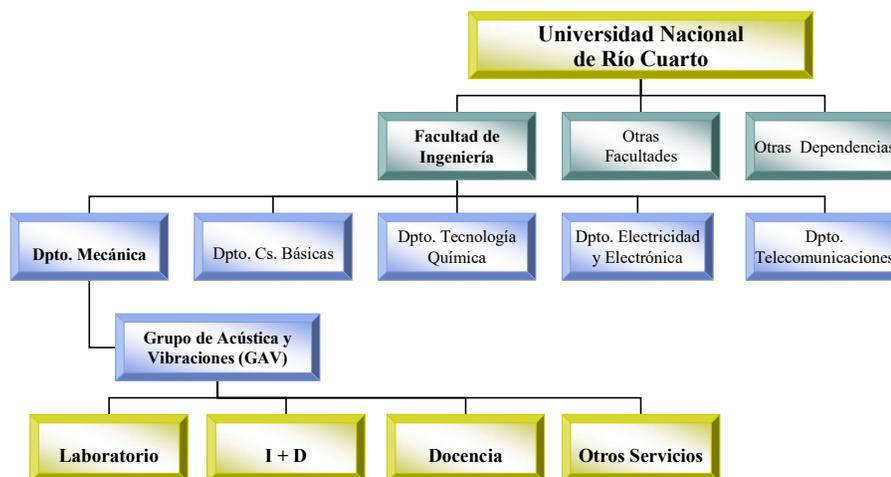
- Medición de nivel sonoro continuo equivalente y Medición de reverberación
  - Calibrador para decibelímetro
  - Decibelímetro portátil digital
- Medición de potencia de motores
  - Banco inercial para medición de potencia
  - Sistema de adquisición de datos

Actualmente cuenta con una impresora 3D de la marca Replikat, modelo XY, la cual imprime con una precisión de 0.5 micrómetros. La misma se utiliza para la impresión de piezas que son requeridas en las distintas investigaciones.

### 4.3 ORGANIGRAMA

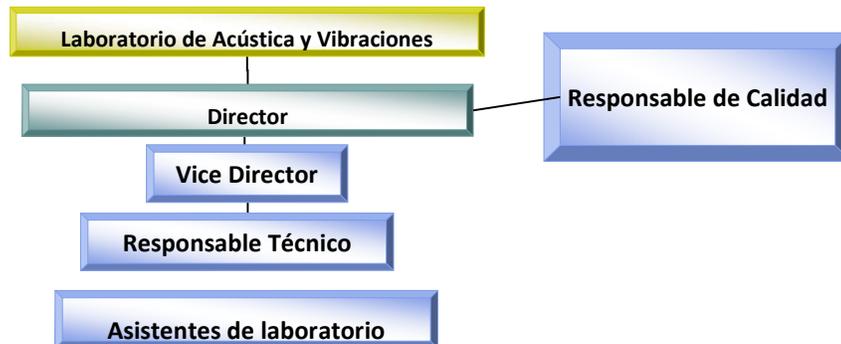
#### 4.3.1 ORGANIGRAMA GENERAL

A continuación, se muestra la ubicación del GAV donde se desarrolla dentro del marco de la universidad y facultad.



#### 4.3.2 ORGANIGRAMA DEL LABORATORIO

A continuación, se muestra la organización interna del laboratorio, y también se especifican las personas que ocupan cada puesto.

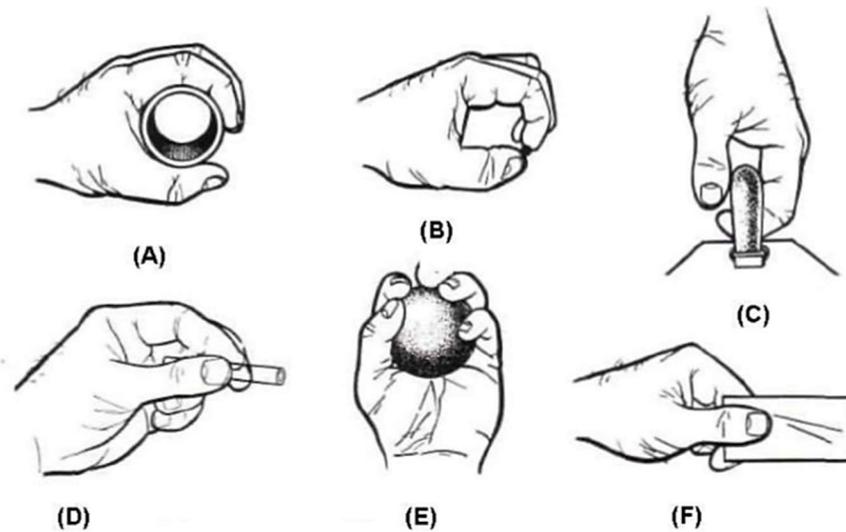


- *Director:* Leonardo, Molisani
- *Vice Director:* Daniel, Carmona
- *Responsable de Calidad:* Fontana, Juan Manuel
- *Responsable Técnico:* O'Brien, Ronald Julián
- *Asistentes de Laboratorio:*
  - Muract, Jorge
  - Martinez, Gonzalo
  - Marclé, Guillermo
  - Florio, Oscar
  - Delmastro, Elver
  - Oviedo, Mariano Gonzalo
  - Panella, Mariano
  - Sosa, Mariano

## 5 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

### 5.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Para iniciar con el proyecto se buscó información sobre qué tipo de medida se debería poder tomar con el dispositivo en cuestión. La gran cantidad de músculos y articulaciones de la mano ofrece una variedad de configuraciones de sujeción que pueden ser divididas en dos grandes grupos: los prensiles y los no prensiles. Los movimientos prensiles son movimientos en los cuales un objeto es agarrado y mantenido parcial o totalmente dentro de la mano y los no prensiles o movimientos en los cuales no son realizadas acciones de agarre, pero los objetos pueden ser manipulados, empujados o levantados con la mano entera o con los dedos individuales. La clasificación taxonómica para el estudio de la destreza de la mano humana se agrupa en seis categorías de estrategias de agarre: agarre cilíndrico, de punta, de gancho, de palma (palmar), esférico y de lado (lateral), como se muestra en la Figura 1 [1].



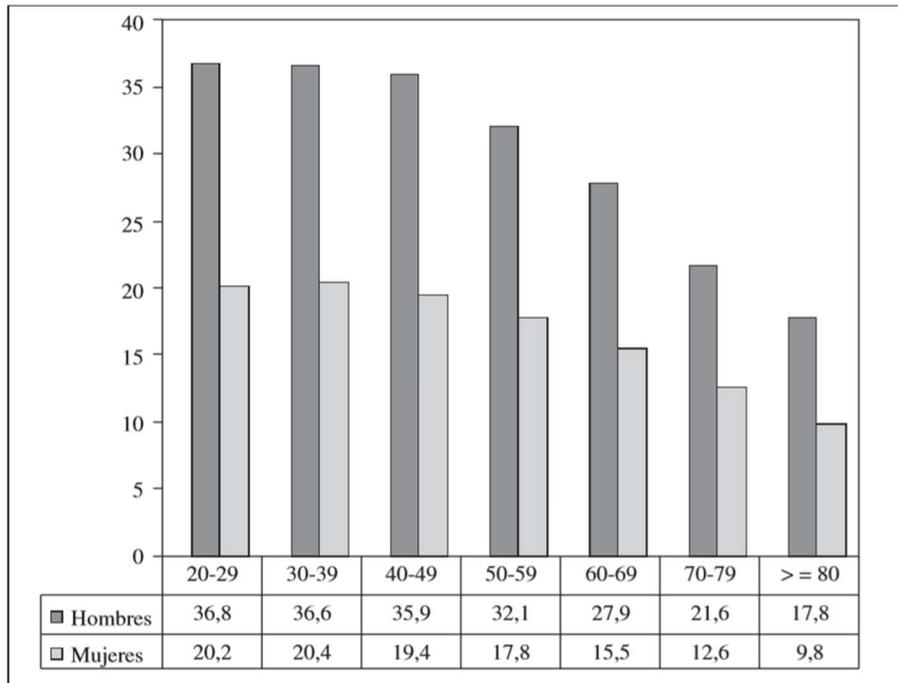
**Figura 1: Agarres prensiles humanos. (A) Cilíndrico, (B) de punta, (C) de gancho, (D) palmar, (E) esférico, (F) lateral.**

Luego se indagó en los dinamómetros que se encontraban en el mercado, se muestran algunos en la Figura 2. La gran mayoría miden la disposición cilíndrica, esto no es un hecho fortuito, ya que dicho agarre se utiliza en experiencias, junto con otros parámetros como el índice de masa corporal, para tener una medida del estado de la salud de las personas y también, en esta disposición, se utiliza toda la mano, por lo que es más general que los demás la medida sobre este [2].



**Figura 2: Modelos de dinamómetros de mano.**

Después se investigó el umbral de fuerza con que se debería trabajar. En la Figura 3 se ve el umbral de fuerza de la mano humana según un estudio realizado en España y que contó con la participación de 2270 personas, de ambos sexos y edades desde 20 hasta más de 80 años [2]. En dicha figura las fuerzas están discriminadas por sexo y grupo de edades (en la sección 8.1 del anexo se presenta mayor detalle de los datos de fuerza para cada categoría). Se observa una diferencia de fuerza entre hombre y mujer, y también una caída en el valor medio con la edad. Para la toma de muestras en dicho estudio, se tomó el dispositivo con el brazo extendido, paralelo al tronco, sin apoyo y ejerciendo la fuerza máxima. La maniobra se repitió en dos ocasiones para cada mano dejando un tiempo de recuperación entre ellas y anotando el valor máximo de cada una y el valor medio entre las dos [2]. Este procedimiento es el que se utiliza comúnmente para la medición de la fuerza de la mano humana, y que puede ser implementado para medir la fuerza ejercida por una mano robótica.



**Figura 3: Fuerza de la mano en distintos grupos de edades medida en Kg.**

En cuanto a los valores de fuerza máxima observada para manos robóticas comerciales o desarrolladas en el ámbito de un laboratorio de investigación, se encontró un trabajo de tesis que presenta un resumen de dichos valores [1]. En la Tabla 1 se resumen los valores de fuerza encontrados para más de 20 dispositivos. Se puede ver que ninguna de las prótesis supera los 100 Newton de fuerza, poniendo un límite superior (práctico) para la fuerza de las prótesis.

**Tabla 1: Revisión de manos antropomórficas.**

Nombre Mano	Autor	Año	Tamaño (norm.)	# de Dedos	GDL	Actuadores (tipo)	Contr	# de Sensores	Peso (g)	Fuerza (N)	Vel. (s)
Humana	(Kandel)	2000	1	5	22	38 (Muscl)	E	≈17'000	≈ 400	> 300	0.25
Okada	(Okada)	1979	> 1	3	11	E	E	-	-	-	-
Utah/MIT	(Jacobsen)	1983	> 2	4	16	32 (P)	E	16	-	31.8	-
Stanford JPL	(Salisbury)	1983	≈ 1.2	3	9	12 (E)	E	-	1100 <sup>2</sup>	-45	-
Belgrade/USC	(Bekey)	1988	≈ 1.1	4	4	4 (E)	E	23+4	-	-	-
Barret	(Townsend)	1998	≈ 1	3	4	I	E	-	-	-	-
UB	(Bonivento)	1992	≈ 1	3	13	E	E	-	-	-	-
MARCUS	(Kyberd)	1995	> 1.1	3	2	2 (E)	I	3	-	-	-
NTU	(Li-Ren)	1996	≈ 1	5	17	17 (E)	E	35	1570	-	-
DLR I	(Butterfas)	1997	>> 1	4	12	I	E	-	-	-	-
Hokkaido	(Fujii)	1998	> 1	5	7	7 (E)	E	-	125	-	-
LMS	(Gazeau)	1998	≈ 1	4	16	E	E	-	-	-	-
DIST	(Cafés)	1998	> 1	5	16	E	E	-	-	-	-
Robonaut	(Lovchik)	1999	≈ 1.5	5	12 + 2	14 (E)	E	43 + toque	-	-	-
Tokyo	(Lee)	1999	≈ 1	5	12	P	E	-	-	-	-
Southampton	(Light)	2000	> 1	5	6	6 (E)	E	-	400	38	2.5 <sup>3</sup>
Karlsruhe	(Fukuya)	2000	≈ 1	5	17	17 (E)	E	-	20 <sup>4</sup>	12	0.1
DLR II	(Butterfas)	2000	≈ 1.5	4	13	13 (E)	E	64	320	30	-
Ultralight	(Schultz.)	2000	>> 1	5	13	P	E	-	-	-	-
Gifu	(Kawasaki)	2001	≈ 1	5	16	I	E	-	-	-	-
Ottobock SUVA	(Otto Bock)	2002	≈ 1	3	1	1 (E)	I	2	600	< 100	< 1
Shadow	(Shadow Co.)	2002	≈ 1.1	5	23	P	E	-	-	-	-
UMNG	(Ocampo.)	2004	≈ 1	4	12 + 2	12 (E)	E	4 força	-	-	-

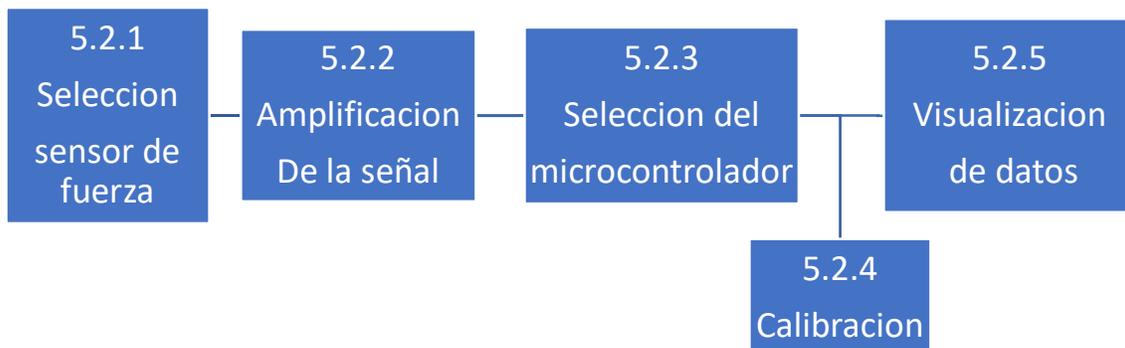
Con los datos encontrados, se propone como objetivo general de este trabajo el diseño y construcción de un dinamómetro de mano que cumpla con los siguientes requisitos:

- Priorizar la medición de fuerza del agarre cilíndrico teniendo en cuenta la eventual incorporación de una modificación para poder medir también los agarres de punta, palmar y lateral.
- Utilizar una celda de carga priorizando el rango de medición (0 – 10kg) y su sensibilidad en una zona cercana de la posible medida a tomar, en otras palabras, adaptado para medir la fuerza de una mano robótica.
- Implementar un sistema de visualización que permita una fácil lectura de los valores de fuerza.

Es importante destacar que no existen dispositivos de producción nacional de esta índole y que el desarrollo de un dispositivo novedoso, viable y que cumpla satisfactoriamente su finalidad puede originar un dispositivo comercial y factible de ser patentado.

## 5.2 MATERIALES Y METODOS

En la Figura 4 se ilustra cómo se organizaron las distintas tareas de la sección 5.2, desde la selección del sensor de fuerza, pasando por la amplificación de la señal, su tratamiento en el microcontrolador, la calibración de este sistema y finalmente la visualización de datos en una pantalla.



**Figura 4: Diagrama de organización del informe.**

### 5.2.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL SENSOR DE FUERZA

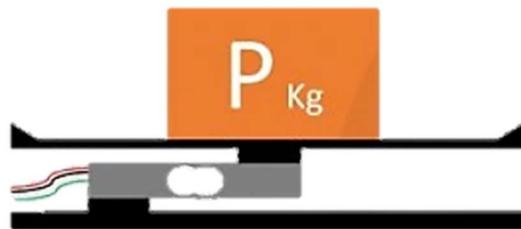
Debido a que se decidió medir la estrategia de agarre cilíndrico, se seleccionó la celda de carga “tal220”, Figura 5, con una capacidad nominal de 10 kg de carga (rango aproximado de fuerza de la prótesis), fabricada en una aleación de aluminio, dotada de cuatro galgas extensiométricas dispuestas en una configuración de puente Wheatstone para amplificar la variación de la resistencia producida por la deformación de las mismas.



**Figura 5: celda de carga tal220.**

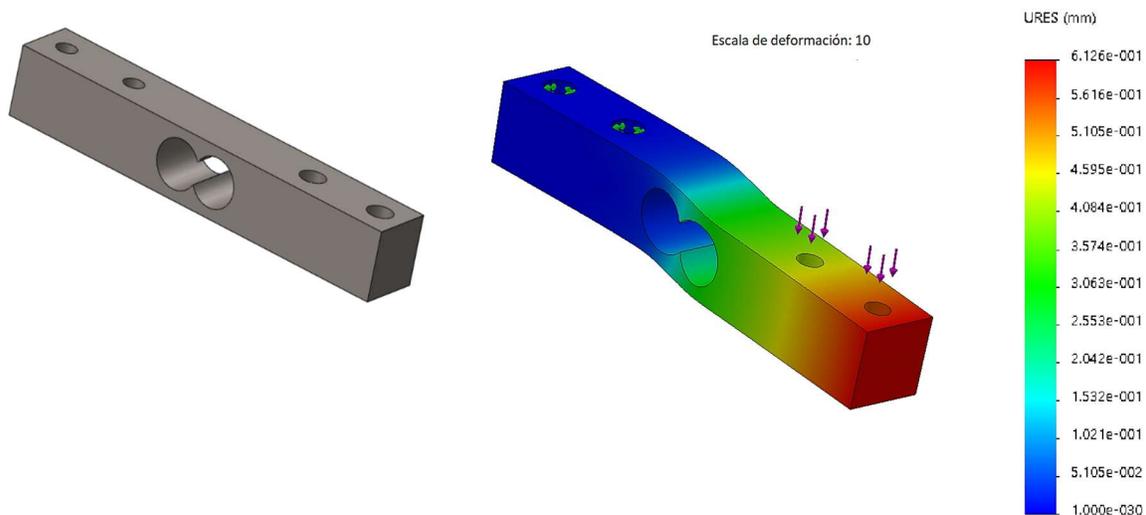
En la Figura 18 del anexo, apartado 8.2, se describen las distintas características de la celda, como las capacidades soportadas, sus dimensiones, errores, repetibilidad, creep, temperatura de operación, voltaje de excitación, voltaje de salida, resistencia, grado de protección del circuito eléctrico y su conexión.

En la Figura 6 se muestra la forma de usar la celda.



**Figura 6: Forma de uso de la celda.**

Luego se relevaron las dimensiones para producir un modelo de la misma en SolidWorks, como se ve en la Figura 7, donde también se muestra el resultado de una simulación, fijada en los dos agujeros de un extremo y con la carga nominal repartida en los otros dos.



**Figura 7: Modelo de la celda de carga en Solidworks y su simulación, fijo en un extremo y con lo carga nominal en el otro (10kg).**

En la Figura 7 también se observa el pequeño desplazamiento provocado por la carga nominal, y dicho desplazamiento no llega a 1 mm, este comportamiento, fue ventajoso a la hora del diseño de la carcasa, ya que del mismo se desprenden hipótesis que facilitan el modelo físico a utilizar para ello.

### 5.2.2 AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL

Debido a que la señal de salida de la celda es muy pequeña, en otras palabras, la variación de voltaje es baja, lo primero que se debe hacer es amplificar dicha señal. Para la amplificación se utilizó el módulo HX-711 (Figura 8) en conjunto con su librería, que es el software que nos facilita el uso simple de la placa.



**Figura 8: Módulo amplificador HX-711.**

La señal de salida de la celda es analógica, lo que hace el módulo, es amplificarla y luego transformarla en una señal digital con una resolución de 24 bit, para posteriormente enviarla mediante el protocolo I2C al microcontrolador.

Luego se buscó la librería necesaria para poder usar la placa en cuestión con el microcontrolador Arduino.

Se conectó la placa al Arduino y para el traspaso de datos se definieron el pin A0 y el A1 del microcontrolador como Clock y Data respectivamente, que luego se unieron a los pines SCK y DT del amplificador.

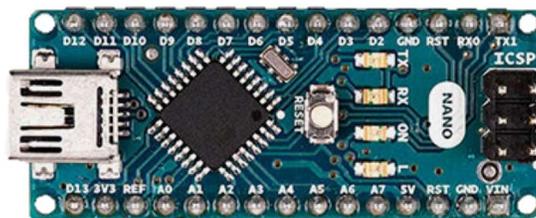
En el anexo, sección 8.3, Figura 19 se ilustra el circuito eléctrico utilizado.

### 5.2.3 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Como ya se mencionó, la lectura de los datos se llevó a cabo con una placa Arduino Nano (Figura 9). Se seleccionó dicha placa por las evidentes ventajas que tiene, como lo es un diseño compacto, adecuado para la construcción de un dispositivo para manipular con la palma de la mano, la versatilidad para distintas tareas, como el tratamiento de datos, la posibilidad de utilizar una pantalla LCD para la visualización de los mismos, el uso del hardware y el software libres, que permiten la búsqueda de información y compartir los diseños sin ningún tipo de trabas, el bajo consumo de la placa, y no menos importante, su bajo costo.

Las características técnicas son:

- Microcontrolador ATmega328 con cargador de inicio preprogramado.
- Tensión de entrada (recomendada): +7 a + 12 V.
- Tensión de entrada (límites): +6 a + 20 V.
- 14 pines GPIO (de los que 6 ofrecen salida PWM).
- 6 pines de entrada analógica.
- Corriente DC por pin de E/S: 40 mA.
- Memoria Flash de 32 KB (2 KB para cargador de inicio).
- SRAM de 2 KB.
- EEPROM de 1 KB.
- Admite comunicación serie I2C.
- Frecuencia de reloj: 16 MHz.
- Dimensiones: 0,73" x 1,7"



**Figura 9: Arduino Nano.**

En el anexo, Figura 20, sección 8.3, se muestran las salidas y entradas del microcontrolador y sus respectivas funciones.

#### 5.2.4 CALIBRACIÓN

El valor que entrega el amplificador al Arduino es un número que tiene una variación lineal con la fuerza aplicada, por lo tanto, para calibrar la celda y el amplificador, se colocaron en la celda masas conocidas y se tomaron los datos proporcionados por el amplificador, de manera que, con estos dos datos, luego se calculó el factor de proporcionalidad con el cual se obtiene directamente la fuerza aplicada en la celda.

Se utilizó para la calibración un código para el entorno de programación Arduino, buscado y descargado de la web, y luego modificado para la ocasión (sección 8.4.2).

Se procedió de la siguiente manera:

- Se construyó un dispositivo auxiliar para reproducir el modelo físico del dinamómetro (Figura 10).
- Se consiguieron masas de peso conocido ya calibradas.
- Se pesó el dispositivo auxiliar junto con el alambre para unir las masas en una balanza calibrada, de forma de tener el dato de tara.
- Se cargó en el microcontrolador Arduino el software modificado para la lectura de los datos arrojados por la celda.
- Se conectó la celda con el módulo amplificador, este con la placa Arduino, y la última con una computadora, para poder leer los datos.
- Se fijó la celda con ayuda del dispositivo auxiliar a una mesa y se cargó con las masas calibradas. A continuación, se procedió a la toma de datos.

En el anexo, sección 8.4.1 se presentan tablas con los datos relevados y su tratamiento.



**Figura 10: Dispositivo auxiliar usado para la calibración.**

Dividiendo el dato de salida del amplificador por las masas utilizadas, se calculó el factor de proporcionalidad que es:

$$\text{Factor de proporcionalidad} = \frac{16157,7}{7,251 \text{ [Kg]}}$$

$$\text{Factor de proporcionalidad} = 2228 \pm 2 \text{ [Kg}^{-1}\text{]}$$

Al dividir la salida del amplificador por dicho factor, se obtiene directamente la fuerza aplicada, entonces:

$$\text{Fuerza medida} = \frac{\text{Datos de salida del amplificador}}{\text{Factor de seguridad}}$$

Dividiendo el factor por 1000 (mil), se obtiene la fuerza en gramos, según se necesite:

$$\text{Fuerza medida en kilogramos} = \frac{\text{Datos de salida del amplificador}}{2228}$$

$$\text{Fuerza medida en gramos} = \frac{\text{Datos de salida de la celda}}{2,228}$$

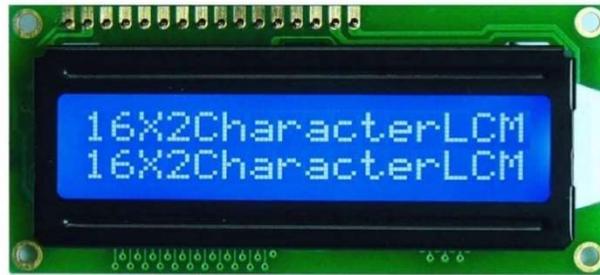
En el dinamómetro se utilizó en kilogramos, por la resolución de la pantalla LCD, aunque para la calibración se usaron gramos, ya que no existe esta limitante en donde se ven los datos.

Para la obtención de datos se utilizó la teoría de errores, basado en una distribución normal o Gaussiana, que es la naturaleza de estos errores. El error en la calibración dio un valor de siete gramos, que es inferior al que proporciona el catálogo, aunque en estas mediciones no se tiene en cuenta el error por la aproximación de linealidad en el rango de medición. Debido a lo anterior, se tomó como válida la calibración, pero se utilizó el error proporcionado por la fábrica de la celda, para estar del lado conservativo.

### 5.2.5 VISUALIZACIÓN DE DATOS

Para la visualización de datos se obtuvo una pantalla LCD 16x2, que cuenta con dos filas de 16 columnas para la impresión de caracteres alfanuméricos, como se ve en la Figura 11. Con la ayuda de una librería que se descargó para ello, se puede trabajar directamente con el texto necesario.

La pantalla cuenta con 16 pines de comunicación, que en este caso se conectaron a un módulo I2C, diseñado exclusivamente para esta aplicación. El módulo I2C se conectó a través de sus pines Data y Clock a la placa Arduino Nano, con los pines A4 y A5 respectivamente.



**Figura 11: Pantalla LCD 16X2.**

Al circuito descrito se le agregó un pulsador conectado al pin D2 de la placa Arduino, con la función de alternar entre distintos menús. Para ello se programó un software en el entorno Arduino utilizando las interrupciones del microcontrolador.

Los menús son:

- Medición de fuerza instantánea.
- Medición de fuerza instantánea y mantención del valor de fuerza máxima en la pantalla.

Accionando el pulsador por un periodo de tiempo mayor a dos (2) segundos se cambia de menú y en el de fuerza máxima, al presionar rápidamente el pulsador, se reestablece la fuerza máxima a cero.

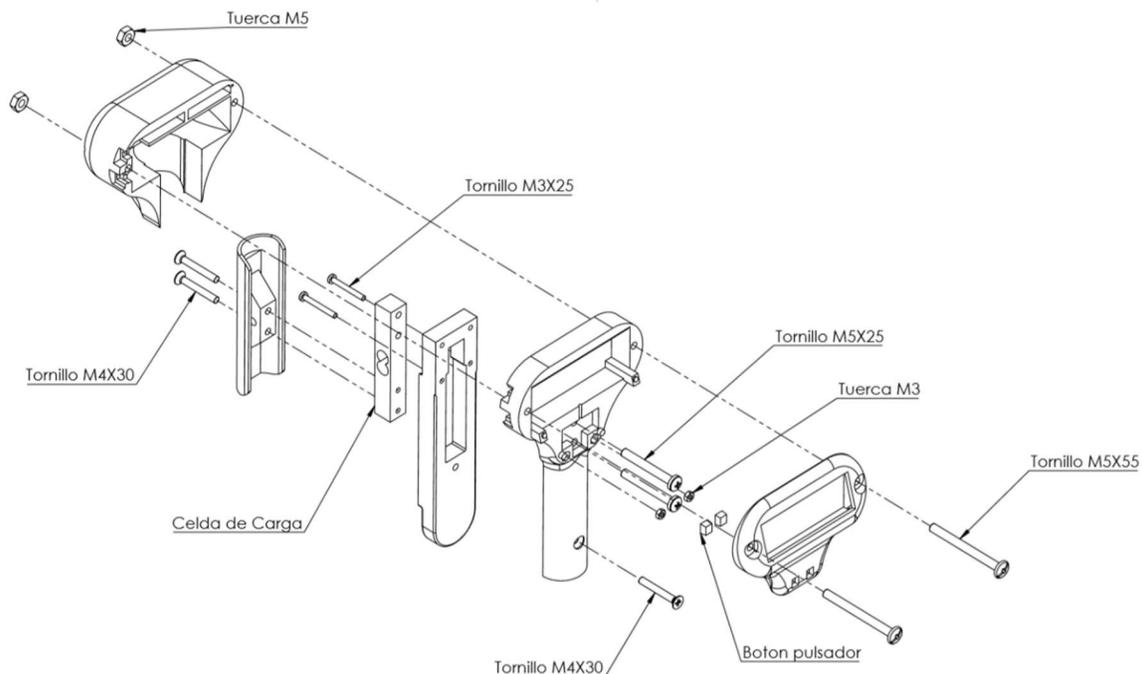
Finalmente, se agregó un conector para poder proporcionarle energía a todo el sistema mediante una batería de carbón de 9 Volt y un interruptor que permite apagar el equipo. En el anexo, sección 8.4.3, se adjunta la programación realizada.

### 5.3 DISEÑO Y ARMADO DE LA CARCASA

Para el diseño de la carcasa se utilizó el software SolidWorks. Dicha carcasa debía alojar en su interior todas las partes que constituyen este dispositivo: la celda de carga, el amplificador, el microcontrolador, el pulsador, y la batería. También era necesario un buen aspecto, simplicidad para su fabricación, ensamblado y posterior uso, y que sea ergonómica y cómoda en el agarre. Para ello la carcasa se proyectó de forma que, al aplicar el esfuerzo, los dedos de la mano no produzcan momento, para ser lo más fiel posible al modelo de carga de la celda.

Luego del proceso de diseño se procedió a imprimir la carcasa en una impresora 3D. Se utilizó la impresora con la que cuenta el grupo de investigación, una Replikat modelo XY. Como material se utilizó polímero PLA.

En la Figura 12 se ilustra la disposición de los componentes de la carcasa y los tornillos y tuercas necesarios para su armado y en la Figura 13, los componentes electrónicos y su posición. En la Figura 14 se ve el modelo final en SolidWorks.



**Figura 12: Vista en explosión de los componentes de la carcasa.**

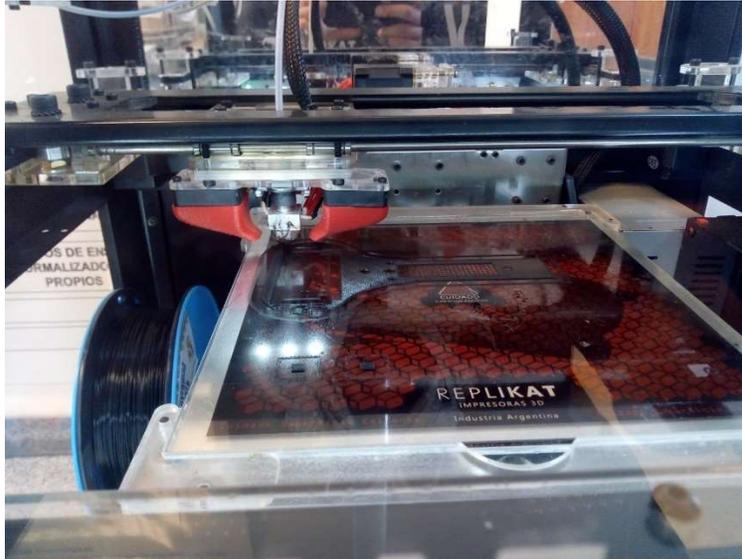


**Figura 13: Vista en explosión de los componentes electrónicos.**

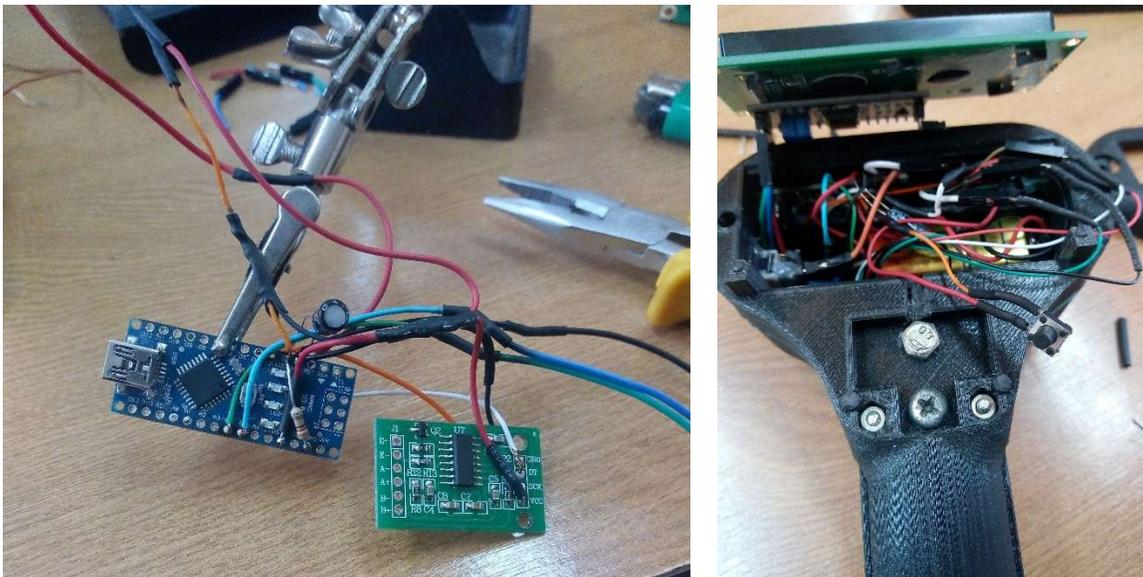


**Figura 14: Modelo en SolidWorks del dinamómetro.**

En la Figura 15 se ve la impresión de una de las partes de la carcasa y en la Figura 16 se ve como se fue armando el dinamómetro y sus componentes eléctricos.



**Figura 15: Impresión de un componente de la carcasa.**



**Figura 16: Armado del dinamómetro.**

Finalmente, en la Figura 17 se ve el dispositivo completamente ensamblado y midiendo la fuerza de la mano robótica perteneciente al grupo de investigación.



**Figura 17: Dinamómetro finalizado y realizando una medición.**

## 6 CONCLUSIÓN

Desde el punto de vista laboral, la experiencia fue muy satisfactoria, se pudo tener el suficiente contacto con el lugar de trabajo y desenvolverse en el mismo para cumplir con los objetivos buscados. En particular, se tuvo un gran roce con el ámbito de investigación, como lo es el contacto con tecnologías actuales y una continua búsqueda de información sobre el tema.

Se pudo cumplir con el objetivo principal, que consistió en diseñar y construir un dinamómetro para medir la fuerza de la mano robótica con la que cuenta el grupo de investigación. Se logró un diseño simple de construir y de utilizar, que cumple con su finalidad, un dispositivo capaz de producirse económicamente y con instalaciones mínimas, que lo hacen tentador para la producción de una patente de invención, teniendo en cuenta la falta de una oferta nacional del producto.

## **7 INTERMINABLES DESENLACES (CONCLUSIÓN PERSONAL)**

El ocaso de esta experiencia es inminente, la visión nublada y el cansancio lo evidencian. Hace mucho tiempo atrás comenzaba una nueva vida, a través de un tortuoso camino. Enarbolando una ilusión pueril, un temor compartido y una ignorancia total del futuro, daría inicio a un periplo doctrinal.

Son incontables los cuentos y las poesías que me atravesaron en este viaje, solo el fragmento de uno resuena y golpea fuertemente las paredes, como el badajo a su campana. Tal vez el primero que escuché. Tal vez el último también:

Estudia niño, y no serás, cuando crecido,  
Ni el juguete vulgar de las pasiones,  
Ni el esclavo servil de los tiranos.

## 8 ANEXO

### 8.1 NUEVAS TABLAS DE FUERZA DE LA MANO PARA POBLACIÓN ADULTA DE TERUEL

**Tabla 2: Fuerza de la mano derecha en Kg (percentiles).**

Edad	n.º casos	media	p 5	p 10	p 25	p 50	p 75	p 90	p 95
<b>Mujeres</b>									
20-29	67	20,9 (9-30)	13,4	14,8	18,0	20,0	24,0	27,0	28,4
30-39	138	21,3 (5-41)	11,9	15,0	18,0	21,5	24,0	27,0	30,0
40-49	241	20,2 (7-39)	13,0	14,0	17,0	20,0	23,6	27,0	29,0
50-59	212	18,5 (1-29)	10,0	12,0	16,0	19,0	22,0	25,0	26,0
60-69	229	16 (1-30)	8,2	10,0	13,0	16,0	20,0	22,0	23,6
70-79	206	13,1 (2-26)	5,0	7,0	10,0	13,0	16,0	18,0	21,0
≥ 80	63	9,96 (3-20)	4,2	5,0	7,0	10,0	12,0	15,6	17,0
<b>Hombres</b>									
20-29	31	38,5 (17-60)	17,6	23,2	32,0	39,0	42,0	49,2	54,0
30-39	85	37,6 (15-60)	21,6	25,1	31,7	39,5	45,0	50,9	53,4
40-49	144	37,0 (17-58)	23,3	26,0	30,2	37,0	43,0	49,0	53,7
50-59	157	33,2 (10-55)	18,7	22,0	28,0	34,0	40,0	43,6	46,6
60-69	251	28,9 (9-87)	17,0	20,0	24,5	29,0	33,0	37,8	41,0
70-79	338	22,4 (3-53)	12,0	14,0	18,0	22,0	27,0	32,0	34,3
≥ 80	107	18,7 (6-62)	9,0	11,8	14,0	18,0	22,0	25,0	31,2

**Tabla 3: Fuerza de la mano izquierda en Kg (percentiles).**

Edad	n.º casos	media	p 5	p 10	p 25	p 50	p 75	p 90	p 95
<b>Mujeres</b>									
20-29	67	19,5 (7-29)	12,0	13,0	16,0	19,0	24,0	26,0	27,6
30-39	138	19,5 (5-47)	10,0	13,0	16,0	20,0	23,0	25,0	27,1
40-49	241	18,7 (5-33)	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0	24,0	26,0
50-59	212	17,3 (4-30)	9,0	11,0	14,0	17,0	21,0	23,0	25,0
60-69	229	14,9 (1-26)	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	22,0
70-79	206	12,0 (1-26)	4,2	6,0	9,0	13,0	15,0	18,0	20,0
≥ 80	63	9,6 (2-20)	4,0	5,0	7,0	9,0	12,0	14,0	16,4
<b>Hombres</b>									
20-29	31	34,7 (15-54)	17,7	21,0	28,7	35,0	41,2	44,8	49,0
30-39	85	35,7 (10-58)	20,3	25,0	29,0	35,0	42,0	47,4	52,1
40-49	144	34,7 (14-55)	22,2	25,4	29,0	35,0	40,0	46,0	48,0
50-59	157	31,5 (6-50)	16,8	21,6	26,0	31,0	38,0	41,4	43,0
60-69	251	26,9 (12-48)	15,0	17,0	22,6	27,0	31,0	35,1	38,0
70-79	338	20,8 (3-41)	10,0	13,0	16,0	20,0	25,0	29,0	31,0
≥ 80	107	16,8 (4-52)	7,0	8,5	12,0	17,0	20,0	24,0	27,0

## 8.2 CELDA DE CARGA

TAL220

PARALLEL BEAM LOAD CELL

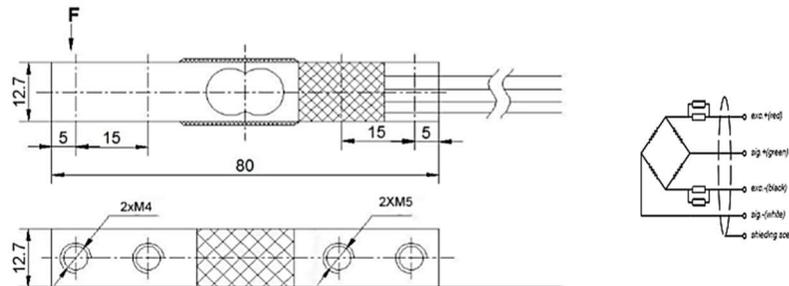


**Features:**

- ◆ Capacity : 3-200kg
- ◆ Material: aluminum-alloy or alloy steel
- ◆ Type: Parallel beam type
- ◆ Defend grade: IP65
- ◆ Application : Palm scale, kitchen scale, electronic balance, fishing scale, electronic platform scale and other electronic weighing devices.

WWW.HTC-SENSOR.COM

Electrical connection and Dimensions:(dimension unit: mm)



Specifications:		
capacity	kg	3,5,10,20,25,30,50(aluminum); 80,100,120,200(alloy steel)
safe overload	%FS	120
ultimate overload	%FS	150
rated output	mV/V	1.0 ± 0.15
excitation voltage	Vdc	5 ~ 10
combined error	%FS	± 0.05
zero unbalance	%FS	± 0.1
non-linearity	%FS	± 0.05
hysteresis	%FS	± 0.05
repeatability	%FS	± 0.03
creep	%FS/3min	± 0.05
input resistance	Ω	1000 ± 15
output resistance	Ω	1000 ± 10
insulation resistance	M Ω	≥ 2000
operating temperature range	°C	-10 ~ +55
compensated temperature range	°C	-10 ~ +40
temperature coefficient of SPAN	%FS/10°C	± 0.05
temperature coefficient of ZERO	%FS/10°C	± 0.05
Electrical connection	cable	4 color wire (standard)or 4 shielded PVC cable, Ø0.8 × 220 mm

※Ordering code: model-capacity- rated output-accuracy-defend grade- the length of cable

Figura 18: Hoja de datos de la celda.

### 8.3 CIRCUITO ELECTRICO Y MICROCONTROLADOR ARDUINO NANO

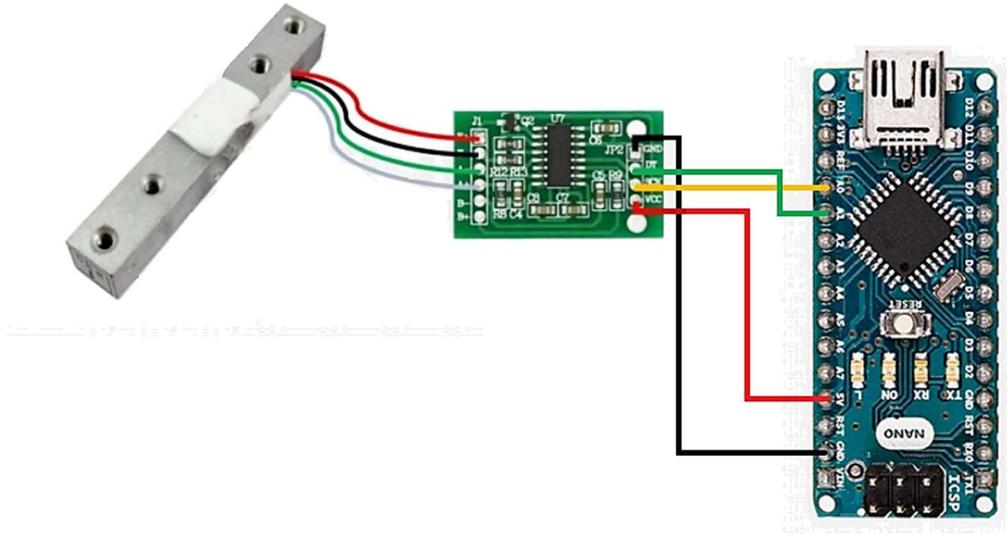


Figura 19: Circuito eléctrico celda de carga.

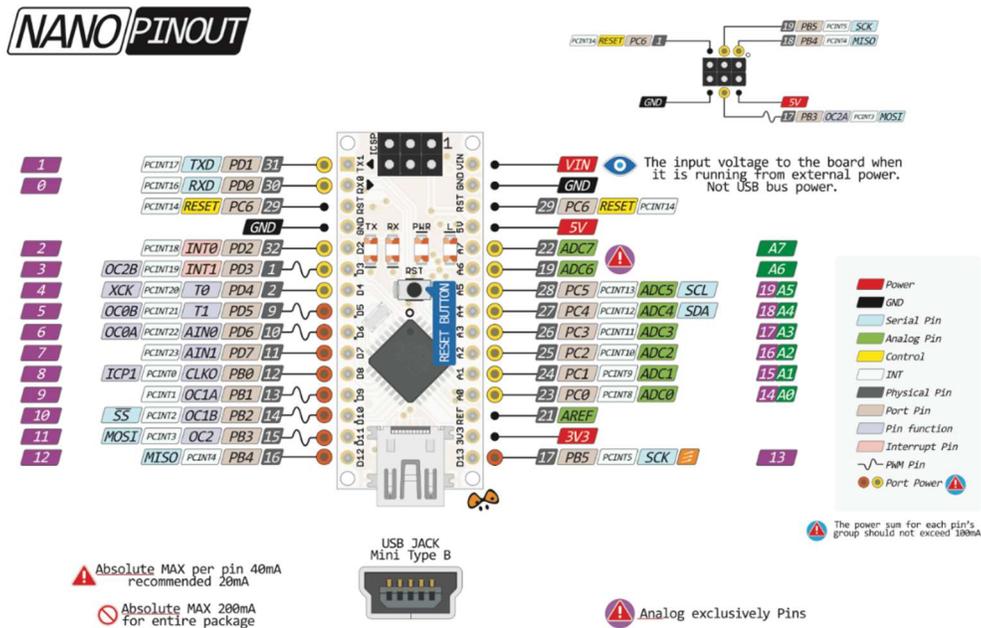


Figura 20: Arduino Nano y sus pines.

## 8.4 CALIBRACION DE LA CELDA

### 8.4.1 CALCULO DEL ERROR

**Tabla 4: Errores celda de carga proporcionados por el catalogo**

Error de cero*	10 g
Error combinado	5 g
No linealidad	5 g
Histéresis	5 g
Repetibilidad	3 g
<b>Error total</b>	<b>18 g</b>

\*El error de cero no se tiene en cuenta en el total, ya que es la variación alrededor del cero con la celda descargada.

**Tabla 5: Tara y su error**

Precisión de la balanza usada para la tara	0,05 g
Tara	34,00 g

**Tabla 6: Masas calibradas y su error**

Masas	error
1454 g	1 g
1452 g	1 g
1450 g	1 g
1445 g	1 g
1450 g	1 g
<b>Total</b>	
<b>7251 g</b>	<b>5 g</b>

Las masas y su error ya eran conocidos, para la toma de datos, se colgaron todas las masas con el alambre y el dispositivo auxiliar ya pesado.

**Tabla 7: Datos proporcionados por la celda a través del amplificador (n=10) \*  
Tratamiento estadístico de los datos de salida, Carga aplicada= 7251 g**

Medida 1	16158
Medida 2	16159
Medida 3	16157
Medida 4	16157
Medida 5	16157
Medida 6	16158
Promedio	<b>16157,7</b>
Varianza	0,67
desviación estándar	0,82
desviación del promedio	0,3

\*n es la cantidad de datos tomados por la placa para cada valor arrojado.

**Tabla 8: Error de las mediciones**

Error relativo de las masas [%]	0,07
Error relativo de la salida de la celda [%]	2E-03

**Tabla 9: factor y su error**

Factor [1/Kg]	Error [1/Kg]
2228	2

**Tabla 10: error absoluto de la fuerza**

Error en la fuerza valor nominal (10 kg)	7 g
--	-----

#### 8.4.2 CÓDIGO UTILIZADO PARA LA CALIBRACIÓN DE LA CELDA:

```
#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: ");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("No ponga ningún 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: ");
  Serial.println(balanza.get_value (10),0);
  delay (100);
}
```

### 8.4.3 SOFTWARE DEL DISPOSITIVO:

```
//LCD_I2C
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//Crear el objeto lcd dirección 0x27 y 16 columnas x 2 filas
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // scl=A5=azul; sda=A4=verde

//Sensor
#include "HX711.h"

#define DOUT A1 //blanco
#define CLK A0 //naranja

HX711 balanza(DOUT, CLK);

word d1=1500;//Delay del mensaje de calibración
float F;//fuerza
float Fmx = 0;//fuerza max soportada por la celda
byte n = 1; // leer como establecer locales
volatile byte n1= 0; //uso volatile cuando la variable puede cambiar fuera del control de
donde es usada
volatile byte n2= 0;
word T1 = 0;
word T = 0;
const word Tf = 250; // milisegundos del filtro
const word Tm = 750; //tiempo pulsado menú
const word Tmx= 5000; //tiempo máximo para cambio de menú
const int Pul = 2; // pin d2 (no cambia)

void setup() {
  // Inicializar el LCD
  lcd.init();

  //Encender la luz de fondo.
  lcd.backlight();

  balanza.set_scale(222440); // Establecemos la escala
```

```
Serial.begin(9600);

pinMode(Pul, INPUT);

attachInterrupt(0,MENU, RISING);// pin d2

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Apoye el");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("dinamómetro");
delay(d1);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("sobre una");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("superficie fija");
delay(1.5*d1);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("...");
delay(d1);

lcd.clear();
lcd.print ("calibrando...");
delay(d1);

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

lcd.clear();
lcd.print("Listo para medir");
delay(2000);
lcd.clear();
}
```

```
void loop() {  
  
    F=balanza.get_units(7);  
  
    Fmx=max(Fmx,F);  
  
    if (digitalRead(Pul)==0 && n1==1){ // entra al if solo si paso por la interrupción (n1=1)  
y si se suelta el pulsador  
        T=millis()-T1;  
        n1=0;  
        Fmx=0;  
        n2=1;  
        if (T>Tm && T<Tmx){  
            n++;  
            if (n==4){  
                n=1;  
            }  
        }  
    }  
  
    if (n==1){ //fuerza "instantánea"  
  
        if(F<0){  
            lcd.setCursor(5,0);  
            lcd.print("Fuerza");  
            lcd.setCursor(4,1);  
            lcd.print("00.00");  
            lcd.setCursor(10,1);  
            lcd.print("Kg");  
        }  
        else if(F>=0 && F<10){  
            lcd.setCursor(5,0);  
            lcd.print("Fuerza");  
            lcd.setCursor(4,1);  
            lcd.print("0");  
            lcd.setCursor(5,1);  
            lcd.print(F,2);  
            lcd.setCursor(10,1);  
            lcd.print("Kg");  
        }  
    }  
}
```

```

}
else if(F<14.5) {
  lcd.setCursor(5,0);
  lcd.print("Fuerza");
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print(F,2);
}
else{
  lcd.clear();
  lcd.print("Ayy!!...");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Mas suavee!!");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}
}
else if (n==2){ //Menú Fuerza máxima

  if (n2==1){
    lcd.clear();
    n2=0;
  }

  if(F<0){
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Fuerza");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("F Max");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("00.00");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print("Kg");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(Fmx,2);
    lcd.setCursor(14,1);
    lcd.print("Kg");
  }
  else if(F>=0 && F<10){
    lcd.setCursor(1,0);

```

```

    lcd.print("Fuerza");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("F Max");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("0");
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print(F,2);
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print("Kg");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(Fmx,2);
    lcd.setCursor(14,1);
    lcd.print("Kg");
}
else if(F<14.5) {
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Fuerza");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("F Max");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(F,2);
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(Fmx,2);
    lcd.setCursor(14,1);
    lcd.print("Kg");
}
else{
    lcd.clear();
    lcd.print("AYY!!...");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Mas suavee!!");
    delay(2000);
    lcd.clear();
}
}
else {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Próximamente...");
    lcd.setCursor(0,1);

```

```
lcd.print("Desv estándar...");
if (digitalRead (Pul)==1){
  delay(400);
  lcd.clear();
}
}
}
void MENU() {
if (millis() > T + Tf) { //filtro
  n1 = 1; // n1 es 1 cuando pasa por la interrupción
  T1 = millis(); // defino el tiempo en el que entro en la interrupción
}
}
```

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. A. Quinayás Burgos , «Diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres,» *Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones*, Enero 2010.
- [2] M. L. M. Lázaro, «Nuevas tablas de fuerza de la mano para población adulta de Teruel,» *Nutricion Hospitalaria*, 2008.