



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“PLATAFORMA DE FUERZA PARA EL ANÁLISIS DE LA PISADA EN LA**  
**MARCHA HUMANA”**

**AUTORA:**

**KATYA DANIELA MALDONADO DE LA TORRE**

**DIRECTOR:**

**MSc. DANIEL ÁLVAREZ**

**IBARRA - ECUADOR**

**2019**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

#### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

##### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:


<b>DATOS DEL CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	100384906-2		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	KATYA DANIELA MALDONADO DE LA TORRE		
<b>DIRECCIÓN</b>	SAN ROQUE – ANTONIO ANTE		
<b>EMAIL</b>	kdmaldonado@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0961220164
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO</b>	PLATAFORMA DE FUERZA PARA EL ANÁLISIS DE LA PISADA EN LA MARCHA HUMANA		
<b>AUTOR</b>	KATYA DANIELA MALDONADO DE LA TORRE		
<b>FECHA</b>	14 – 11 – 2019		
<b>PROGRAMA</b>	PREGRADO		
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA		
<b>DIRECTOR</b>	MSc. DANIEL ÁLVAREZ		

## 2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de noviembre de 2019

### LA AUTORA:

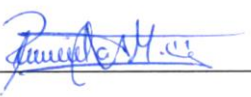
(F)   
\_\_\_\_\_  
Katya Daniela Maldonado De La Torre  
C.I.: 100384906-2



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Katya Daniela Maldonado De La Torre con cédula de identidad Nro. 100384906-2, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **“PLATAFORMA DE FUERZA PARA EL ANÁLISIS DE LA PISADA EN LA MARCHA HUMANA”** que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera en Mecatrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi calidad de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 14 de noviembre del 2019

(F)   
Katya Daniela Maldonado De La Torre  
C.I.: 100384906-2

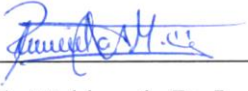


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DECLARACIÓN**

Yo, Katya Daniela Maldonado De La Torre con cédula de identidad Nro. 100384906-2, declaro bajo juramento que el trabajo de grado con el tema: **“PLATAFORMA DE FUERZA PARA EL ANÁLISIS DE LA PISADA EN LA MARCHA HUMANA”** corresponde a mi autoría; y que éste no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Ibarra, 14 de noviembre del 2019

(F)   
Katya Daniela Maldonado De La Torre  
C.I.: 100384906-2



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN DEL ASESOR**

En mi calidad de director certifico que el trabajo de grado titulado **“PLATAFORMA DE FUERZA PARA EL ANÁLISIS DE LA PISADA EN LA MARCHA HUMANA”**, fue desarrollado por la egresada Katya Daniela Maldonado De La Torre con cédula Nro. 100384906-2, bajo mi supervisión, lo cual certifico en honor a la verdad.

MSc. Daniel Álvarez

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **DEDICATORIA**

*Dedico mi trabajo a mis padres Marco Maldonado y Celia De La Torre y hermanos, quienes fueron mi apoyo incondicional en todo momento.*

*A mis amigos con quienes compartí grandes experiencias.*

*Daniela*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres y hermanos quienes con su arduo trabajo permitieron que cumpla este sueño.*

*A Luis Muenala por brindarme su amor y convencerme todos los días de que lo lograría.*

*A mis amigos Katy, Angie, Katy G., Mallus, Cris, Wilo, Jeff, ..., quienes de muchas maneras contribuyeron en la culminación de mi carrera; gracias por su sincera amistad.*

*Al personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, en especial al Ing. Daniel Álvarez por haberme compartido sus conocimientos y guiarme a la culminación de este proyecto.*

*Esto es gracias a ustedes...*

*Daniela*



# **PLATAFORMA DE FUERZA PARA EL ANÁLISIS DE LA PISADA EN LA MARCHA HUMANA**

Autora: Katya Daniela Maldonado De La Torre.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de grado presenta el diseño e implementación de una plataforma de fuerza no comercial para el análisis de la pisada en la marcha humana, con una fracción del costo de una plataforma comercial.

La metodología inicia con la revisión bibliográfica sobre dispositivos similares desarrollados en varios centros de investigación, así como la investigación de las celdas de carga existentes en el mercado local, materiales para la estructura de la plataforma de fuerza y los sistemas de acondicionamiento de señales. Mediante tablas de selección se comparan diferentes criterios como características técnicas o mecánicas, costo, disponibilidad, etc., de los distintos materiales y se eligen los que más características cumplan.

Para la construcción del dispositivo se utilizaron cuatro celdas de carga ubicadas en medio de dos placas rectangulares rígidas de 25 x 40cm, una en cada esquina. Se obtuvieron las curvas de calibración de cada celda de carga y los valores de histéresis y linealidad los cuales certifican el buen desempeño de las celdas de carga.

Se realizan las pruebas de funcionamiento con voluntarios que no presentan antecedentes de lesiones o algún traumatismo que pueda alterar su caminata normal. Las personas caminaron descalzas sin carga sobre ellos y se les realizaron dos pruebas, la primera: caminando a ritmo lento (caminata lenta) y la segunda caminando a mayor velocidad (caminata rápida). Los resultados fueron presentados en una interfaz desarrollada en MATLAB para su posterior análisis.

Palabras Clave: Plataforma de Fuerza, Celdas de carga, MATLAB.

# **FORCE PLATE FOR TREAD ANALYSIS IN THE HUMAN GAIT**

Author: Katya Daniela Maldonado De La Torre

## **ABSTRACT**

This degree work presents the design and implementation of a non-commercial and low-cost force plate for tread analysis in the human gait.

The methodology used in this project begins with the review of bibliographic references about similar devices developed in different research centers. The research is also carried out on the different types of load cells, materials for the structure of the force plate and the signal conditioning systems existing in the local market.

Using assessments tables by which different criteria such as: technical or mechanical characteristics, cost, availability, etc., of the different materials and devices are evaluated, choosing the ones that meet most of the necessary characteristics.

For the construction of the device four load cells are used, each of them located in the middle of two rigid rectangular plates with dimensions of 25 x 40 cms, one in each corner. The obtained calibration curves of each load cell and the hysteresis and linearity values were within allowable values.

The first functional tests were carried out with volunteers who do not have a history of injuries or any trauma that could alter their normal walk. People walked barefoot without any burden and had two tests, the first: walking at a slow pace (slow walk) and the second walking a faster speed (fast walk). The results were presented in an interface developed in MATLAB for subsequent analysis.

Keywords: Force Plate, Load Cells, Arduino, MATLAB.

## Tabla de Contenido

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD ...	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3. CONSTANCIAS.....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	IV
DECLARACIÓN.....	V
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR .....	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
CAPÍTULO I .....	17
INTRODUCCIÓN .....	17
1.1. Problema .....	18
1.2. Objetivos .....	19
1.2.1. Objetivo General.....	19
1.2.2. Objetivos Específicos .....	19
1.3. Antecedentes .....	19
1.4. Justificación.....	21
1.5. Alcance.....	22
CAPÍTULO II.....	23
Marco Teórico.....	23
2. Definición de una Plataforma de Fuerza (FP) .....	23
2.1. Terminología.....	23
2.1.1. Centro de presión (COP).....	23
2.1.2. Error COP .....	24
2.1.3. Origen de la plataforma de fuerza.....	24
2.1.4. $F_x$ , $F_y$ , $F_z$ , $M_x$ , $M_y$ y $M_z$ .....	24
2.1.5. Momento.....	25
2.1.6. Fuerza uniaxial.....	25
2.1.7. Superficie de trabajo .....	26
2.2. Modelos Experimentales .....	26
2.2.1. Placa de fuerza para el análisis biomecánico de pie y caminando .....	26
2.2.2. Plataforma de fuerza de bajo costo para el análisis de parámetros biomecánicos .....	28

2.2.3.	Plataforma dinamométrica para el análisis del centro de presión en la marcha humana.	30
2.3.	Parámetros cinéticos obtenidos en el estudio de la marcha humana .....	31
2.3.1.	Fuerza de reacción vertical (eje z), fuerza de reacción anteroposterior y fuerza de reacción medio-lateral. ....	31
2.3.2.	Centro de presión .....	32
2.3.3.	Momento .....	32
2.4.	Análisis de la marcha normal .....	33
2.5.	Celdas de carga utilizados en las plataformas de fuerza .....	33
2.5.1.	Celdas de carga basadas en galgas extensiométricas .....	33
2.5.2.	Celdas de carga de compresión .....	34
2.5.3.	Celdas de carga de tensión y compresión .....	34
2.5.4.	Celdas de carga con viga en forma de S .....	35
2.5.5.	Celdas de carga de flexión viga .....	35
2.5.6.	Celdas de carga de un solo punto:.....	36
2.5.7.	Propiedades de las celdas de carga .....	36
2.5.7.1.	Capacidad.....	37
2.5.7.2.	Arrastre (creep).....	37
2.5.7.3.	Escala real (Full scale, FS).....	37
2.5.7.4.	Histéresis.....	37
2.5.7.5.	Tensión de excitación .....	38
2.5.7.6.	Sobre carga máxima.....	38
2.5.7.7.	No linealidad.....	38
2.5.7.8.	Temperatura de funcionamiento .....	38
2.5.7.9.	Resolución .....	38
2.5.7.10.	Temperatura compensada.....	39
2.6.	Hardware y software para el procesamiento de la señal .....	39
2.6.1.	Transmisor HX711 .....	39
2.6.1.1.	Características .....	40
2.6.2.	Arduino .....	40
2.6.2.1.	Arduino Uno .....	40
2.6.2.1.1.	Características técnicas:.....	41
2.6.3.	Realterm.....	42
2.6.3.1.	Características.....	42
2.6.4.	MATLAB.....	43
2.6.4.1.	Construcción de interfaces graficas de usuario (GUI) en Matlab .....	43
2.7.	Base de datos.....	43
2.7.1.	MySQL .....	44

<i>CAPÍTULO III</i> .....	45
<i>Metodología</i> .....	45
3. Descripción.....	45
3.1. Parámetros de diseño.....	45
3.1.1. Capacidad de carga .....	45
3.1.2. Funcionalidad.....	46
3.1.3. Accesibilidad .....	46
3.1.4. Dimensión.....	47
3.2. Diseño mecánico .....	47
3.2.1. Análisis y selección del material para la placa .....	47
3.2.1.1. Análisis de criterios para la placa .....	48
3.2.2. Diseño de la placa.....	48
3.2.2.1. Forma de la plataforma de fuerza .....	49
3.2.2.2. Dimensiones de las placas de la plataforma de fuerza.....	49
3.2.2.3. Diagrama de cuerpo libre.....	50
3.2.2.4. Simulación .....	54
3.2.2.5. Orientación de las celdas de carga.....	56
3.2.2.6. Base de la plataforma de fuerza .....	56
3.3. Diseño electrónico.....	57
3.3.1. Análisis de criterios para la selección de las celdas de carga .....	58
3.3.2. Adquisición de datos.....	62
3.3.2.1. Acondicionamiento de la señal .....	62
3.3.3. Arduino como tarjeta de adquisición de datos .....	63
3.3.4. Calibración de las celdas de carga .....	64
3.3.4.1. Factor de escala.....	69
3.3.5. Procesamiento de señales.....	70
3.3.5.1. Vinculación entre Arduino y Realterm .....	71
3.3.5.2. Procesamiento de señales en Matlab.....	72
3.3.6. Interfaz.....	73
3.3.6.1. Pantalla principal: evaluación de la pisada humana.....	74
3.3.6.2. Evaluador en tiempo real .....	75
3.3.6.3. Base de datos .....	75
3.3.7. Base de datos MySQL .....	76
3.3.7.1. Conexión de MySQL con Matlab.....	77
<i>CAPÍTULO IV</i> .....	78
<i>Pruebas y resultados</i> .....	78
4.1. Protocolo de pruebas .....	78

4.1.1.	Pista o pasillo .....	78
4.1.2.	Plataforma de fuerza .....	79
4.1.3.	Proceso de pruebas.....	79
4.1.4.	Presentación de resultados .....	80
4.2.	Materiales y costos de la implementación del proyecto.....	86
<b>CAPÍTULO V</b> .....		<b>87</b>
5.1.	Conclusiones .....	87
5.2.	Recomendaciones.....	88
<b>Bibliografía</b> .....		<b>89</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>91</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sistema de coordenadas ortogonales de la plataforma de fuerza .....	25
Figura 2.	Forma de onda de la fuerza de reacción del suelo en Newtons. ....	26
Figura 3.	Prototipo de la plataforma de fuerza, a) modelo esquemático y b) modelo real.27	
Figura 4.	Forma de onda resultante durante el proceso de estabilización con ambos pies 27	
Figura 5.	Forma de onda resultante durante a) caminata lenta y b) caminata rápida.....	28
Figura 6.	Prototipo de la plataforma de fuerza con 4 celdas de carga, a) modelo esquemático y b) modelo real. ....	28
Figura 7.	a) Curvas de calibración vertical y b) Curvas de calibración horizontal. ....	29
Figura 8.	Diagrama de bloques para la adquisición y procesamiento de las señales. ....	30
Figura 9.	a) Formas de ondas de las fuerzas de reacción y b) variación de centro de presión.....	31
Figura 10.	Plataforma de fuerza. ....	32
Figura 11.	Celda de carga de compresión. ....	34
Figura 12.	Celda de carga de tensión y compresión.....	35
Figura 13.	Celda de carga con viga en forma de S.....	35
Figura 14.	Celda de carga de flexión de viga. ....	36
Figura 15.	Celda de carga de un solo punto. ....	36
Figura 16.	Diagrama esquemático del módulo HX711.....	39
Figura 17.	Componentes del Arduino Uno. ....	41
Figura 18.	Pantalla principal de Realterm. ....	42
Figura 19.	Fuerza vertical y fuerzas anteroposteriores en las pruebas de carrera.....	45
Figura 20.	Medidas antropométricas del pie de la población latinoamericana. ....	49
Figura 21.	Fuerza vertical ejercida y longitud de la plataforma de fuerza.....	50
Figura 22.	Diagrama de cuerpo libre (DCL). ....	50
Figura 23.	Reacciones en los apoyos laterales. ....	52
Figura 24.	Diagrama de cargas y momento flector. ....	52

Figura 25. Análisis estático. Factor de seguridad .....	54
Figura 26. Análisis estático. Deformación máxima. ....	55
Figura 27. Modelo 3D de la placa superior de la plataforma de fuerza. ....	55
Figura 28. Matriz para la selección de la orientación de los sensores. ....	56
Figura 29. Placa inferior: a) Vista superior, b) vista inferior .....	57
Figura 30. Plataforma de fuerza: a) Modelo 3D del ensamble final., b) Modelo final fabricado. ....	57
Figura 31. Estructura de la celda de carga XIN NUO QI. ....	60
Figura 32. Ensamble de la estructura con las celdas de carga. ....	62
Figura 33. Modelo 3D del posicionamiento de las celdas de carga. ....	62
Figura 34. Diagrama de bloques del procesamiento de la señal. ....	63
Figura 35. Diagrama de flujo del funcionamiento del programa. ....	65
Figura 36. Diagrama de flujo para la calibración de celdas de carga.....	66
Figura 37. Curva de calibración ideal de la celda de carga Xin Nuo Qi.....	68
Figura 38. Curva de calibración real de las celdas de carga Xin Nuo Qi, linealidad, ecuación de la recta .....	68
Figura 39. Diagrama de flujo del procesamiento de datos.....	70
Figura 40. Configuración de la velocidad y puerto COM de Arduino.....	71
Figura 41. Fuerza de reacción. ....	72
Figura 42. Variación del centro de presión. ....	73
Figura 43. Pantalla del menú principal de la interfaz.....	74
Figura 44. Pantalla del análisis en tiempo real.....	75
Figura 45. Pantalla del análisis de la marcha humana. ....	76
Figura 46. Base de datos en MySQL .....	77
Figura 47. Enlace base de datos MySQL y Matlab.....	77
Figura 48. Ubicación del pie sobre el centro de la plataforma de fuerza durante una marcha normal. ....	80
Figura 49. Fuerza de reacción y variación del centro de presión en marcha normal y rápida.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del aluminio, acrílico y acero.....	47
Tabla 2. Análisis de criterios para la placa. ....	48
Tabla 3. Catálogo de planchas de aluminio. ....	54
Tabla 4. Tabla comparativa de las características técnicas de los distintos tipos de celdas de carga. ....	59
Tabla 5. Análisis de criterios para la selección de la celda de carga.....	60
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la celda de carga XIN NUO QI (CN1501541594). ....	61
Tabla 7. Valores de la fuerza de reacción de la pisada en marcha lenta o normal.....	85
Tabla 8. Valores de la fuerza de reacción de la pisada en marcha rápida. ....	85
Tabla 9. Tabla de costos para la implementación de la plataforma de fuerza .....	86

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para calcular la fuerza de reacción vertical.....	31
Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del centro de presión, a) con respecto al eje x y b) con respecto al eje y.....	32
Ecuación 3. Fórmula para calcular el momento de la placa sobre el eje x.....	33
Ecuación 4. Fórmula para calcular el momento de la placa sobre el eje y.....	33
Ecuación 5. Segunda Ley de Newton. ....	51
Ecuación 6. Ecuaciones de equilibrio. ....	51
Ecuación 7. Fórmula para calcular el momento máximo.....	53
Ecuación 8. Fórmula para calcular el módulo de sección transversal del material de la placa. ....	53
Ecuación 9. Momento máximo relacionando el valor del esfuerzo a la fluencia del material y el factor de seguridad. ....	53
Ecuación 10. Fórmula para calcular la salida máxima en mV de la celda de carga. ....	67
Ecuación 11. Fórmula para determinar el factor de escala. ....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Código de Arduino para la adquisición de datos.....	91
Anexo 2. Código de Arduino para la evaluación en tiempo real. ....	92
Anexo 3. Código de Matlab (Interfaz) .....	94
Anexo 4. Código Base de Datos (Matlab) .....	100
Anexo 5. Código para la evaluación en tiempo real (MATLAB).....	104
Anexo 6. Datasheet del transmisor HX711.....	107
Anexo 7. Diagrama de conexión del sistema electrónico. ....	113
Anexo 8. Diagrama realista de la conexión del sistema electrónico.....	114
Anexo 9 Planos. ....	115
Anexo 10. Manual de usuario .....	119



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la marcha ha avanzado considerablemente en los últimos años, debido al desarrollo de nuevos métodos de análisis como son las plataformas de fuerza (FP), los cuales permiten una mejor y simplificada forma de evaluar los parámetros cinéticos que pueden alterar la marcha humana normal [1]. Este dispositivo mide la fuerza de reacción del suelo (GRF) y el desplazamiento del centro de presión (COP), ambos parámetros biomecánicos involucrados en el movimiento humano [2]. Además, realiza un control y seguimiento para observar y valorar la efectividad del tratamiento en pacientes que padecen diversas patologías y lesiones traumáticas.

Las plataformas de fuerza (FP) normalmente son costosas, a veces difíciles de operar y su falta de portabilidad limita su uso fuera de los laboratorios. Los precios de las plataformas comerciales varían entre 10.000 a 20.000 dólares.

El presente estudio propone un nuevo diseño para plataformas de fuerza no comerciales de bajo costo para fines de investigación científica, el cual consiste en dos placas rígidas de metal colocadas una sobre otra, con 4 sensores de fuerza entre ellos ubicados en cada esquina, los cuales proporcionan una salida eléctrica proporcional a la fuerza sobre la placa. Su método de calibración y validación serán detalladas en los siguientes capítulos.

## 1.1. Problema

La pisada o ciclo de la marcha es un movimiento armónico que realiza el cuerpo humano para desplazarse de un lugar a otro con el menor coste energético posible, sin embargo, hay veces en las que los movimientos que se realizan para caminar dejan de ser armónicos, provocando un mayor coste energético y desequilibrios que pueden llevar a una mayor posibilidad de lesiones que no siempre se localizan en el pie, sino que pueden localizarse a lo largo de la cadena cinemática del movimiento humano [3].

Éstas lesiones se pueden traducir en posturas alteradas, rodillas en valgo o en varo, disimetrías de miembros inferiores, desajustes en el equilibrio, afectando decisivamente en la estática de la cintura pélvica, contribuyendo a la alteración de la marcha humana [3], [4].

Los precios comerciales de estos dispositivos son de alrededor de 10000 a 20000 dólares, por lo que en el presente trabajo se propone un nuevo diseño para plataformas de fuerza no comerciales de bajo costo para fines de investigación científica, que permitirá evaluar y analizar las fuerzas de reacción y momentos ejercidos por el sujeto sobre el suelo durante la marcha [5].

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Implementar una plataforma de fuerza para el análisis de la pisada en la marcha humana.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar el marco de referencia, métodos y procedimientos seguidos en investigaciones similares.
- Diseñar la plataforma de fuerza y el sistema de adquisición de datos.
- Construir la plataforma de fuerza.
- Validar experimentalmente el funcionamiento de la plataforma de fuerza.

## **1.3. Antecedentes**

La posición bípeda supone un importante reto desde el punto de vista biomecánico, debido fundamentalmente al compromiso entre los factores como la estabilidad y la dinámica de la locomoción humana [6].

El ciclo de la marcha se ha dividido en dos fases: Fase de soporte o apoyo y fase de balanceo o de oscilación. Este proceso depende de factores como son los extrínsecos p.ej.: terreno, calzado, vestido, transporte de carga y los intrínsecos p.ej.: sexo, peso, altura, edad, físicos p.ej.: peso, talla, constitución física, psicológicos p.ej.: personalidad, emociones, fisiológicos p.ej.: características antropométricas y patológicos p.ej.: traumatismos, patología neurológica,

musculoesquelética, trastornos psiquiátricos, dichos parámetros definen el patrón de marcha [7], [8].

Sin embargo, utilizando información cinemática y cinética se obtiene una descripción más precisa del patrón de marcha del individuo. Con el análisis cinemático es posible registrar las variaciones angulares del cuerpo, mientras que con el análisis cinético se obtienen las fuerzas de reacción del suelo, variaciones del centro de presión y momentos [9].

Existen modelos experimentales realizados en diferentes centros de investigación que han arrojado resultados óptimos tales como los obtenidos en el artículo titulado “A Development of Force Plate for Biomechanics Analysis of Standing and Walking” en el que se desarrolla un prototipo con un presupuesto menor a 100 dólares utilizando una placa de goma para la estructura, un sensor de fuerza ubicado en el centro de la placa el cual se conecta a Arduino, obteniendo un prototipo ligero y portátil con resultados muy similares a las plataformas comerciales [10].

El artículo titulado “Development of a low cost force platform for biomechanical parameters analysis”, presenta la construcción de una plataforma de fuerza de aluminio de bajo costo y métodos de calibración de las celdas de carga. Concluyen que esta versión puede utilizarse para medir el control postural y el equilibrio en experimentos clínicos o deportivos, ya que posee una conectividad adecuada y eficiente para la medición de las variables propuestas en este estudio; su histéresis y linealidad son adecuadas en comparación a las obtenidas por otros autores [2].

El trabajo titulado “Design of a Dynamometric Platform for analysis of the center of pressure in the human gait”, se obtuvieron resultados óptimos en la medición de fuerzas de reacción y el desplazamiento de centro de presión, utilizando vidrio templado como estructura para la plataforma y celdas de carga conectadas a la tarjeta Arduino [11].

Actualmente en el mercado en línea es fácil encontrar proveedores que ofrecen distintos tipos de plataformas de fuerza especializados en aplicaciones específicas como para el análisis de la postura, de la estabilidad, de saltos, caminata, carrera, etc., que van dirigidos a diferentes tipos de pacientes.

#### **1.4. Justificación**

El pie es la única estructura del cuerpo humano que está en contacto directo con el suelo, de él depende el equilibrio, por eso es tan importante que no existan patologías en los pies, la obtención de los parámetros biomecánicos de la pisada humana por medio de la plataforma de fuerza tiene gran importancia en campos tan diversos como el médico, el deportivo y el ocupacional.

En el área médica, el análisis de la pisada y postura humana permite el diagnóstico de enfermedades del pie, posibles deformaciones, tratamientos protésicos u ortésicos, evaluaciones funcionales pre y postquirúrgica, además permite el análisis de movimientos deportivos para la prevención de lesiones y para la mejora del rendimiento deportivo, así como también para el diseño y valoración de calzados y plantillas personalizadas [12].

La plataforma de fuerza, además, servirá como una herramienta para futuras investigaciones científicas ya que forma parte esencial en el estudio biomecánico de la marcha humana.

## **1.5. Alcance**

En el presente proyecto se desarrollará una plataforma de fuerza para el análisis de la marcha mediante la toma de medidas de fuerza y momentos ejercidas durante la pisada. La plataforma de fuerza incluirá: celdas de carga, una tarjeta de adquisición de datos para el procesamiento de la señal eléctrica emitida por el sensor y una interfaz para la presentación de los resultados. Además, se diseñará una base de datos para el registro de los datos obtenidos. Para la validación de la plataforma de fuerza se realizará el análisis comparativo entre los datos obtenidos en este proyecto con los resultados de la bibliografía de referencia.

## **CAPÍTULO II**

### **Marco Teórico**

#### **2. Definición de una Plataforma de Fuerza (FP)**

Es un instrumento dinamométrico para la evaluación biomecánica de la marcha, evaluaciones de equilibrio y mediciones de cinética de saltos [2]. Está basado fundamentalmente en la tercera ley de Newton: principio de acción – reacción, que menciona que es posible obtener la fuerza externa ejercida sobre una superficie conociendo la fuerza que origina, de la misma magnitud y dirección, pero de sentido contrario [13].

Todo tipo de fuerza ejercida sobre la plataforma de fuerza generará una señal eléctrica proporcional a la fuerza aplicada que se proyectará, dependiendo de las características y tipo de plataforma en los 3 ejes del espacio ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

#### **2.1. Terminología**

Es importante conocer los principales conceptos de términos relacionados al tema del análisis biomecánico usando una plataforma de fuerza, los cuales se presentan a continuación:

##### **2.1.1. Centro de presión (COP)**

Es el punto espacial en un sistema en el que una única fuerza equivalente equilibra la suma de las fuerzas y los momentos distribuidos que actúan sobre el sistema [14]. Estas fuerzas están controladas por los músculos del tobillo. De este modo el centro de presiones es una medida del control neuromuscular sobre los desbalances del centro de gravedad del cuerpo [11].

### **2.1.2. Error COP**

Diferencia entre la posición *COP* *x-y* reportada por la plataforma de fuerza (o calculada a partir de las salidas de la plataforma de fuerza) y la ubicación real de *x-y* de la fuerza de verificación  $F_z$  aplicada [14].

### **2.1.3. Origen de la plataforma de fuerza**

Es la posición en la plataforma de fuerza, especificada por el fabricante, donde  $x, y, z = 0$ . El origen sirve como una posición de referencia para las ubicaciones  $COP_x$  y  $COP_y$ , ubicaciones para las fuerzas uniaxiales aplicadas durante la verificación y para calcular los momentos de salida con respecto a las fuerzas de entrada. El origen puede estar en una posición *x-y-z* diferente del centro geométrico de la plataforma de fuerza. El origen de la plataforma de fuerza a veces se denomina origen electromecánico [14].

### **2.1.4. $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y$ y $M_z$**

$F_x$  y  $F_y$  son las fuerzas ortogonales a  $F_z$ , asignadas según la Figura 1 que sigue la convención del sistema de coordenadas de acuerdo con la regla de la mano derecha.  $F_z$  es la fuerza ortogonal a la superficie de trabajo de la plataforma. Las distancias de  $F_z$  y  $z$  son positivas al descender cuando la plataforma de fuerza se monta en el piso [14].  $M_x, M_y$  y  $M_z$  son los momentos alrededor de los ejes  $x, y, z$ , respectivamente, siguiendo la regla de la mano derecha



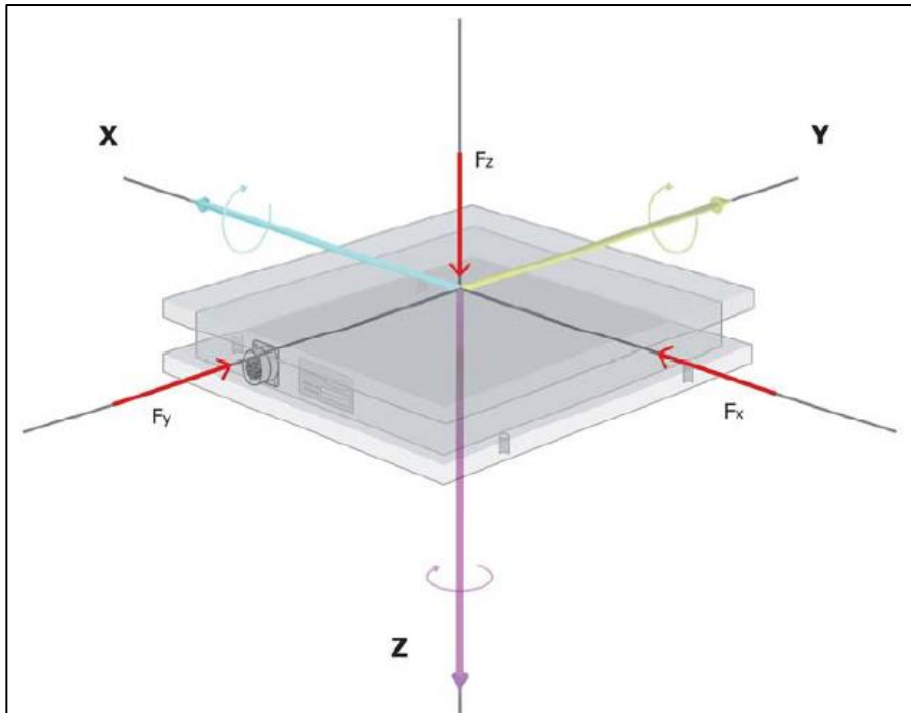


Figura 1. Sistema de coordenadas ortogonales de la plataforma de fuerza [14].

### 2.1.5. Momento

Es un vector igual al producto cruz de un vector de posición y un vector de fuerza [14].

### 2.1.6. Fuerza uniaxial

Fuerza que está solo en la dirección del eje deseado sin impartir fuerzas en los dos ejes ortogonales. Por ejemplo, la aplicación de  $F_z$  uniaxial mente no causará fuerzas de  $F_x$  o  $F_y$  superiores al 10% del  $F_z$  a  $F_x$  o de  $F_z$  a  $F_y$  [14]. Por ejemplo, en la figura 2 se ilustra la forma de onda de la fuerza vertical obtenida durante la caminata de una mujer normal de 22 años con un peso de 540 N (55 kgf, 121 lbf), caminando descalza con un tiempo de ciclo de 0,88 s (cadencia 136 pasos / min), una longitud de zancada de 1,50 m y una velocidad de 1,70 m/s [15].

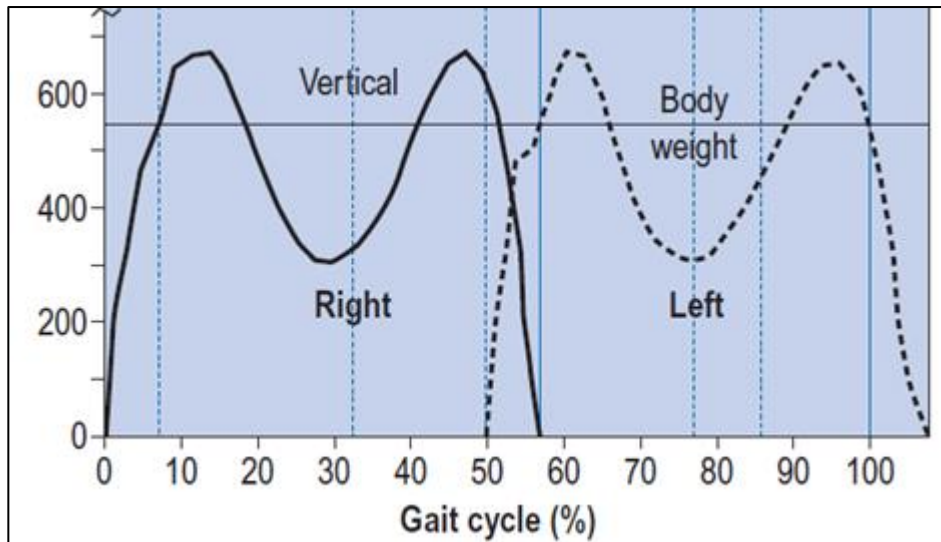


Figura 2. Forma de onda de la fuerza de reacción del suelo en Newtons [15].

### 2.1.7. Superficie de trabajo

Es el área plana de la plataforma donde se miden las fuerzas de reacción del suelo mientras los pacientes o sujetos realizan actividades como caminar, pararse, correr y otras actividades. En la mayoría de las aplicaciones, la superficie de trabajo está orientada horizontalmente y es la superficie superior de la plataforma de fuerza [14].

## 2.2. Modelos Experimentales

Existen varios modelos de plataformas de fuerza realizadas en diferentes universidades y centros de investigación, cada una con ciertas características y objetivos diferentes. A continuación, se citan tres alternativas desarrolladas en la Universidad de Cenderawasih (Indonesia), en la universidad de São Paulo (Brasil) y en la Universidad Nacional del Nordeste (Argentina), los cuales serán detallados a continuación:

### 2.2.1. Placa de fuerza para el análisis biomecánico de pie y caminando

Se desarrolla un prototipo de placa de fuerza con menos de \$ 100, simplemente con el uso de un transductor de fuerza flexible adherido dentro de goma mate, en forma de bloques

cuadrados (dimensión: 250 mm x 150 mm x 10 mm), con carga máxima hasta 60 kg. El prototipo se muestra en la figura 3. La placa de fuerza hecha a mano se probó aplicando análisis biomecánicos para pararse y caminar [10].

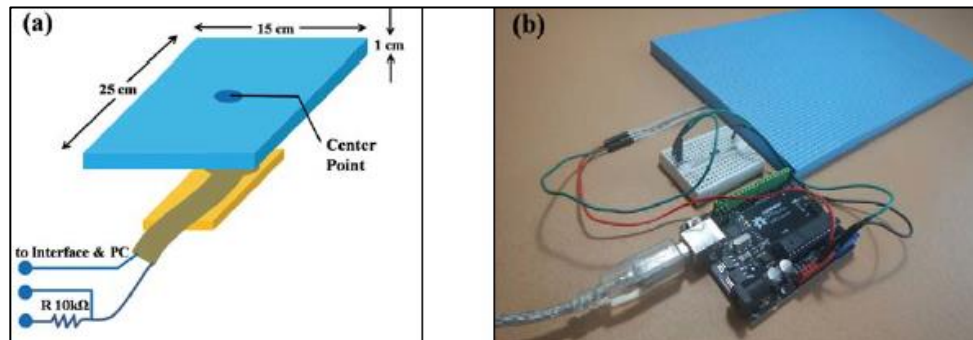


Figura 3. Prototipo de la plataforma de fuerza, a) modelo esquemático y b) modelo real [10].

Las pruebas fueron realizadas en estudiantes de Educación Física de la universidad de Cenderawasih, en posición de pie y caminando. En la figura 4., se observa la forma de onda cuando el estudiante pisa la placa, se estabiliza con ambos pies y luego sale de la placa.

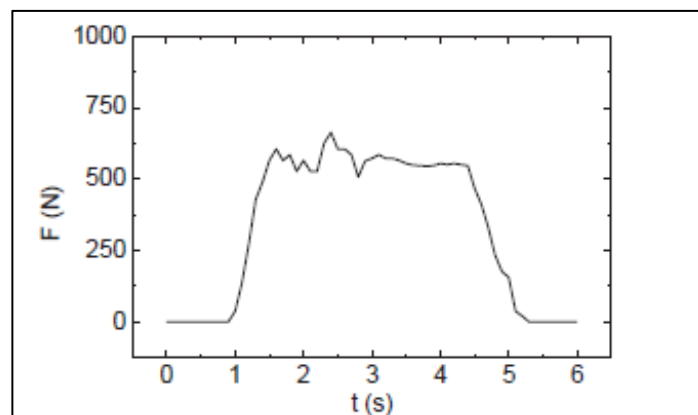


Figura 4. Forma de onda resultante durante el proceso de estabilización con ambos pies [10].

Además, se realizaron pruebas a los estudiantes mientras caminan. En la figura 5 a., se muestra la forma de onda en caminata lenta y en la figura 5 b., se muestra la forma de onda en caminata rápida.

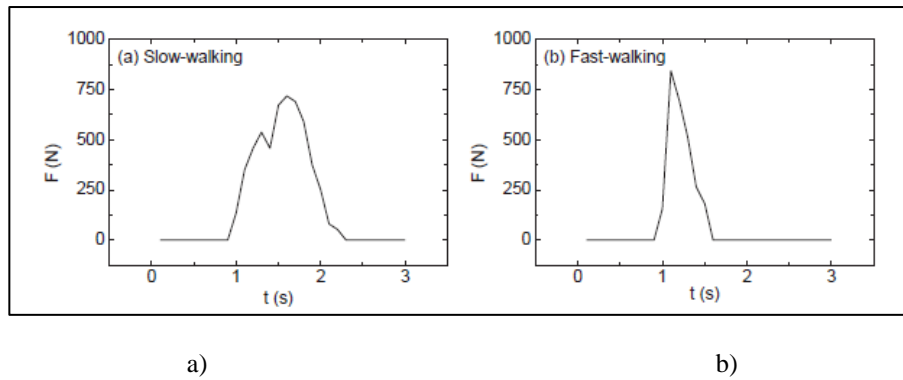


Figura 5. Forma de onda resultante durante a) caminata lenta y b) caminata rápida [10].

Esta versión de la plataforma de fuerza tiene similares características en calidad a las plataformas comerciales, pero son un costo mucho menor. Para mejorar la calidad de este prototipo se propone usar sensores con mayor sensibilidad para lograr un análisis de calidad de salto y carreras [10].

### 2.2.2. Plataforma de fuerza de bajo costo para el análisis de parámetros biomecánicos

Este artículo propone un nuevo diseño para plataformas de fuerza de bajo costo no comerciales con fines de investigación científica. Se construyó una plataforma de fuerza, con cuatro celdas de carga con capacidad de 900N cada una, las cuales están ubicadas en cada esquina de la placa rectangular tal como se muestra en la figura 6. Esta plataforma de fuerza fue desarrollada de acuerdo con los estándares internacionales de medición ya que medirá las fuerzas de contacto con los pies [2].

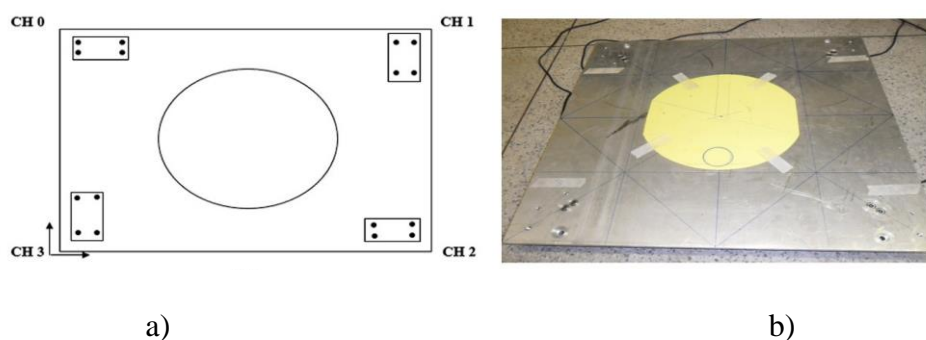
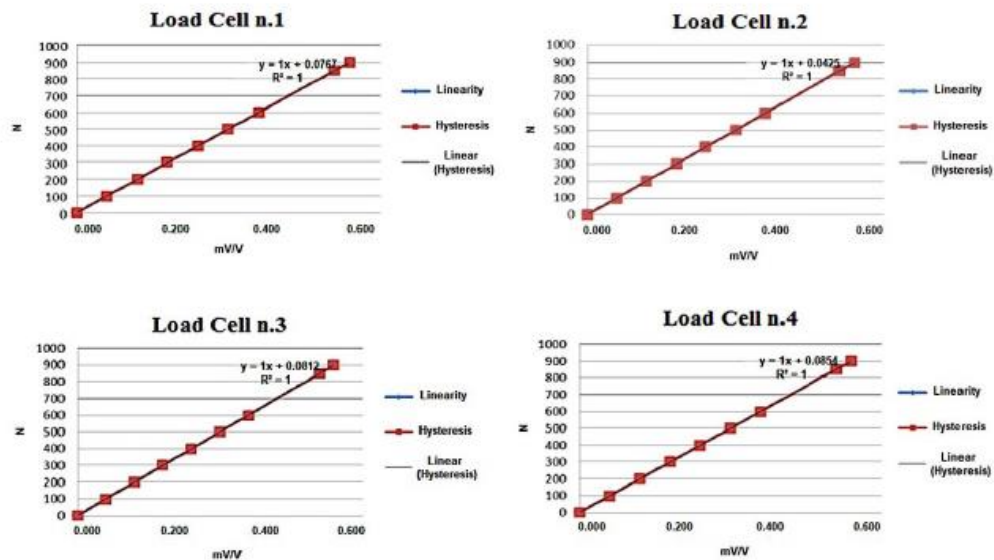
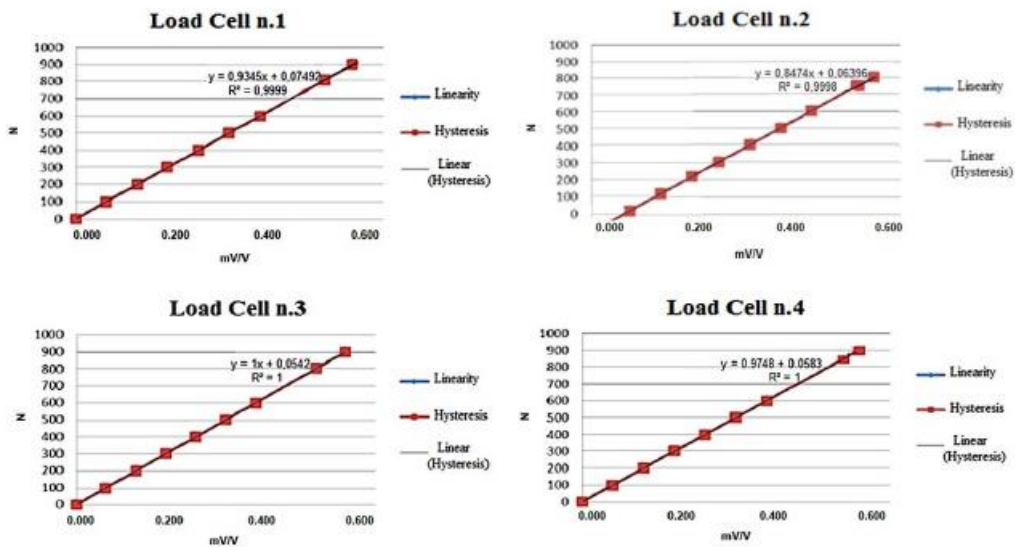


Figura 6. Prototipo de la plataforma de fuerza con 4 celdas de carga, a) modelo esquemático y b) modelo real [2].

Para la calibración vertical se realizó cargando masas conocidas, centralizadas o distribuidas sobre la plataforma, mientras que para la calibración horizontal se utiliza una estructura rígida fijada al suelo por cuatro tornillos. Un cable de acero se aseguró en un lado al borde de la plataforma, se conectó a una estructura de acero fijada al suelo orientada hacia la plataforma y tiró solo en dirección horizontal, las curvas de calibración de cada celda de carga se muestran en la figura 7 [2].



a)



b)

Figura 7. a) Curvas de calibración vertical y b) Curvas de calibración horizontal [2].

Las curvas de calibración demuestran que las celdas de carga usadas en este proyecto son adecuadas para presentar resultados óptimos en el análisis biomecánico postural humano, ya que el comportamiento de los sensores es en su mayoría lineal y la histéresis está dentro de lo permisible [2].

### 2.2.3. Plataforma dinamométrica para el análisis del centro de presión en la marcha humana.

En este artículo se desarrolla una plataforma dinamométrica que permita el cálculo y posterior análisis de la variación del centro de presiones durante el proceso de la marcha humana. Se utilizaron cuatro celdas de carga ubicadas en los vértices de una base cuadrada rígida de 40cm para obtener la fuerza de reacción vertical que se registraron con la ayuda de un sistema de adquisición de datos y se presentaron los resultados en Matlab [11]

Como en el punto anterior, este prototipo se compone de cuatro celdas de carga ubicadas en las esquinas de la placa superior. Para el procesamiento de la señal se propone el diagrama de bloques de la figura 8.

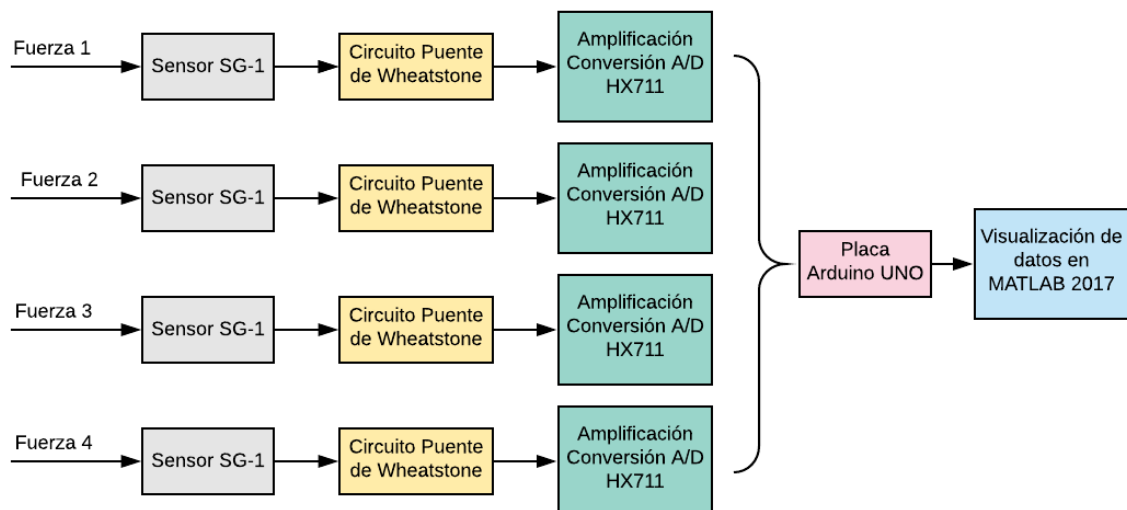


Figura 8. Diagrama de bloques para la adquisición y procesamiento de las señales [11].

Las salidas de cada celda de carga es amplificada y convertida de analógica a digital por el módulo HX711 que es un lector de celdas de carga, estos valores son adquiridos por Arduino y posteriormente procesados y graficados en Matlab. Las pruebas fueron realizadas en caminata normal y los resultados se muestran en la figura 9, donde a) muestra la medición de fuerzas de reacción y b) la variación del centro de presión correspondiente a las distintas caminatas realizadas sobre la plataforma.

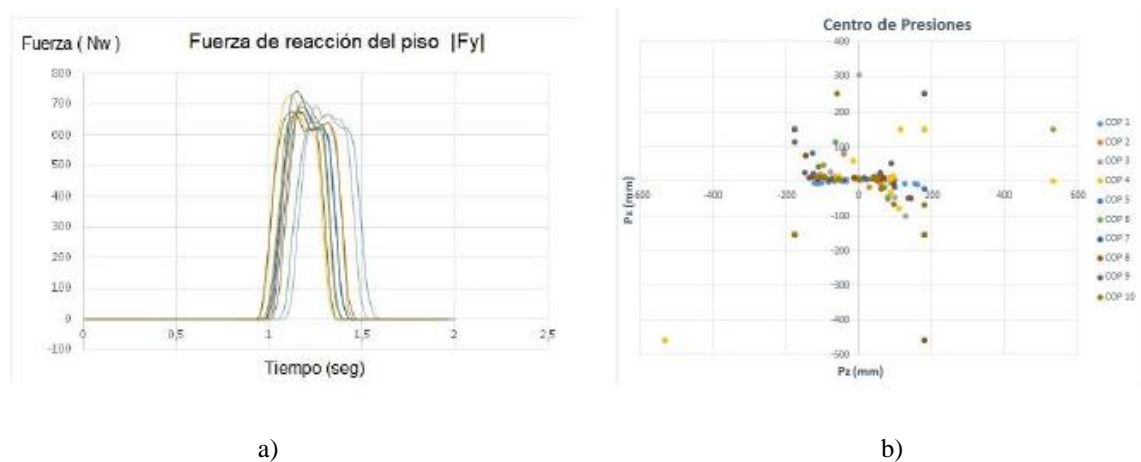


Figura 9. a) Formas de ondas de las fuerzas de reacción y b) variación de centro de presión [11].

### 2.3. Parámetros cinéticos obtenidos en el estudio de la marcha humana

Las plataformas de fuerza son diseñadas para medir los parámetros cinéticos de la marcha humana las cuales son: fuerza de reacción, momentos y desplazamiento del centro de presión, mismos que se detallan en los siguientes ítems.

#### 2.3.1. Fuerza de reacción vertical (eje z), fuerza de reacción anteroposterior y fuerza de reacción medio-lateral.

Para calcular la fuerza de reacción vertical se realiza la sumatoria de los valores de fuerza vertical que registra cada celda de carga en unidades de Newton (N) y su fórmula se expresa a continuación:

Ecuación 1. Fórmula para calcular la fuerza de reacción vertical.

$$F_z = F1 + F2 + F3 + F4$$

Donde  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  y  $F_4$  son las fuerzas verticales correspondientes a cada celda de carga.

Las fuerzas anteroposterior y medio-lateral, son calculadas mediante la respuesta del sensor el cual debe ser apto para la medición de fuerzas en los 3 ejes ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

### 2.3.2. Centro de presión

Considerando que la sumatoria de momentos  $\sum M = 0$  y la sumatoria de fuerzas  $\sum F = 0$ , el centro de presión debería estar localizado exactamente en el centro de la plataforma. Las ecuaciones para el cálculo del centro de presión son los que se muestran a continuación:

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del centro de presión, a) con respecto al eje  $x$  y b) con respecto al eje  $y$ .

$$COP_x = \frac{x}{2} \left[ \frac{(F_1+F_4)-(F_2+F_3)}{F_z} \right] \quad (a)$$

$$COP_y = \frac{y}{2} \left[ \frac{(F_3+F_4)-(F_1+F_2)}{F_z} \right] \quad (b)$$

Donde  $x$ ,  $y$  corresponden al ancho y largo del área de la plataforma de fuerza como se muestra en la figura 10, respectivamente. Las ecuaciones son apropiadas para sistemas con cuatro celdas de carga uniaxiales ubicadas en las esquinas de la placa rectangular [16].

### 2.3.3. Momento

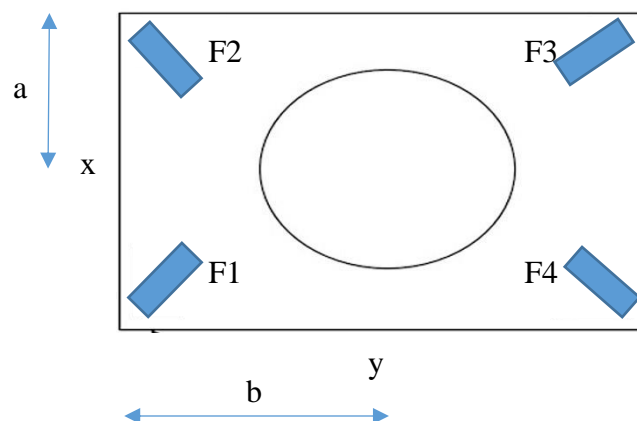


Figura 10. Plataforma de fuerza.



El momento de la placa sobre el eje x, se calcula mediante la ecuación:

Ecuación 3. Fórmula para calcular el momento de la placa sobre el eje x.

$$Mx = b * (F1 + F2 - F3 - F4)$$

El momento de la placa sobre el eje y, se calcula mediante la ecuación:

Ecuación 4. Fórmula para calcular el momento de la placa sobre el eje y.

$$My = a * (-F1 + F2 + F3 - F4)$$

## **2.4. Análisis de la marcha normal**

Los estudios de marcha en sujetos normales empleando plataformas de fuerza tienen gran importancia para la obtención de poblaciones de referencia y para el conocimiento de la influencia de diversos factores individuales como sexo, características antropométricas, personalidad, emociones, tipo de calzado, tipo de terreno, etc. [13].

Un sin número de estudios han sido realizados en el transcurso del tiempo, unos basándose en la influencia de la edad y el género de las personas, otros en personas sanas y con algún tipo de anomalía o enfermedad, y otros estudios han sido realizados con personas llevando alguna carga adicional.

## **2.5. Celdas de carga utilizados en las plataformas de fuerza**

Existen distintos muchos tipos de celdas de carga, pero las que se usan en las plataformas de fuerza son las siguientes:

### **2.5.1. Celdas de carga basadas en galgas extensiométricas**

Convierten la fuerza actuante sobre ellas en señales eléctricas medibles. Cuando se aplica el peso, la tensión cambia la resistencia eléctrica de las galgas en proporción a la carga [17].

Dentro de las celdas de carga basadas en las galgas extensiométricas también existen distintos tipos, diferenciándose en forma, tamaño y en la forma en que se realiza la medida. A continuación, solamente se explicarán algunos de estos tipos debido a su gran variedad:

### **2.5.2. Celdas de carga de compresión**

Son celdas de carga que miden según su compresión con una excelente estabilidad a largo plazo. En su mayoría, son construidas en acero inoxidable para asegurar la fiabilidad en entornos industriales. Están diseñadas para operar montadas a una superficie plana, y como se muestra en la Figura 11 tienen un botón de carga mecanizado como parte integrante de la celda de carga básica [17].



Figura 11. Celda de carga de compresión [17].

### **2.5.3. Celdas de carga de tensión y compresión**

Estas celdas permiten medir tanto la tensión como la compresión de las cargas. Están hechas de acero inoxidable, son de tamaño pequeño y son capaces de ofrecer lecturas de alta precisión. En la Figura 12 se observa el tamaño de una de estas celdas comparada con una moneda, y también una rosca macho que poseen para adjuntarse a la carga.



Figura 12. Celda de carga de tensión y compresión [17].

#### 2.5.4. Celdas de carga con viga en forma de S

Estas celdas obtienen su nombre de su forma de S, como se observa en la Figura 13. Pueden proporcionar una salida de acuerdo con la tensión o la compresión y ofrecen rechazo de carga lateral superior [17].



Figura 13. Celda de carga con viga en forma de S [17].

#### 2.5.5. Celdas de carga de flexión viga

Son utilizadas en múltiples aplicaciones de celdas de carga, tanques de pesaje y control de procesos industriales. Tiene 2 puntos para la fijación a la carga como lo muestra la Figura 14 y mide la flexión a la que se somete en el otro extremo [17].



Figura 14. Celda de carga de flexión de viga [17].

### 2.5.6. Celdas de carga de un solo punto:

Este tipo de celdas se usan en sistemas de pesaje comerciales e industriales. Proporcionan lecturas precisas, independientemente de la posición de la carga en la plataforma [17]. Su estructura física se muestra en la figura 15.



Figura 15. Celda de carga de un solo punto [17].

Todas las celdas de carga mostradas anteriormente funcionan con voltajes de excitación continua de entre 5 Vdc y 15 Vdc, y proporcionan a la salida unos pocos  $mV$ , alrededor de 3  $mV$  [17].

### 2.5.7. Propiedades de las celdas de carga

Es necesario conocer las características de las celdas de carga según los requerimientos a cumplir. A continuación, se explica algunos:

#### **2.5.7.1. Capacidad**

Esta es la carga máxima que la celda de carga está diseñada para medir, sin sufrir deformaciones o errores considerables en su medición. Factor por el que su costo varía.

#### **2.5.7.2. Arrastre (creep)**

Es el cambio en la salida del sensor que se producen en un determinado tiempo (según fabricante) de carga o cerca de su capacidad máxima, o con todas las condiciones ambientales u otras variables.

#### **2.5.7.3. Escala real (Full scale, FS)**

Se utiliza para calificar el error. Es el cambio de salida cuando el sensor está cargado, se expresa como 0.1% FS y la salida sería de 1.0mV/V, la no linealidad máxima sería vista en todo el rango de operación como 0.001mV/V. Es decir, si un sensor se está operando con un 10% de su capacidad, la no linealidad (para este ejemplo) seguiría siendo de 0.001mV/V, o el 1% del rango de trabajo que en realidad se está utilizando.

#### **2.5.7.4. Histéresis**

Consiste en la tendencia de un material a conservar sus propiedades posteriormente a un estímulo generado. Es decir, la capacidad de la celda de identificar cuando está a su 50% de capacidad y posteriormente ponerse a prueba con el mismo elemento y que identifique que de nuevo se encuentra a su 50% de capacidad.

#### **2.5.7.5. Tensión de excitación**

Especifica la tensión que se puede aplicar a las terminales de alimentación sobre la celda de carga.

#### **2.5.7.6. Sobre carga máxima**

La carga máxima que se pueda aplicar sin producir un fallo estructural.

#### **2.5.7.7. No linealidad**

Idealmente la salida del sensor es perfectamente lineal, por lo que idealmente la calibración con dos puntos describirá exactamente el comportamiento del sensor con cualquier otra carga, sin embargo, en la práctica, el sensor no es perfecto, y la no linealidad describe la desviación máxima de la curva lineal. Es por esto que para una calibración alta se requiere la descripción de múltiples puntos.

#### **2.5.7.8. Temperatura de funcionamiento**

Los extremos de temperatura ambiente dentro de la cual la celda opera sin cambio adverso y no cambia su rendimiento

#### **2.5.7.9. Resolución**

La resolución no es una característica de las celdas de carga, más bien se basa en el equipo que se está utilizando para medir la fuerza con la celda de carga. Esta se ve afectada directamente por la ganancia con la que se está manejando la celda. Además del ruido presente el cual evitaría tener lecturas fiables.

### 2.5.7.10. Temperatura compensada

El rango de temperaturas en el que se compensa la celda de carga para mantener la medición y el equilibrio dentro de los límites especificados.

## 2.6. Hardware y software para el procesamiento de la señal

A continuación, se detalla la instrumentación que se usará para la adquisición y procesamiento de la señal, así como el software a usar para mostrar los resultados y para el registro de estos.

### 2.6.1. Transmisor HX711

El transmisor HX711 actúa como una interfaz entre la celda de carga y el software Arduino, permitiendo leer el peso de manera sencilla. Internamente se encarga de la lectura del puente de Wheatstone formado por los medidores de deformación de la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica en digital con su convertor A/D interno de 24 bits. La comunicación con Arduino se realiza a través de los pines SCK (Reloj) y DT (Datos) que el transmisor de celda de carga HX711 tiene como SALIDAS. La conexión se representa en la figura 16:

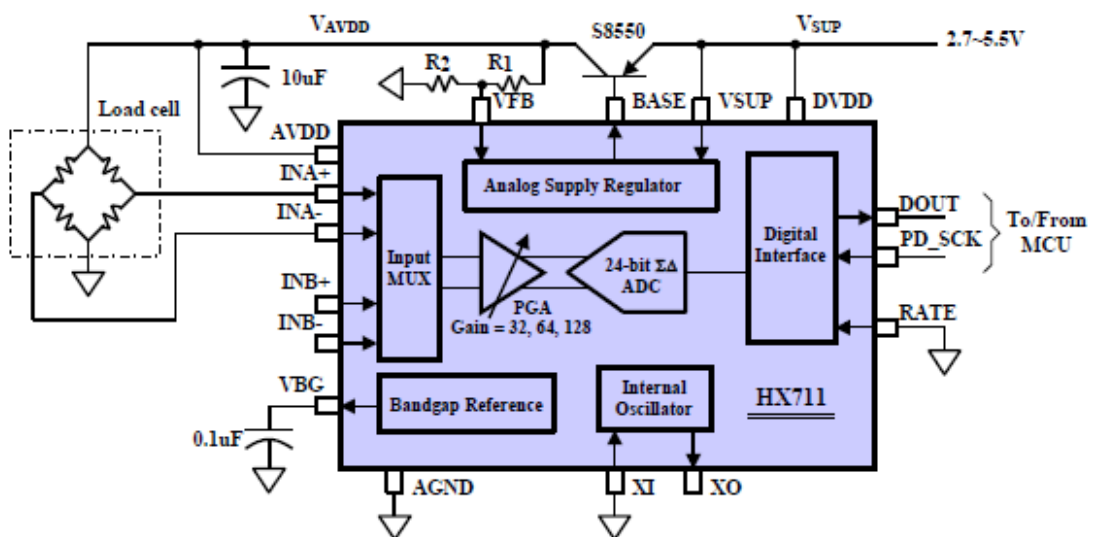


Figura 16. Diagrama esquemático del módulo HX711 [18].

### **2.6.1.1. Características**

- Dos canales de entrada diferencial seleccionables.
- PGA activo de bajo ruido en el chip con ganancia seleccionable de 32, 64 y 128.
- Regulador de la fuente de alimentación en chip para celdas de carga y fuente de alimentación analógica ADC.
- Control digital simple e interfaz serial.
- Rechazo de suministro simultáneo de 50 y 60Hz.
- Consumo de corriente incluyendo regulador de fuente de alimentación analógico en chip: funcionamiento normal <1.5mA, apagado <1uA.
- Rango de voltaje de alimentación de operación: 2.6 ~ 5.5V.
- Rango de temperatura de operación: -40 ~ + 85.
- Resolución de conversión A/D: 24bits.
- Frecuencia de lectura: 80Hz.

### **2.6.2. Arduino**

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla. Arduino puede ser programada en Windows, macOS y GNU/Linux.

#### **2.6.2.1. Arduino Uno**

Arduino Uno es una placa basada en un microcontrolador Atmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 4 pueden ser utilizados para salidas PWM), 6 entradas



analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, un conector para USB tipo hembra, un Jack para fuente de Poder, un conector ICSP y un botón reset, como se aprecia en la figura 17.

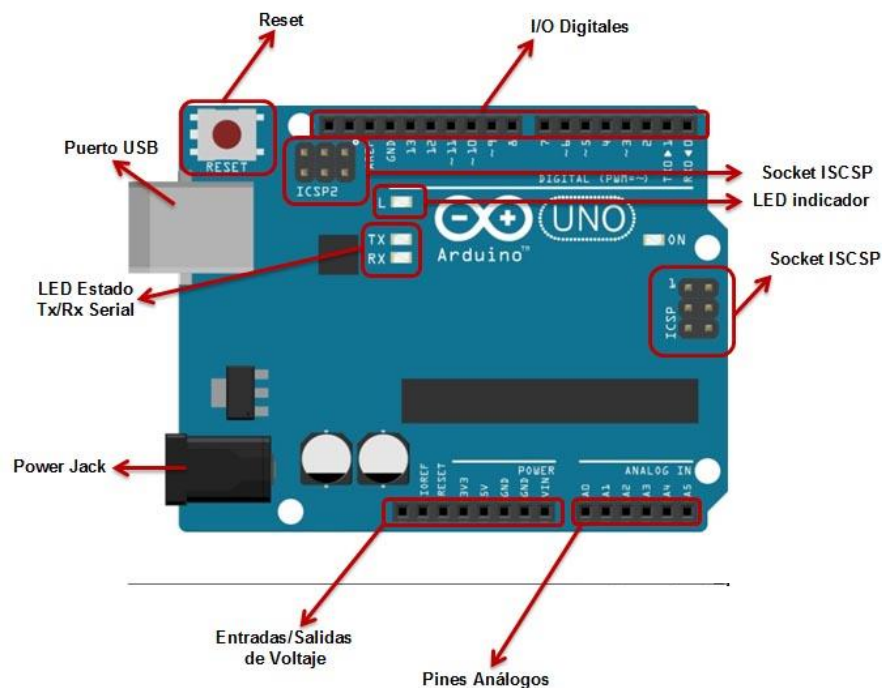


Figura 17. Componentes del Arduino Uno.

#### 2.6.2.1.1. Características técnicas:

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje Operativo: 5v
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v
- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
- Pines de Entradas Análogas: 6
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Velocidad del Reloj: 16 MHZ.

### 2.6.3. Realterm

Realterm es un programa de terminal de ingenieros especialmente diseñado para capturar, controlar y depurar flujos de datos binarios y otros flujos de datos difíciles. Es la mejor herramienta para la depuración de comunicaciones [19]

#### 2.6.3.1. Características

- Soporte para puertos de comunicaciones, conexiones virtuales (USB) y conexiones TCP (Telnet).
- Modos de visualización: binary, hex, int, float, etc.
- Captura y envío de archivos.
- Sincronización y marcas de tiempo.
- Interfaz ActiveX completa y control total de líneas de comando.

A continuación, en la figura 18 se observa la pantalla principal del programa Realterm, en donde se aprecia las características antes mencionadas.

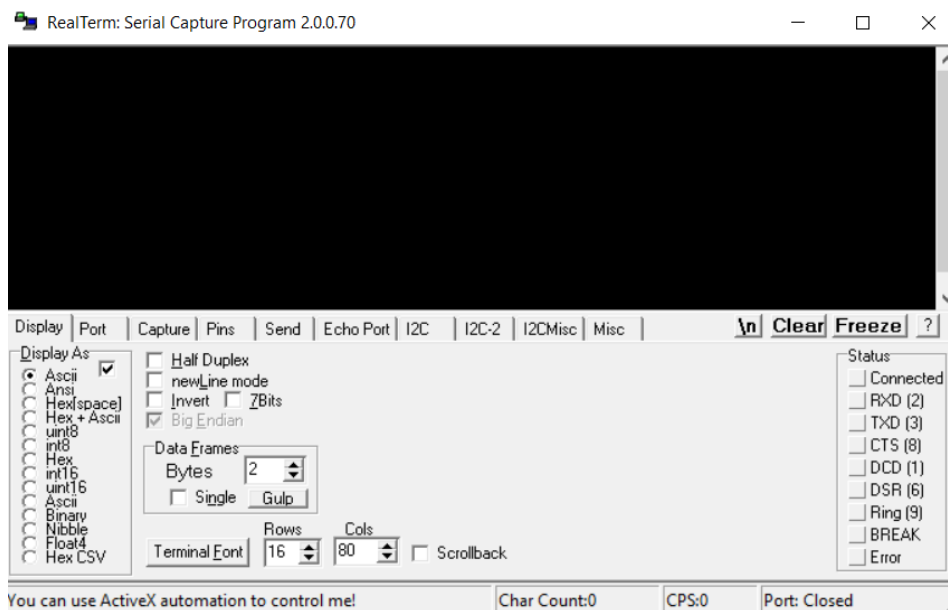


Figura 18. Pantalla principal de Realterm.

#### **2.6.4. MATLAB**

MATLAB es un sistema de alto desempeño diseñado para realizar cálculos numéricos. Cuenta con un lenguaje de programación propio y entre sus utilidades se encuentran: la manipulación de matrices, desarrollo de algoritmos, modelado, simulación y prueba de prototipos, análisis, exploración y visualización de datos, desarrollo de aplicaciones e interfaz gráfica de usuario (GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de Matlab con las herramientas de Toolboxes [20].

##### **2.6.4.1. Construcción de interfaces graficas de usuario (GUI) en Matlab**

Matlab permite desarrollar un conjunto de pantallas con botones, menús, ventanas, etc., que permite al usuario utilizar de manera siempre los programas realizados dentro de Matlab. El panel GUI se crea en una ventana, identificada como figura y está formada por los siguientes elementos: menú de interfaz con el usuario, dispositivo de control de la interfaz con el usuario y ejes para desplegar las gráficas o imágenes.

Mediante la GUI, el flujo de información está controlado por las acciones (eventos) que sucedan en la interfaz. Comparando con los scripts, en estos los comandos están en un orden preestablecido, mientras que en la GUI no lo están. Los comandos para crear una GUI se escriben en un script, pero una vez que se ejecuta la GUI, esta permanece en la pantalla, aunque se haya terminado la ejecución del script. La interacción con el usuario continúa hasta que se cierra la GUI [20].

#### **2.7. Base de datos**

Una base de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. Para el presente proyecto es necesario

tener un registro de la toma de datos de cada usuario o paciente, ya que posteriormente esos datos estarán sometidos a diferentes tipos de análisis comparativos.

### **2.7.1. MySQL**

Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto (RDBMS, por sus siglas en inglés) con un modelo cliente-servidor. Como se menciona anteriormente una de las principales características de MySQL es que trabaja con bases de datos relacionales, es decir, utiliza tablas múltiples que se interconectan entre sí para almacenar la información y organizarla correctamente [21].

## CAPÍTULO III

### Metodología

#### 3. Descripción

El presente trabajo de grado se centra en el diseño y la implementación de una plataforma fuerza que permita la medición de la fuerza de reacción vertical (eje z) y el cálculo de la variación del centro de presiones durante la marcha. Dicho dispositivo será utilizado como parte del equipo especializado para el análisis biomecánico de la marcha humana.

##### 3.1. Parámetros de diseño

Los requisitos que debe cumplir la plataforma de fuerza a desarrollar se detallan a continuación:

###### 3.1.1. Capacidad de carga

Durante la aplicación de carga estática, los valores de las fuerzas de reacción son igual al peso de la persona mientras éste se mantenga en reposo. Si el usuario camina, las fuerzas de reacción cambian; los datos de fuerza obtenidos en los análisis durante la carrera a una velocidad de 3,04 m/s se ilustran en la figura 19 y servirán como referencia para determinar el aumento de la fuerza de reacción de una persona al caminar [22].

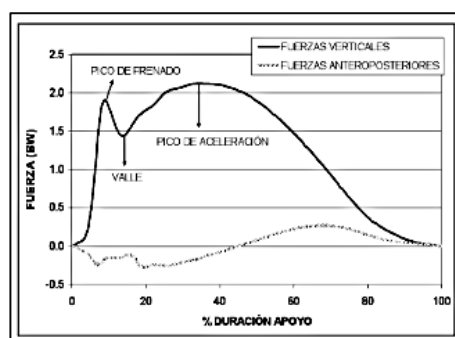


Figura 19. Fuerza vertical y fuerzas anteroposteriores en las pruebas de carrera [22].

Como se observa en la figura 19, para una persona que corre a una velocidad de 3,04 m/s, el pico más alto de fuerza aproximadamente es 2,2 veces el peso corporal (BW), por lo que ese valor será el factor que multiplicar por la masa del usuario para determinar la carga total a soportar por la placa de fuerza.

La masa promedio de las personas en Latinoamérica y Ecuador es de 75 kg en personas de aproximadamente 1,7 m de estatura [23]. Sin embargo, para ampliar el rango de aplicación de la plataforma de fuerza, se ha tomado el peso máximo de 80 kg que es el peso que se usará para el diseño de la placa.

### **3.1.2. Funcionalidad**

La placa debe ser construida de un material que genere el menor costo, también debe ser suficientemente rígida con la menor masa posible, de esta manera se garantiza: mínimas deformaciones, buena linealidad y baja histéresis [2]. La alta rigidez requerida está destinada a minimizar la flexión de las superficies durante el uso de la plataforma, asegurando así una transmisión prácticamente completa de la tensión recibida por la superficie superior a las celdas de carga colocadas inmediatamente debajo. El sistema electrónico debe tener buena respuesta dinámica y un tiempo de muestreo que permita la mayor recopilación de datos. Los datos obtenidos deben ser archivados en una base de datos ya que posteriormente estos datos serán sometidos a distintos tipos de análisis.

### **3.1.3. Accesibilidad**

Todos los materiales seleccionados deben encontrarse dentro del mercado local, para asegurar un menor coste y accesibilidad a repuestos en caso de requerirlos.

### 3.1.4. Dimensión

La placa debe estar diseñada para que abarque un solo pie, ya que el análisis se realizará durante la marcha, así que se analizará el paso de un pie a la vez, para esto se buscarán medidas máximas reales para fundamentar el tamaño de la placa. El grosor de la placa será determinado de acuerdo con el material seleccionado y con la carga máxima a soportar.

### 3.2. Diseño mecánico

Ya que se conocen los requerimientos que debe cumplir la plataforma de fuerza se procede con el desarrollo del diseño mecánico.

#### 3.2.1. Análisis y selección del material para la placa

Después de estudiar otros trabajos de investigación y analizar los materiales que ahí se utilizaron, se observó que los materiales cumplen con la resistencia necesaria para los objetivos planteados y que sus resultados fueron los esperados, por lo que se preseleccionaron los siguientes materiales: aluminio, acrílico y acero.

En la tabla 1, se presentan las principales características mecánicas.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del aluminio, acrílico y acero.

<b>Material</b>	<b>Módulo de Young (MPa)</b>	<b>Esfuerzo (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia a la corrosión</b>
<b>Aluminio</b>	70000	250	2,7	SI
<b>Acrílico</b>	3000	890	1,2	SI
<b>Acero</b>	210000	400	7,8	NO

Fuente: del autor

Con la información de la tabla 1, se puede realizar el análisis de criterio para cada material.

### 3.2.1.1. Análisis de criterios para la placa

Para seleccionar el material correcto, se usa el método de ponderación de criterios, en donde se evaluarán parámetros como: costo, características mecánicas como: resistencia y densidad, disponibilidad en el mercado local y maquinabilidad. Los materiales serán evaluados con un puntaje del 1 al 10, mayor será el puntaje si el material cumple con todos los parámetros establecidos.

Tabla 2. Análisis de criterios para la placa.

<b>Material</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Acrílico</b>	<b>Acero</b>
<b>Costo</b>	9	7	5
<b>Características mecánicas</b>	8	6	9
<b>Disponibilidad</b>	9	6	9
<b>Maquinabilidad</b>	10	8	10
<b>TOTAL</b>	36	27	33

Fuente: del autor

De acuerdo con la tabla 2, el material óptimo es el aluminio, ya que cumple con buenas características mecánicas, tiene un coste menor en comparación a los otros materiales, se encuentra dentro del mercado local y es fácil de mecanizar.

### 3.2.2. Diseño de la placa

Una vez seleccionado el material, se procede al diseño de las placas que se encargan de soportar las cargas generadas por el peso y movimiento de la persona y transmiten la tensión aplicada a las celdas de carga. Para esto es necesario determinar la forma y tamaño necesario que debe tener la plataforma de fuerza.



### 3.2.2.1. Forma de la plataforma de fuerza

La forma de las superficies de la plataforma de fuerza será rectangular para que a futuro sea factible la unión de dos o más plataformas en el suelo como una pasarela para evaluaciones adicionales, ya que es más sencillo trabajar con secuencias en formas rectangulares que, por ejemplo, triángulos o círculos.

### 3.2.2.2. Dimensiones de las placas de la plataforma de fuerza.

En este punto es importante conocer las medidas antropométricas del pie. Se tomaron las medidas máximas del pie que se muestran en la figura 20. Sin embargo, para la construcción del prototipo se optó por dimensionar la placa con 5 cm de holgura por lado, para dar espacio al pie cuando éste pise la plataforma y no interferir en la naturalidad de la pisada. Por lo que las medidas finales son de 0,4 m de largo por 0,25 m de ancho.

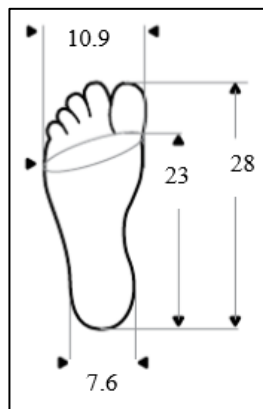


Figura 20. Medidas antropométricas del pie de la población latinoamericana [23].

Existen en el mercado planchas de aluminio de diferentes espesores, el trabajo ahora consiste en determinar el espesor adecuado, mediante cálculos de diseño que se describen a continuación.

### 3.2.2.3. Diagrama de cuerpo libre

En la figura 21, se ilustra la fuerza ejercida por el usuario sobre la plataforma y la longitud de éste.

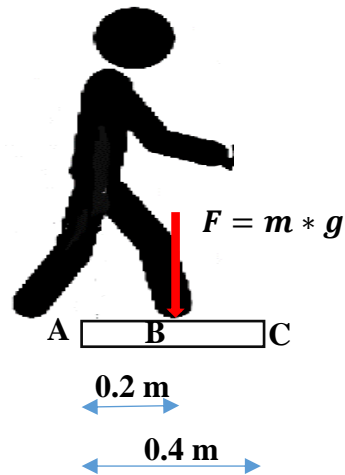


Figura 21. Fuerza vertical ejercida y longitud de la plataforma de fuerza.

Para realizar los cálculos se analiza la plataforma como una viga simplemente apoyada en sus laterales (punto A y C) con una carga puntual en el centro (punto B) cuyo diagrama de cuerpo libre se ilustra en la figura 22.

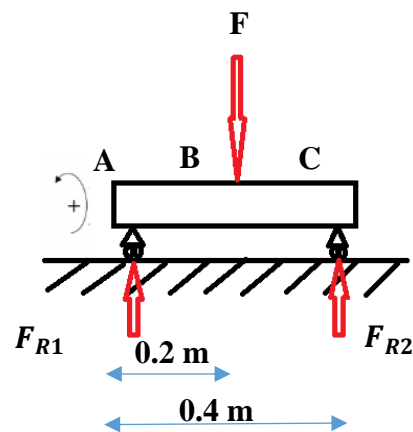


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre (DCL).

En el diagrama de cuerpo libre se muestran todas las fuerzas que actúan sobre la plataforma de fuerza. La carga puntual utilizada para realizar los cálculos es la fuerza generada por el peso de la persona:

Ecuación 5. Segunda Ley de Newton.

$$F_p = m_p * g$$

Donde  $F_p$  es la fuerza generada por la persona,  $m_p$  es la masa de la persona y  $g$  es la gravedad.

En este caso se multiplicará el factor de impacto determinado en el primer ítem de los parámetros de diseño que fue de 2.2 por la masa especificada en ese mismo punto que corresponden a los valores de 2,2 BW y 8 k respectivamente.

$$F_p = \text{factor de impacto} * m_p * g$$

$$F_p = 2.2 * 89Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 1920.7N$$

Para determinar los valores de las reacciones se realiza mediante las tres ecuaciones de equilibrio que son: sumatoria de fuerzas en el eje x, sumatoria de fuerzas en el eje y, y sumatoria de momentos. En este caso no se usará la sumatoria de fuerzas en x ya que no se ejerce ninguna fuerza sobre la viga en el eje x. El desarrollo de los cálculos se muestra a continuación:

Ecuación 6. Ecuaciones de equilibrio.

$$\curvearrowright \sum M_A = F(0.2) - F_{R2}(0.4)$$

$$-1920.7N(0.2m) + F_{R2}(0.4m) = 0$$

$$F_{R2} = 960.35 N$$

$$+ \sum F_y = F - F_{R1} - F_{R2}$$

$$F_{R1} + F_{R2} = 1920.7N$$

$$F_{R1} = 960.35 N$$

Los resultados de las reacciones en cada apoyo se expresan en la figura 23:

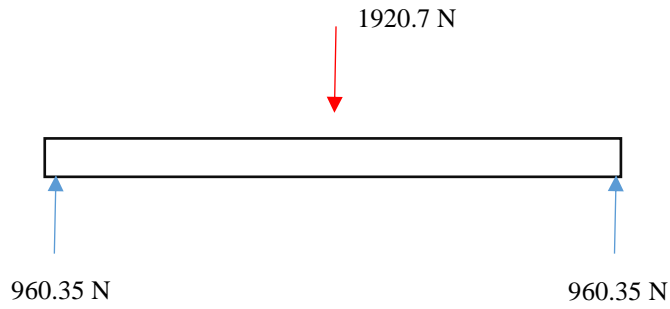


Figura 23. Reacciones en los apoyos laterales.

Fuente: del autor

En la figura 24 se muestra el diagrama de cortantes y momento flector para la viga en estudio:

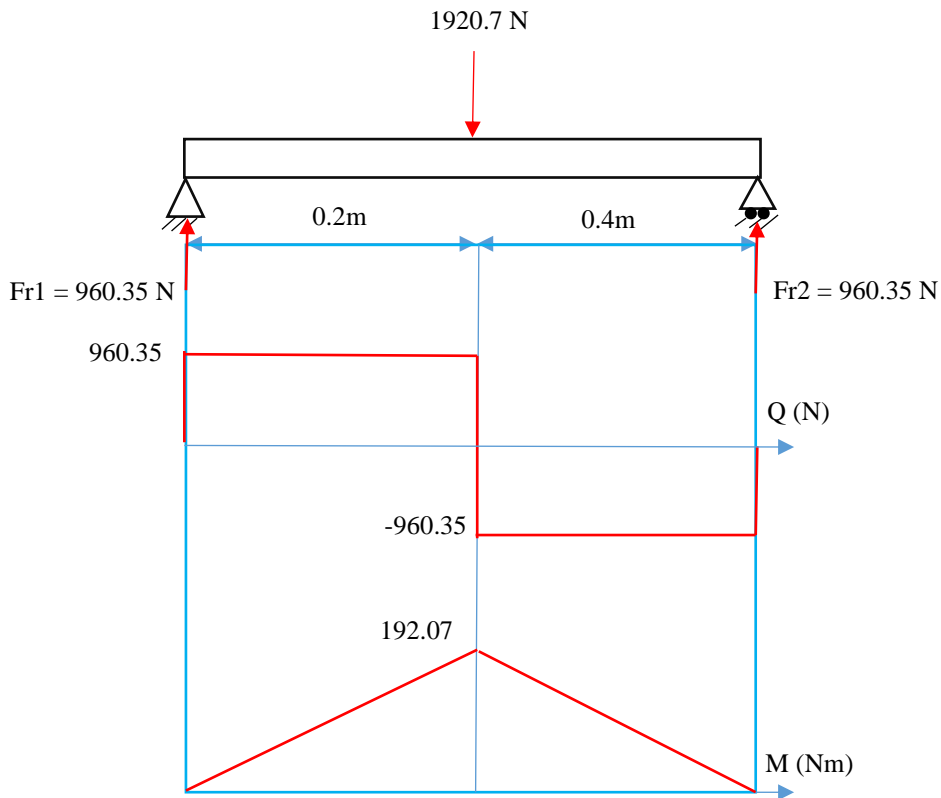


Figura 24. Diagrama de cargas y momento flector.

Fuente: del autor

Se ha determinado el momento máximo que es de 192.07 Nm, posteriormente se calcula el esfuerzo máximo:

Ecuación 7. Fórmula para calcular el momento máximo.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z}$$

Donde Z es el módulo de la sección transversal de la placa, que en este caso es una sección rectangular y es equivalente a la ecuación 8.

Ecuación 8. Fórmula para calcular el módulo de sección transversal del material de la placa.

$$Z = \frac{1}{6} * b * h^2$$

Donde b y h corresponde a la longitud y espesor de la placa de la plataforma de fuerza.

Se procede a calcular el espesor de la placa de aluminio para la carga aplicada. Para esto es necesario saber que, el momento máximo es igual a la división del valor de fluencia del aluminio para el factor de seguridad, con esto se podrá realizar la equivalencia de ecuaciones para obtener el espesor de la placa.

Ecuación 9. Momento máximo relacionando el valor del esfuerzo a la fluencia del material y el factor de seguridad.

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{FS}$$

Donde  $S_y$  es el esfuerzo a la fluencia del aluminio que es de 215MPa. Igualando las ecuaciones 7 y 9 se tiene:

$$\frac{M_{max}}{Z} = \frac{S_y}{FS}$$

$$\frac{12(192.07Nm)}{0.25m(215MPa)} = h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{2304.84}{68750000}}$$

$$h = 0.0065m = 6.5mm$$

En el mercado local el máximo espesor de las planchas de aluminio existente es de 4mm como se observa en la tabla 3, tomado del catálogo de DIPAC. Así que la fabricación de las placas de la plataforma de fuerza será mediante el proceso de fundición.

Tabla 3. Catálogo de planchas de aluminio.

ESPESOR (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA	% ELONGACIÓN
0.7 – 4.00	127 – 135 kg/mm <sup>2</sup>	6.5 – 7.5

Fuente: DIPAC

### 3.2.2.4. Simulación

Debido a que la placa va a estar sometida a grandes esfuerzos es importante evaluar el comportamiento de dichos materiales ante cargas determinadas, antes de iniciar la construcción. Para esto se realizó un estudio estático en el software Solid Works, en el cual se graficó la pieza rectangular de acuerdo con el diseño: 0.25m x 0.4m x 0.006m. Se especificará las restricciones (puntos de apoyo) y condiciones de borde, además del área en donde se concentrará la fuerza de 1920.7 N.

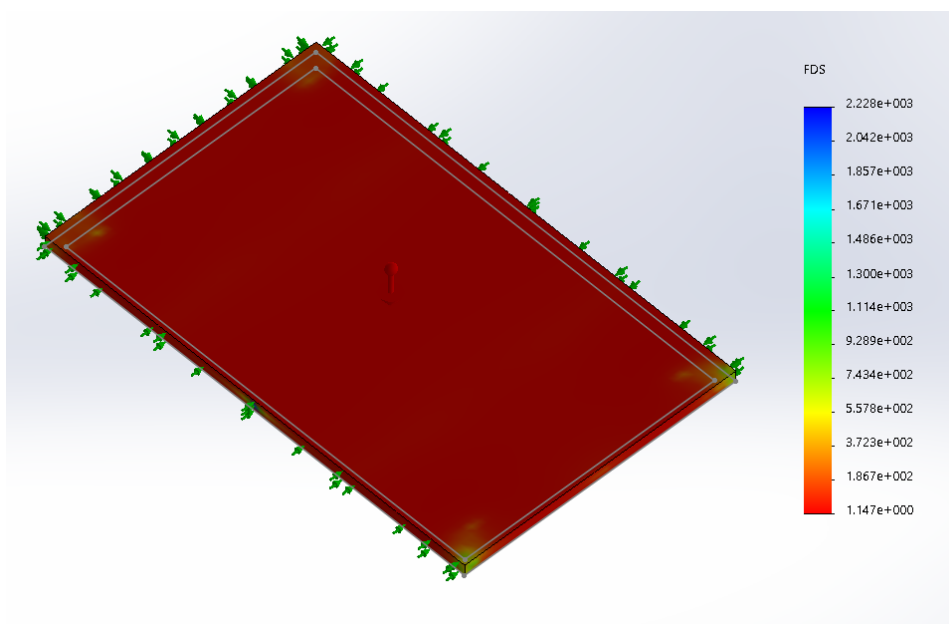


Figura 25. Análisis estático. Factor de seguridad

En la figura 25 se observa que la placa tiene un buen factor de seguridad que es de 6.15 el cual garantiza que soportará sin problemas la carga aplicada, además la deformación máxima que sufrirá la placa será apenas de 0.09 mm como se observa en la figura 26.

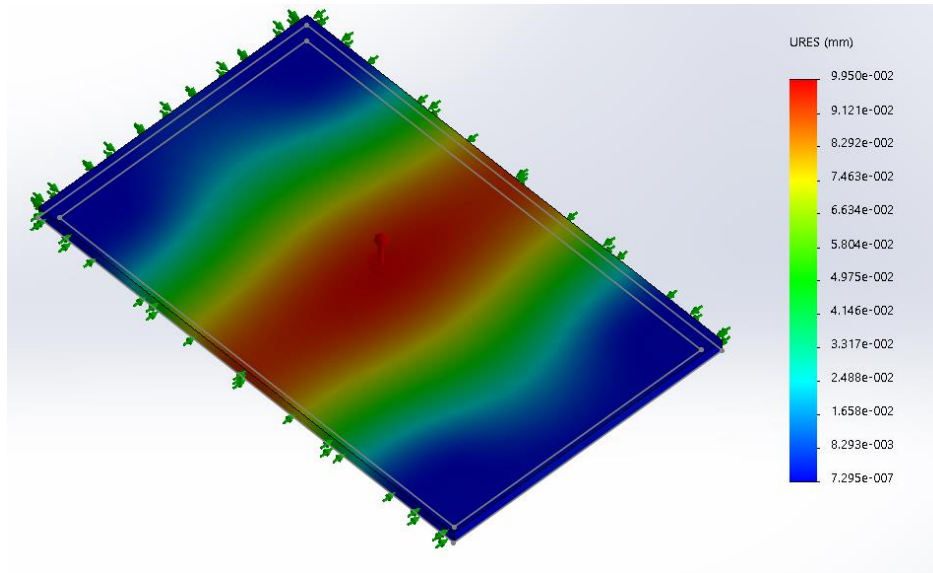


Figura 26. Análisis estático. Deformación máxima.

Por motivos de seguridad y estética se le agrega alrededor de la placa un marco del mismo material, para proteger el circuito electrónico que estará entre la base y la placa superior de la plataforma de fuerza. En la figura 27 se observa el modelo 3D de la placa dibujado en el software SolidWorks. Los planos del modelo se anexan al final del documento.

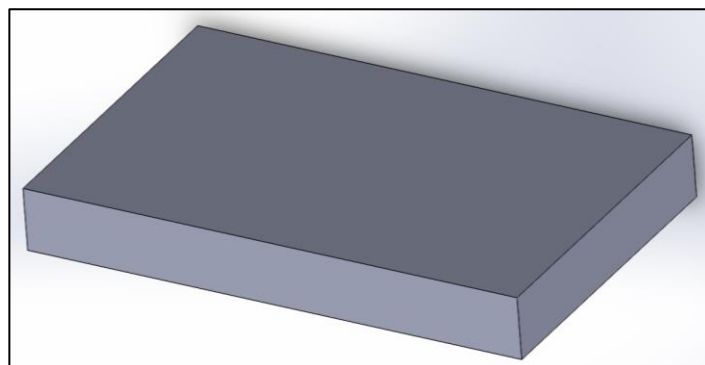


Figura 27. Modelo 3D de la placa superior de la plataforma de fuerza.

### 3.2.2.5. Orientación de las celdas de carga

Este aspecto es uno de los más importantes del diseño, ya que puede ser un factor determinante para la correcta adquisición y estabilidad de la señal. En la figura 28 se observa una matriz con cuatro maneras de posicionar las celdas de carga, el área sombreada corresponde a la porción que se encuentra en contacto con la platina superior [24]. A partir de esto, entendiendo que la fuerza se concentra teóricamente en el centro de la placa y, buscando maximizar la distribución de cargas, la opción escogida fue la numero 3.

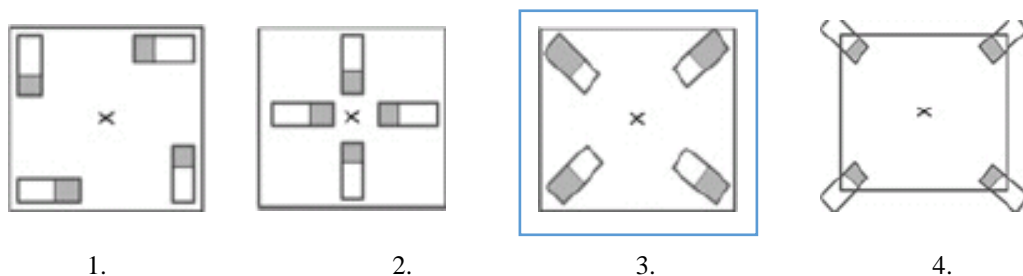


Figura 28. Matriz para la selección de la orientación de los sensores [24].

### 3.2.2.6. Base de la plataforma de fuerza

Su principal función es brindar soporte a las celdas de carga y por ende soportará toda la carga ejercida sobre la plataforma de fuerza. Como ya se conoce el posicionamiento de los sensores, la opción definitiva es una placa rectangular con las mismas dimensiones de la placa superior, ya que ambas soportarán las mismas cargas por lo tanto el análisis es el mismo. La placa base se diferencia de la placa superior en la ubicación de las alzas, ya que éstas se encontrarán en el centro de la base para el apoyo de las celdas de carga, además cuenta con los cuatro apoyos a tierra ubicados en cada esquina en el cual se le adaptará gomas antideslizantes para asegurar la estabilidad de la plataforma. En la figura 29 se observa el modelo 3D de la placa inferior realizado en el software SolidWorks. Los planos de la placa base de la plataforma de fuerza se anexan al final del documento.



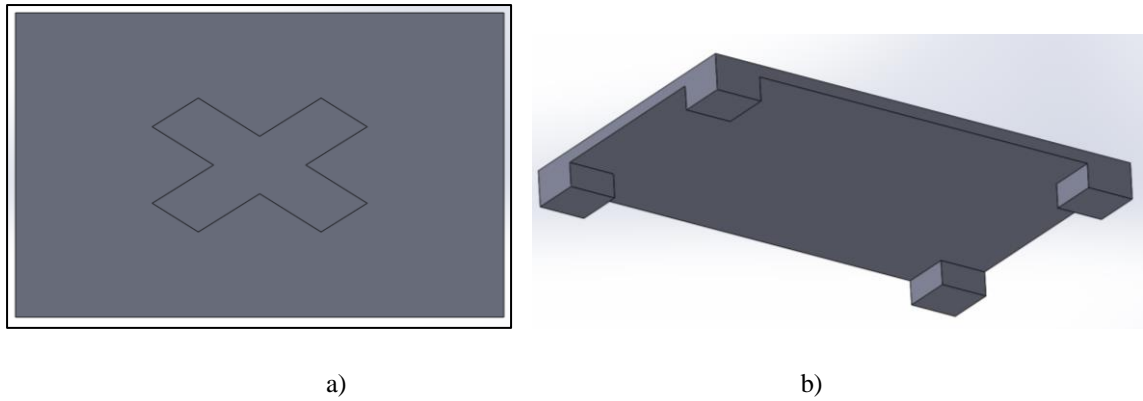


Figura 29. Placa inferior: a) Vista superior, b) vista inferior

Ya que se han diseñado todos los componentes físicos de la plataforma se obtiene el diseño final como se muestra en figura 30 (a) en el que se presenta el modelo 3D realizado en el software SolidWorks y en la figura 30 (b) se presenta el diseño ya fabricado en el material seleccionado. Los planos del diseño final se anexan al final del documento.

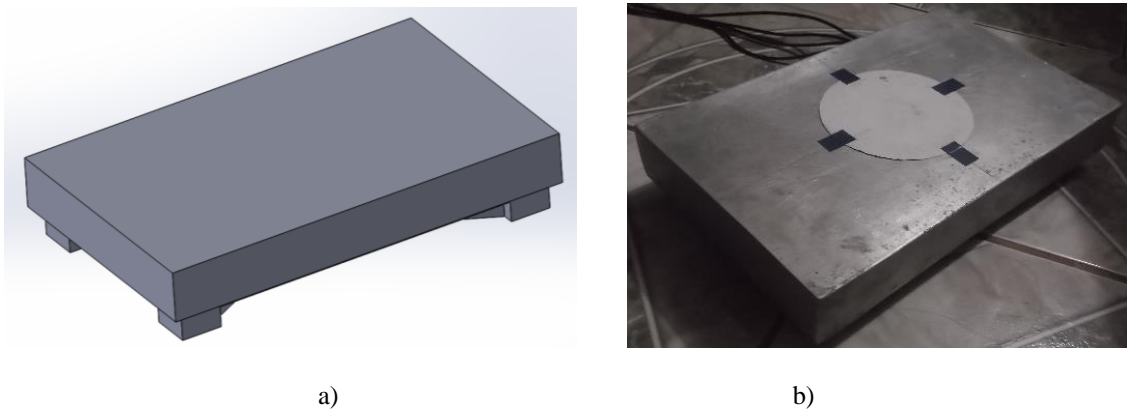


Figura 30. Plataforma de fuerza: a) Modelo 3D del ensamble final., b) Modelo final fabricado.

### 3.3. Diseño electrónico

Primeramente, se realizará la selección de la celda de carga apropiada según los parámetros de diseño preestablecidos, posteriormente se desarrolla el sistema para la adquisición de las señales.

### **3.3.1. Análisis de criterios para la selección de las celdas de carga**

Para la selección de la celda de carga se tomó en cuenta todos los tipos de celdas de carga mostrados en el Capítulo I, comparamos sus especificaciones técnicas como: voltaje de excitación, voltaje a las salidas, precisión, capacidad de carga, tamaño, etc., mostrados en la tabla 4, así como el costo y disponibilidad en el mercado local. Las celdas de carga serán evaluadas con un puntaje del 1 al 10, mayor será el puntaje si la celda de carga cumple con todos los parámetros establecidos.

Tabla 4. Tabla comparativa de las características técnicas de los distintos tipos de celdas de carga [26] .

Tipo de celda	Rango de salida	Rango de salida	de Voltaje de excitación	Rango de sobrecarga	de la Resistencia del puente	Balaceo de cero	de Repetibilidad	Histéresis
Flexión de viga	3.0 +- mV/V	0.09	9 Vdc	150% de capacidad	350 $\Omega$	< 2% del rango de salida	0.014' ,	<0.03% del rango de capacidad
Viga en S	3.0 +- mV/V	0.0075	10 Vdc	150% de capacidad	350 +- 10 $\Omega$	+- 1% del rango de salida	0.020' ,	+- 0.02% del rango de capacidad
Compresión	2 mV/V		10 Vdc	150% de capacidad	350 $\Omega$	+- 2% del rango de salida	0.003' ,	+- 0.20% del rango de capacidad
Tensión y compresión	2 mV/V		10 Vdc	150% de capacidad	350 $\Omega$	+- 2% del rango de salida	Ningún valor	+- 0.20% del rango de capacidad

Con la información de la tabla 4, se puede realizar el análisis de criterios para cada material.

Tabla 5. Análisis de criterios para la selección de la celda de carga.

<b>Material</b>	<b>Flexión de viga</b>	<b>Viga en S</b>	<b>Compresión</b>	<b>Tensión y compresión</b>
<b>Costo</b>	9	7	6	6
<b>Características Técnicas</b>	9	9	9	9
<b>Disponibilidad</b>	10	8	8	7
<b>Histéresis</b>	9	10	10	10
<b>TOTAL</b>	37	34	33	32

Fuente: del autor.

De acuerdo con el análisis de criterios se selecciona la celda de flexión de viga por razones principalmente de practicidad para la colocación, por su precio y su incursión en el mercado, ya que como se observa en la tabla 4 las características técnicas para cada tipo de celda de carga son muy similares.

Se utilizan cuatro celdas de carga de flexión de viga *XIN NUO QI (CN1501541594)*, en la figura 31 se observa su estructura y sus dimensiones. En la tabla 6 se detallan las especificaciones técnicas de la celda de carga:

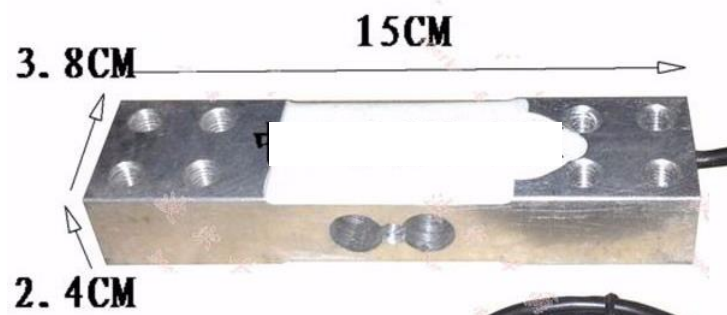


Figura 31. Estructura de la celda de carga XIN NUO QI.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la celda de carga XIN NUO QI (CN1501541594).

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Capacidad máxima	180 kg
Escala real (Full Scale)	0.02% F.S.
Sensibilidad	1mV/V $\pm$ 0.1%
No linealidad	0.02% F.S.
Histéresis	0.02% F.S.
Arrastre (Creep) en 10 min.	0.02% F.S.
Impedancia de entrada	405 $\Omega$ $\pm$ 10 $\Omega$
Impedancia de salida	350 $\Omega$ $\pm$ 3 $\Omega$
Voltaje de excitación	5VDC – 12V
Rango de compensación de temperatura	10°C a 40°C
Rango de temperatura de funcionamiento	-20°C a 60°C
Sobrecarga segura	120%
Sobrecarga máxima	150%
Clase de protección	IP65

Fuente: del autor.

Con la adquisición de las celdas de carga se procedió a ensamblar la plataforma. Las celdas de carga de carga de flexión de viga tienen un extremo el cual irá apoyado a una base fija, que en este caso se atornillarán a cada vértice de la placa rectangular, mientras que el otro extremo irá atornillado a la placa superior, teniendo en cuenta que la parte central de la celda de carga (la parte hueca) quede en suspensión como se observa en la figura 32 para su correcto funcionamiento, tomar en cuenta que la flecha que se encuentre ubicado en uno de los extremos de la celda de carga indica la dirección de la fuerza que se va a aplicar. En la figura 33 se muestra el posicionamiento de las cuatro celdas de carga sobre la placa base.

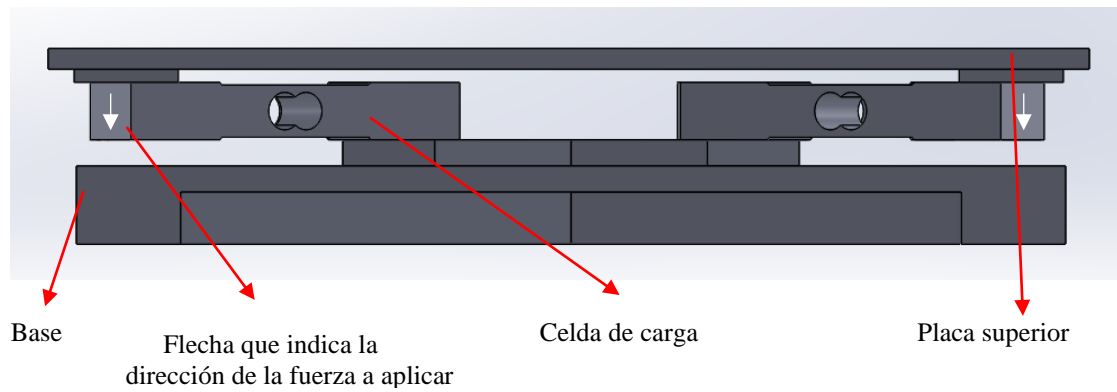


Figura 32. Ensamble de la estructura con las celdas de carga.

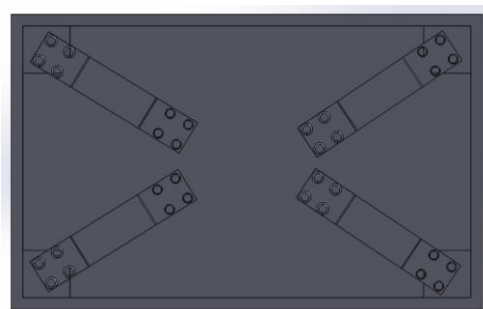


Figura 33. Modelo 3D del posicionamiento de las celdas de carga.

### 3.3.2. Adquisición de datos

La adquisición de datos es el proceso de medir con una computadora un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido.

En los siguientes apartados se presenta el procedimiento desde la adquisición hasta el procesamiento de la señal.

#### 3.3.2.1. Acondicionamiento de la señal

Para el acondicionamiento de la señal se usa el transmisor de celda de carga HX711 cuyas características se mencionan en el Capítulo I. Además de ser un amplificador también es un conversor análogo digital de 24 bits. Su pequeño tamaño de 4 cm x 2 cm, permiten encajar fácilmente dentro de la estructura de la plataforma de fuerza. Se usan 4 transmisores, una para

cada celda de carga. La imagen realista del diagrama de conexión y su esquema eléctrico equivalente se encuentran en el Anexo1.

Las celdas de carga poseen cuatro cables de diferentes colores: el cable blanco va conectado a la alimentación analógica (E+) del transmisor, el cable negro a tierra analógica, el cable verde a la entrada negativa del canal A y el cable rojo a la entrada positiva del canal A. Los pines de tierra y voltaje del transmisor van conectados a los pines de tierra y voltaje de Arduino, y el pin de entrada de reloj serial junto con el pin de salida de datos irá conectado a los pines analógicos del Arduino. Las señales provenientes de cada celda de carga son leídas por el transmisor HX711 que como ya se mencionó en el marco teórico, convierte la lectura analógica a digital con su conversor A/D interno de 24 bits.

### 3.3.3. Arduino como tarjeta de adquisición de datos

Una vez que se ha la señal está acondicionada y se dispone de la plataforma ya ensamblada, se propone el siguiente diagrama de bloques (Figura 32) para la adquisición y procesamiento de la señal.

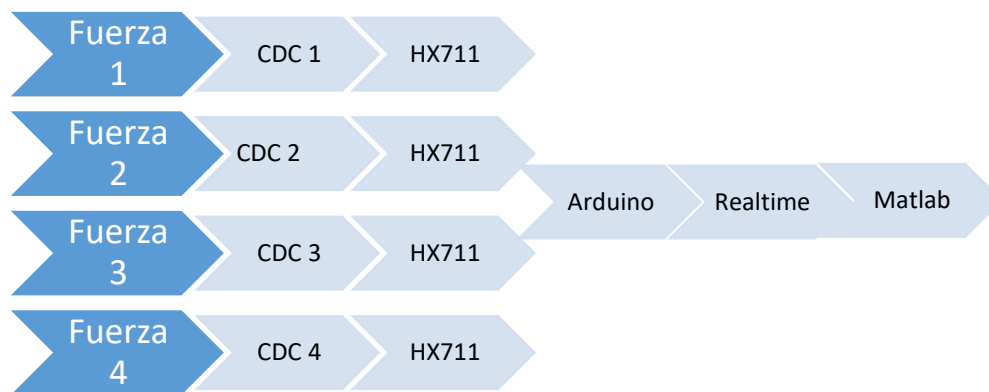


Figura 34. Diagrama de bloques del procesamiento de la señal.

Básicamente el diagrama describe el proceso de adquisición y procesamiento de los datos emitidos por las celdas de carga. Las fuerzas entrantes a cada celda de carga, provocará una

señal de salida en mV, la cual será acondicionada por el transmisor HX711, señales que serán adquiridas mediante Arduino. Estos datos serán capturados por el programa Realterm que lee el monitor serial de Arduino en tiempo real y los guarda en un archivo de texto para posteriormente ser importado al software Matlab para el análisis, procesamiento y representación gráfica de los resultados.

#### **3.3.4. Calibración de las celdas de carga**

El proceso de calibración consiste en convertir la señal proveniente de las celdas de carga (mV) en unidades de Fuerza (N). Para hacerlo correctamente, fue necesario determinar las características estáticas y dinámicas del sensor (es decir, linealidad, histéresis) un paso obligatorio para aplicaciones que requieren una precisión continua de la medición de la fuerza.

Las tolerancias de los componentes y las no idealidades de los circuitos electrónicos conducen a que dos o más instrumentos de medida aparentemente idénticos no presenten nunca curvas idénticas de calibración.

Para verificar el comportamiento de la celda de carga, se hizo uso de la librería HX711 que viene preinstalado en la IDE de Arduino que sirve como una interfaz de la celda de carga, en la figura 35 se explica mediante un diagrama de flujo el funcionamiento del programa para la lectura de las celdas de carga.



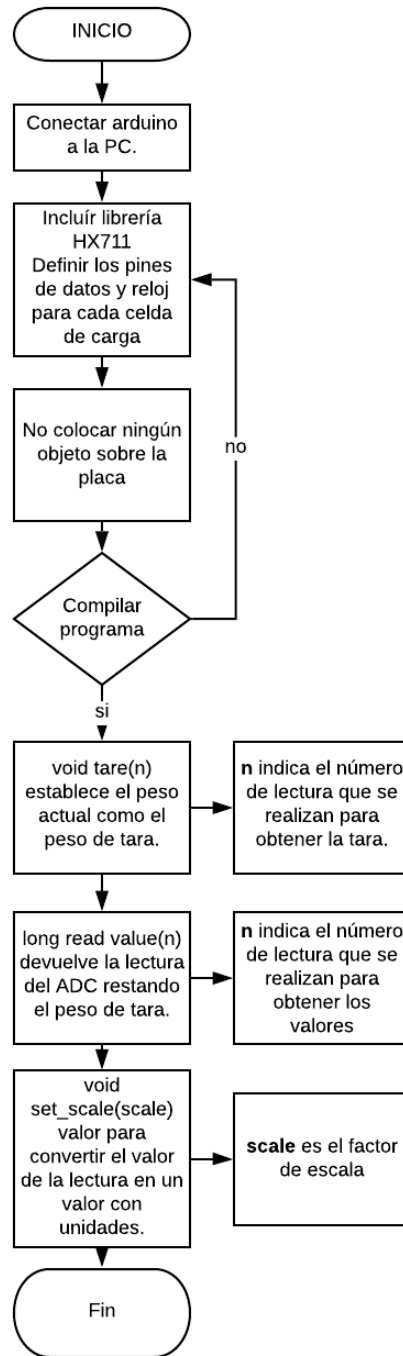


Figura 35. Diagrama de flujo del funcionamiento del programa.

Para evaluar cada celda de carga individualmente se colocan pesos conocidos para lo cual se usaron pesos entre 0 kg hasta 50 kg que permite obtener una relación directa punto a punto de la señal de salida en función de la entrada y viceversa. En el arranque, el programa solicita que la plataforma esté sin carga para realizar una tara en cero, posteriormente se colocaran los

pesos en el centro de la plataforma, con un intervalo de 10 segundos para el registro de datos por cada peso colocado, este procedimiento se repite para cada una de las celdas de carga y se encuentra ilustrada en el diagrama de flujo de la figura 36. Es importante recalcar que los pesos deben ser los mismos para la calibración de todas las celdas de carga.

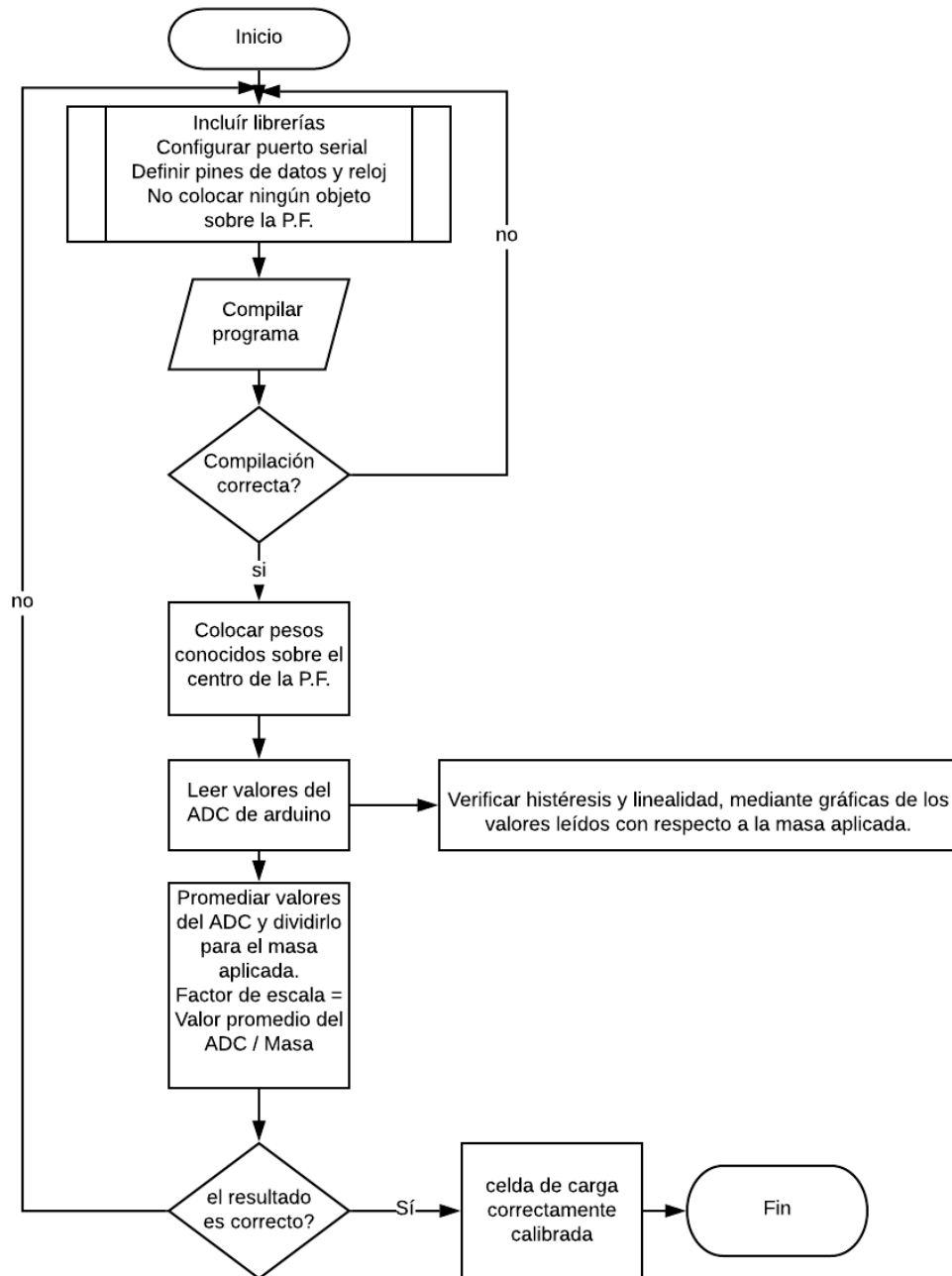


Figura 36. Diagrama de flujo para la calibración de celdas de carga.

Con el fin de observar la diferencia que existe entre el comportamiento real e ideal de las celdas de carga se grafica la curva de calibración ideal de la celda de carga XIN NUO QI como se muestra en la figura 37, que fue obtenida analíticamente en el que se observa que su comportamiento es lineal.

La sensibilidad de la celda de carga es de 1mV/V y será alimentada con 5V, entonces de acuerdo con la ecuación se tiene una salida máxima del sensor de:

Ecuación 10. Fórmula para calcular la salida máxima en mV de la celda de carga.

*Sensibilidad celda de carga \* voltaje de alimentacion = salida máxima (mV)*

$$Salida_{max} = \frac{1mV}{V} * 5V = 5mV$$

Los 5mV se obtendrá si se le aplica una carga igual a su máxima capacidad:

$$5mV \rightarrow 180Kg$$

Para la calibración de las celdas de carga se usaron pesos desde 11Kg, por lo que los cálculos se realizan de acuerdo con ese peso, se realiza una regla de tres para determinar la salida del sensor cuando se aplique una masa de 11kg que da como resultado:

$$\begin{array}{l} 5mV \rightarrow 180Kg \\ x \leftarrow 11Kg \\ \hline x = 0.3mV \end{array}$$

La salida en mV es amplificada con una ganancia de 128 que posee el transmisor HX711

$$0.3mV * 128 = 38.4mV = 0.0384V$$

La señal amplificada pasa de ser una señal analógica a digital mediante:

$$\begin{array}{l} 5V \rightarrow 2^{24} \\ 0.0384V \rightarrow x \\ \hline x = 128849 \end{array}$$

Calculando la señal de salida analíticamente de la celda de carga para cada masa, se tiene la curva de calibración ideal que se presenta en la figura 37:

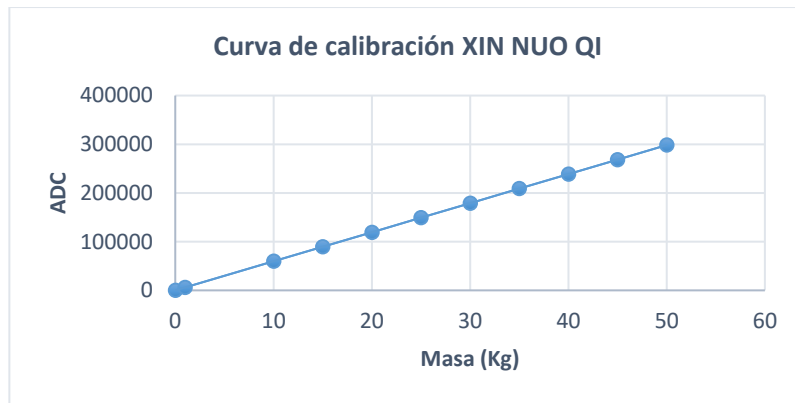


Figura 37. Curva de calibración ideal de la celda de carga Xin Nuo Qi.

A continuación, se obtiene las gráficas de las curvas de calibración de las cuatro celdas de carga que están representadas en la figura 38.

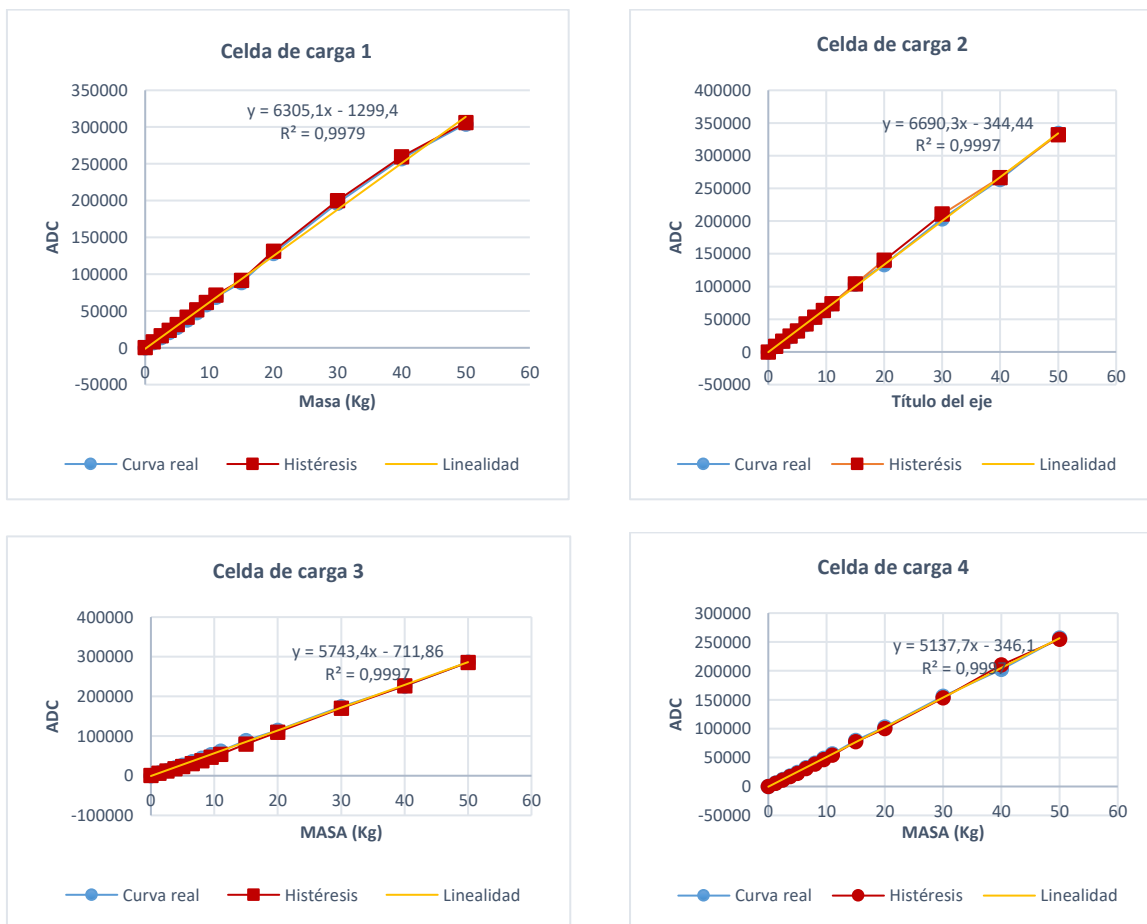


Figura 38. Curva de calibración real de las celdas de carga Xin Nuo Qi, linealidad, ecuación de la recta

La celda de carga 1 presenta un coeficiente de correlación de  $R = 0.99$  en el rango de carga de 0 a 50 Kg que es el 27% de la capacidad máxima de la celda de carga además tiene mayor error de linealidad en comparación a las otras tres celdas de carga, esto puede ser causado por diferentes factores como por ejemplo: la exactitud en el intervalo de tiempo entre la colocación de un peso a otro, los cables, interferencia entre sensores o también depende del tiempo de utilización de éstos. Por otro lado, las celdas de carga 2, 3 y 4 presentan el mismo coeficiente de relación, son bastante lineales y su histéresis son prácticamente nula, por lo que se espera una alta repetibilidad en sus mediciones.

### 3.3.4.1. Factor de escala

Ya que se ha verificado el comportamiento de cada celda de carga se procede a la conversión de la señal emitida por el sensor en unidades de fuerza (N). Para esto es necesario calcular el factor de escala que se obtiene mediante la ecuación 11.

Ecuación 11. Fórmula para determinar el factor de escala.

$$ESCALA = \frac{VALOR\ ADC}{PESO(N)}$$

El valor ADC es un promedio de la toma de valores de la salida de la celda de carga que variará de acuerdo con el peso conocido que se coloque sobre la plataforma de fuerza, dando como resultado los siguientes valores para cada celda de carga:

$$ESCALA_{CDC1} = \frac{57897,95}{13} = 4453,69$$

$$ESCALA_{CDC2} = \frac{60995,78}{13} = 4691,98$$

$$ESCALA_{CDC3} = \frac{77374,35}{13} = 5951,87$$

$$ESCALA_{CDC4} = \frac{60995,78}{13} = 4691,98$$

Se observa que el factor de escala para cada celda de carga es distinto, se debe a distintos factores como: la posición de la celda, ruido presente en los cables y como indican los fabricantes, aunque se use el mismo modelo de celda de carga no necesariamente tendrán igual valor del factor de escala.

### 3.3.5. Procesamiento de señales

Una vez que las celdas de carga ya han sido calibradas y siguiendo el diagrama de bloques de la figura 34, se procede al procesamiento de señales como muestra la figura 39:

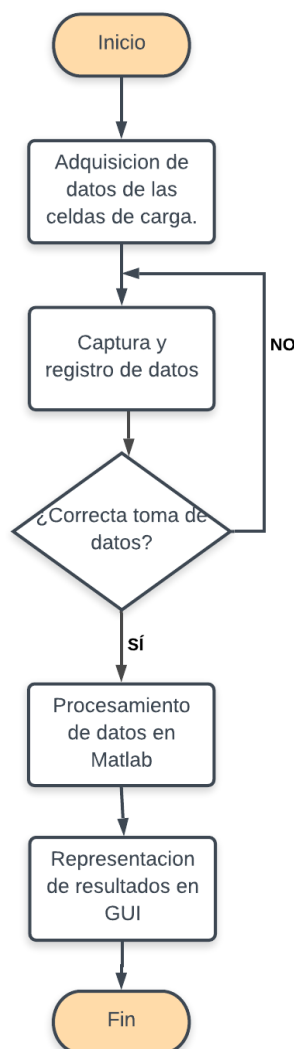


Figura 39. Diagrama de flujo del procesamiento de datos.

### 3.3.5.1. Vinculación entre Arduino y Realterm

Una vez que se adquieran los datos por medio de la tarjeta Arduino, los datos que se muestren en el monitor serial, serán capturados por el programa Realterm y guardados en un archivo .txt. Al abrir el software Realterm se deben realizar las siguientes configuraciones:

1. Seleccionar el puerto COM al cual está conectado la tarjeta Arduino en este caso COM12 (figura 37).
2. Cambiar la velocidad con la que trabaja Arduino, en este caso 9600Baud (figura 40).

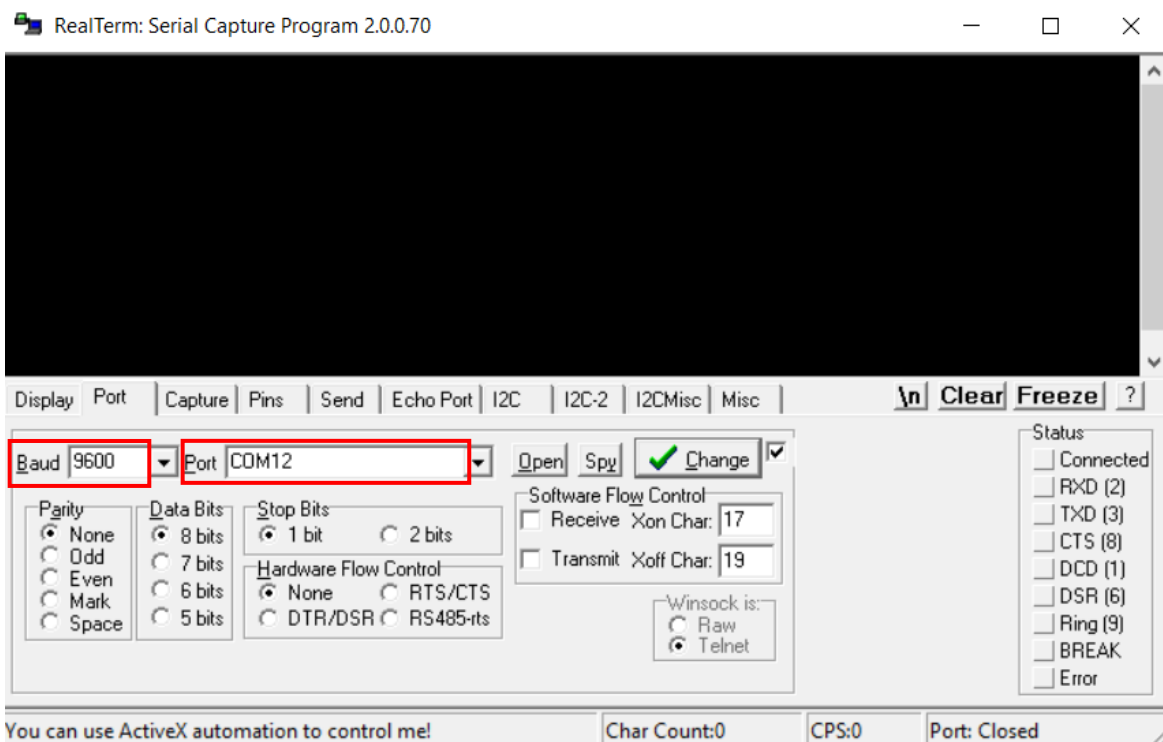


Figura 40. Configuración de la velocidad y puerto COM de Arduino.

Posteriormente En la pestaña 'Capture' se elige la carpeta en donde se guardará el archivo con las capturas de datos, oprimiendo el botón 'Start: Overwrite' se comienza con la captura de datos y con el botón 'Stop Capture' se detiene la captura de datos y el archivo .txt ya está listo para ser procesado.

### 3.3.5.2. Procesamiento de señales en Matlab

Una vez que los datos ya están guardados como archivos de tipo txt, el programa desarrollado importa los datos y los separa por columnas, cada columna representa los datos de cada sensor. Se realiza los cálculos para determinar la Fuerza de Reacción en el eje z (fuerza vertical), la variación del centro de presión ( $COP_x$  y  $COP_y$ ) y los momentos en el eje 'x' y 'y', fórmulas que ya fueron estudiadas en el capítulo I. Después se procede a representar los resultados en graficas 2D que posteriormente serán objeto de estudio y/o análisis. En la figura 41 se observa la gráfica de la fuerza de reacción con datos de prueba para verificar la funcionalidad del código.

La gráfica de la figura 41 representa los resultados obtenidos de una caminata de marcha normal de una persona femenina de 1.55m de altura y una masa de 61 kg, la primera curva corresponde al pie derecho y la segunda al pie izquierdo, en ambas curvas se observa que el primer pico es mayor al segundo, debido a que es común que el apoyo del talón genere más fuerza que el segundo apoyo el cual genera el despegue del pie.

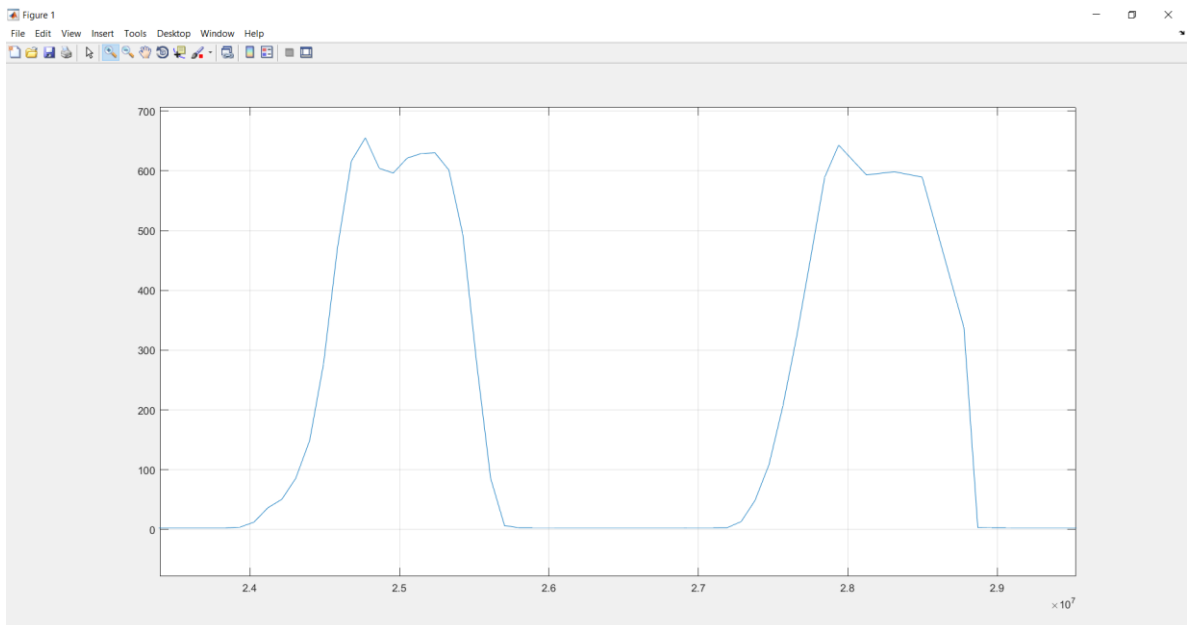
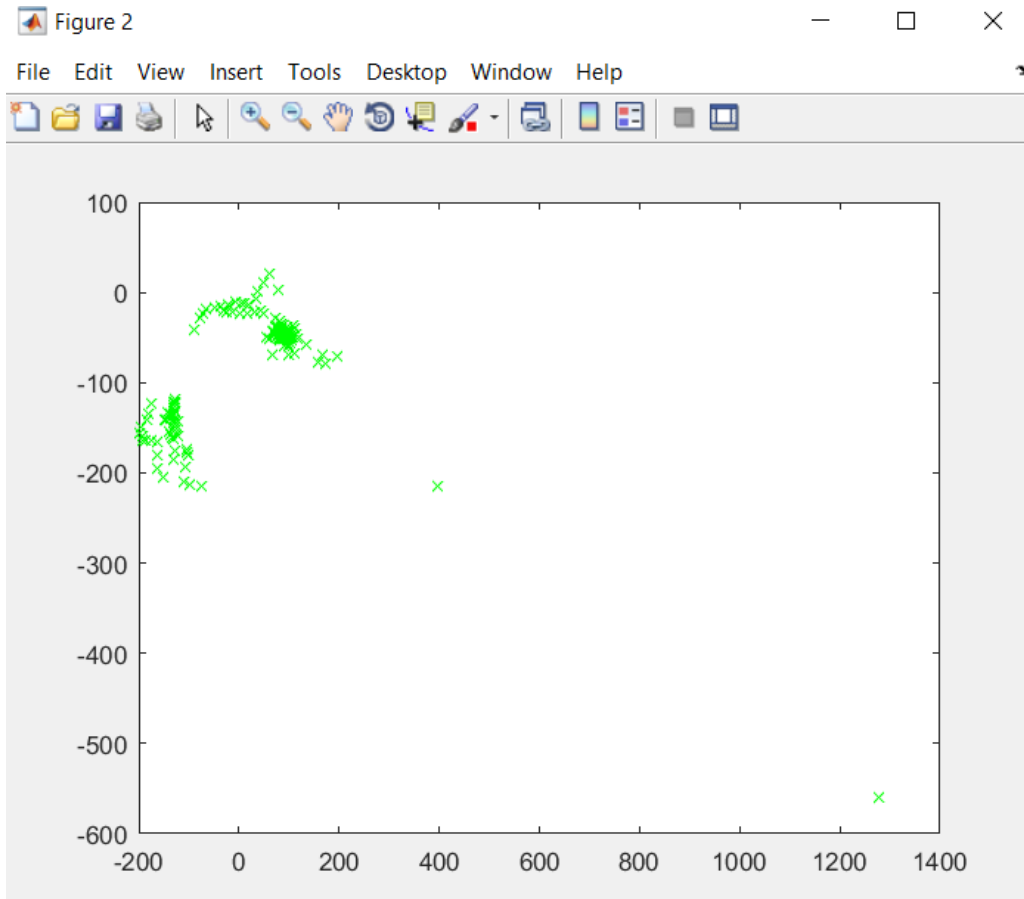


Figura 41. Fuerza de reacción.



En la figura 42 se muestra el desplazamiento del centro de presión del pie durante la marcha del sujeto antes mencionado, este parámetro no es clave para el análisis dinámico, sin embargo, es un parámetro importante al momento de evaluaciones posturales y de estabilidad [11].



b)

Figura 42. Variación del centro de presión.

### 3.3.6. Interfaz

La interfaz fue desarrollada en la herramienta de Matlab (GUI), consta de una pantalla principal en donde se añaden dos pestañas adicionales, la primera que realiza evaluación en tiempo real y la segunda es la base de datos.

### 3.3.6.1. Pantalla principal: evaluación de la pisada humana

En esta pantalla principal se realiza la evaluación de la pisada, el diseño se observa en la figura 43; se compone de tres partes fundamentales: información personal, procesamiento de datos y registro de datos.

En información personal tal como se observa en la figura 43 se ingresan los datos que se piden como son: nombre, cédula, género, edad, peso y altura, además se ingresa la fecha del día en que se realiza la evaluación.

En el procesamiento de la señal se muestran los botones de INICIO el cual inicia la adquisición de datos, seguidamente está ubicado el botón FIN que finaliza la adquisición de datos y guarda los datos capturados y por último está ubicado el botón EVALUAR que es el encargado de realizar los diferentes cálculos y mostrar las gráficas de los resultados. Además, se muestran los valores de los resultados en los cuadros de texto ubicados en la parte inferior izquierda de la interfaz.

Para el registro de datos se tiene un botón GUARDAR en la parte inferior derecha de la pantalla, datos que serán guardados en MySQL que está vinculada a Matlab.

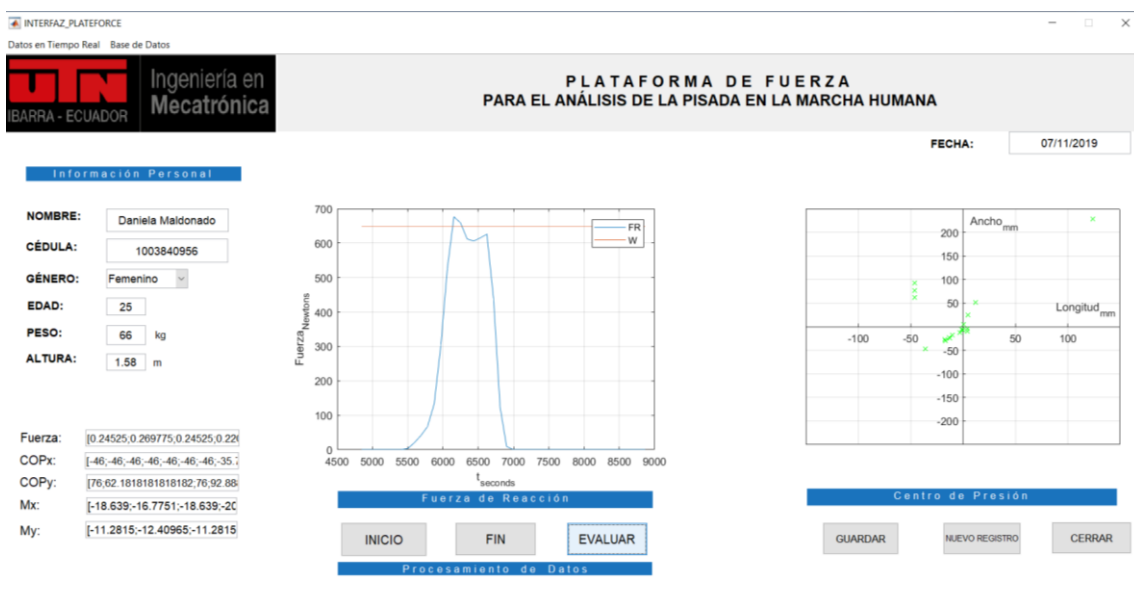


Figura 43. Pantalla principal.

### 3.3.6.2. Evaluador en tiempo real

Fue desarrollada en la aplicación de Matlab, es una interfaz sencilla en la que se puede tomar datos con un tiempo de retardo mínimo, es ideal para análisis de posturografía y equilibrio.

Como se observa en la figura 44 en el cuadro de texto se configura el COM al que está conectado la tarjeta Arduino y posteriormente se pulsa el botón INICIAR, en un lapso de 10 segundos comenzará la adquisición de datos y se podrán observar la fuerza de reacción y la variación del centro de presión mientras el usuario se para sobre ella.

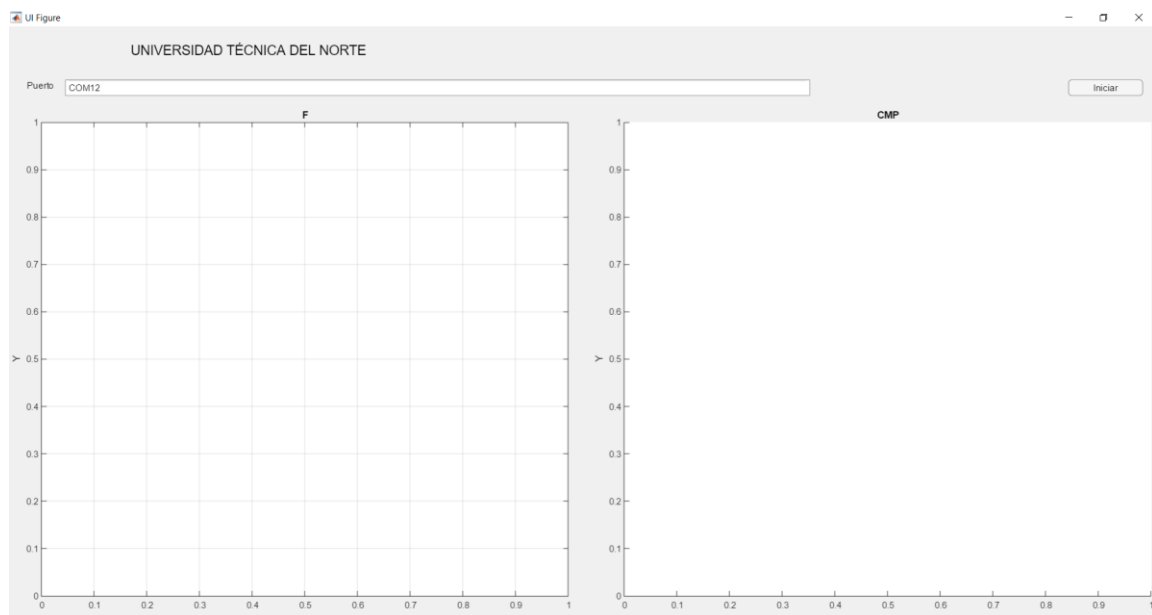


Figura 44. Pantalla del análisis en tiempo real.

### 3.3.6.3. Base de datos

En esta pantalla se presentan los datos registrados de los pacientes evaluados como datos personales: nombre y apellido, cédula, género, edad, altura, peso, fecha y datos de los resultados obtenidos: fuerza de reacción, variaciones del centro de presión, momentos de la placa. Adicionalmente se presentan los datos puros sin procesar de cada celda de carga con su respectivo tiempo. Todo esto ordenados en una tabla como se observa en la figura 45

Los datos de información personal son datos editables que pueden ser modificados directamente desde la tabla y es posible actualizar la nueva información pulsando el botón ACTUALIZAR.

Para eliminar información de un usuario, se debe seleccionar la celda del nombre del usuario y pulsar el botón ELIMINAR, estos datos serán borrados de la base de datos y se podrá ver la tabla actualizada pulsando el botón MOSTRAR DATOS.

Los datos podrán ser visualizados seleccionando el nombre del usuario y pulsando el botón GRAFICAR. En caso de querer observar el comportamiento de cada celda de carga, se procede a copiar los valores de las celdas y pegarlas en el casillero de la parte inferior, así mismo con su respectivo tiempo y pulsar el botón GRAFICAR.

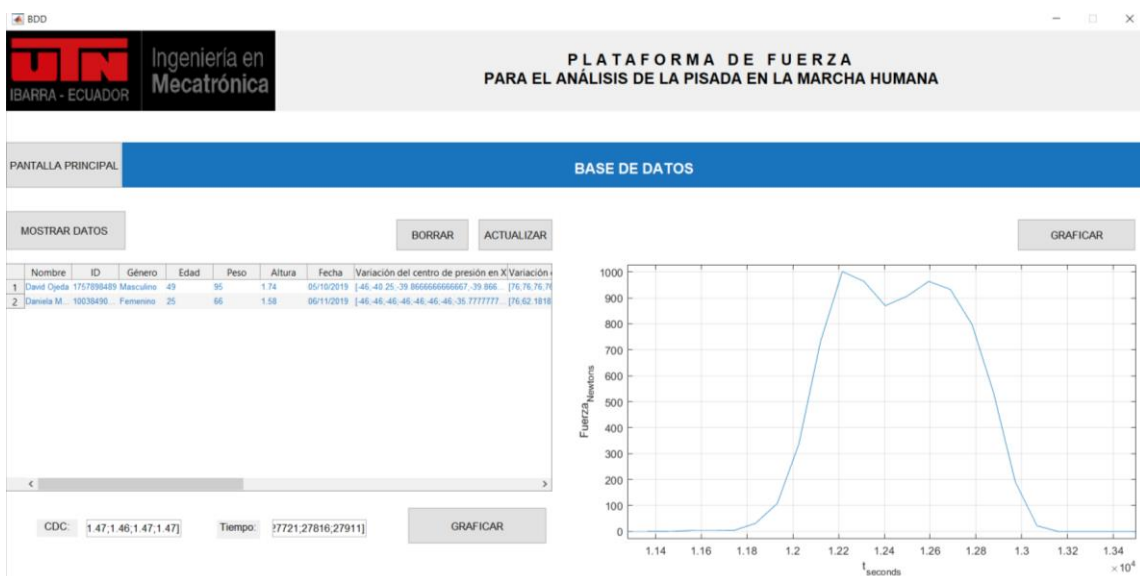


Figura 45. Pantalla de la base de datos.

### 3.3.7. Base de datos MySQL

Es importante tener un registro de los datos ingresados por cada usuario, para poder tener acceso a ellas y poder usarlos nuevamente para un nuevo análisis o simplemente para llevar un historial, es por esto por lo que se crea una base de datos en MySQL el cual es un software libre y puede ser conectado a Matlab y registrar los datos de las celdas de carga directamente.

Para esto, primeramente, se creó la base de datos con las tablas y sus respectivas columnas que representa a las variables a guardar que se muestran en la figura 46, en donde se guardará toda la información ingresada y procesada por el usuario.

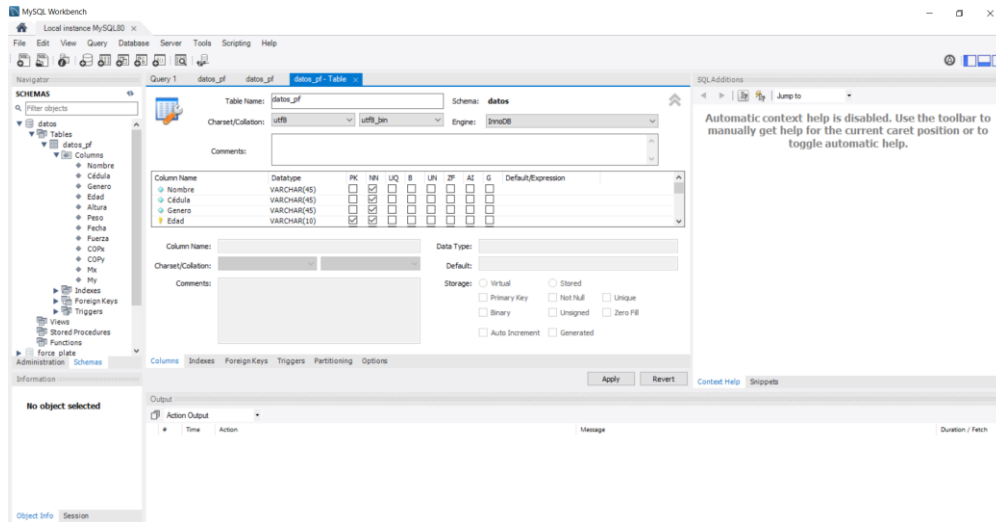


Figura 46. Base de datos en MySQL

### 3.3.7.1. Conexión de MySQL con Matlab

Para esto es necesario del conector ODBC que proporcionan acceso a una base de datos MySQL usando el estándar industrial de Conectividad de Base de Datos Abierta (Open Database Connectivity). En la figura 47 se puede observar la base de datos creada mediante el explorador de base de datos de Matlab.

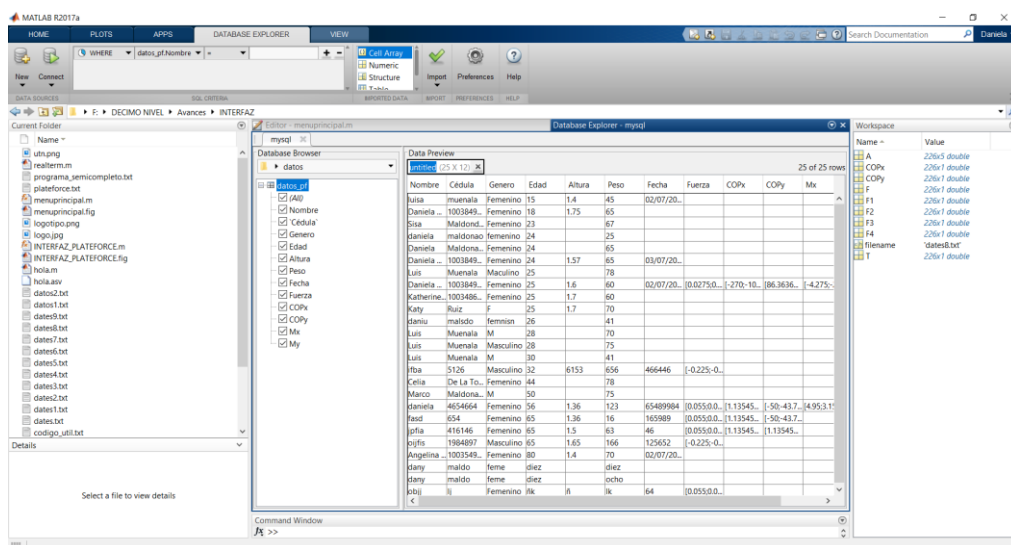


Figura 47. Enlace base de datos MySQL y Matlab

## CAPÍTULO IV

### Pruebas y resultados

#### 4.1. Protocolo de pruebas

Para el análisis de marcha es necesario contar con un protocolo estandarizado que permita obtener los parámetros de interés de forma confiable y eficaz. Cada protocolo depende de factores importantes como el tipo de pacientes a evaluar, la configuración del espacio en donde se realizarán las pruebas, los parámetros que se deseen obtener y la forma en que éstos son presentados [9].

##### 4.1.1. Pista o pasillo

Las dimensiones de la pista o pasillo para realizar las evaluaciones de marcha deben ser suficientes para lograr la ejecución de más de un ciclo completo de la marcha a cadencia libre. Una pista de aproximadamente 4m de longitud puede ser suficiente para ejecutar una marcha natural de dos ciclos completos [25]. Los niños de estaturas menores podrían realizar hasta 4 ciclos completos dependiendo de la longitud de zancada. El análisis debe realizarse para los dos pasos intermedios, de modo que no se incluya el paso inicial ni el final. Así que la plataforma de fuerza deberá estar ubicada en la mitad de la pista o pasillo de prueba.

Las pistas más largas permiten una marcha más natural, es por esto por lo que en laboratorios de Derby Hospitals y University of Nebraska Medical Center se utilizan pistas de 10 o 20 metros.

Cuando el laboratorio se utiliza para el análisis del desempeño deportivo, el ancho de la pista también es un factor importante.

#### **4.1.2. Plataforma de fuerza**

Generalmente, en los laboratorios se obtiene la cinética de un solo paso, cuando lo ideal sería tener la información de estadística de más pasos para asegurar un patrón más típico. Para obtener el paso limpio sobre la plataforma de fuerza, se debe reubicar varias veces al paciente en diferentes posiciones de inicio hasta que el paso se ubique correctamente sobre la plataforma y no interfiera en la naturalidad de marcha del paciente.

#### **4.1.3. Proceso de pruebas**

Las pruebas fueron realizadas con seis personas a un ritmo de marcha normal y rápida sin calzado. Son cinco mujeres y un hombre que se encuentran dentro de un rango de edades de entre 12 a 44 años.

Por varios motivos no se pudo construir la pasarela a la altura de la plataforma de fuerza, así que la plataforma de fuerza estará ubicada sobre el piso, generando una interrupción en la marcha normal, por lo que los resultados obtenidos en el presente trabajo podrían ser diferentes a los resultados arrojados por una plataforma en la que su superficie esté ubicada a nivel del piso.

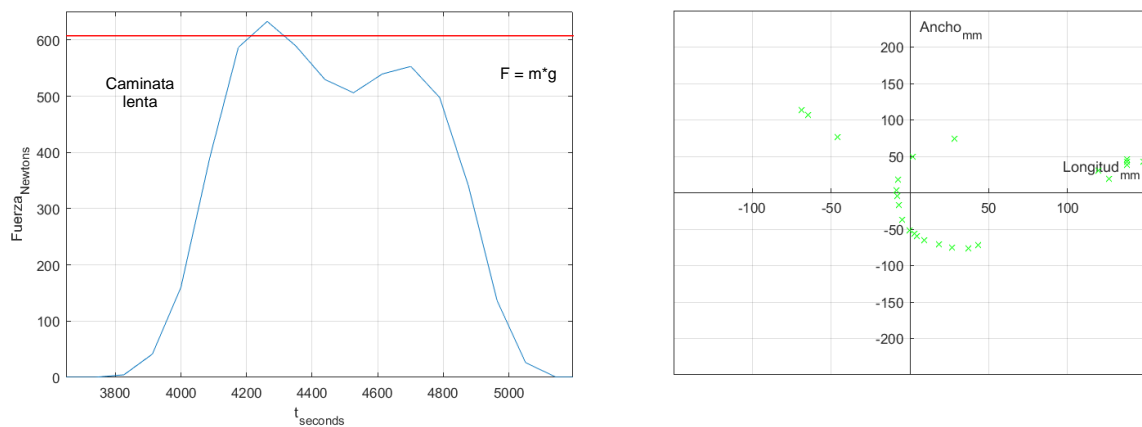
Las pruebas se realizaron de la siguiente manera: el sujeto camina sobre la pista de prueba repetidas veces a una velocidad normal de marcha hasta conseguir una pisada óptima, es decir hasta conseguir que el pie se ubique completamente sobre la plataforma de fuerza tal como se muestra en la figura 48; ninguna parte del pie puede quedar fuera de la plataforma de fuerza porque alteraría los resultados finales. Para la marcha rápida se sigue el mismo proceso.



Figura 48. Ubicación del pie sobre el centro de la plataforma de fuerza durante una marcha normal.

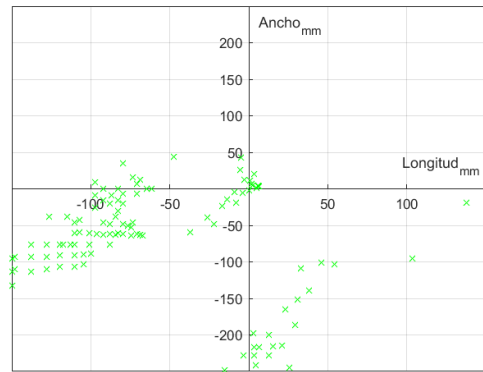
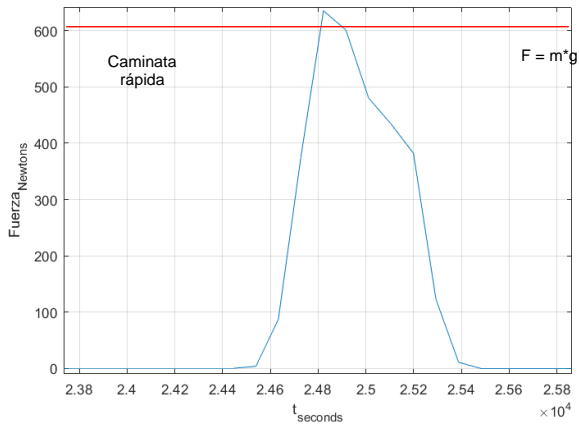
#### 4.1.4. Presentación de resultados

El componente vertical de la fuerza que actúa sobre el pie derecho al caminar sobre la placa de fuerza de todos los voluntarios se muestra en la figura 49, así como su respectiva variación del centro de presión.



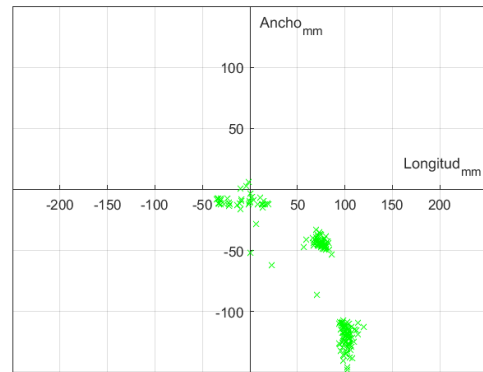
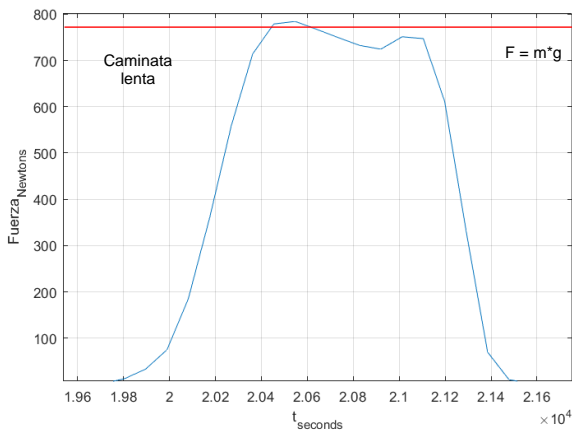
a1)



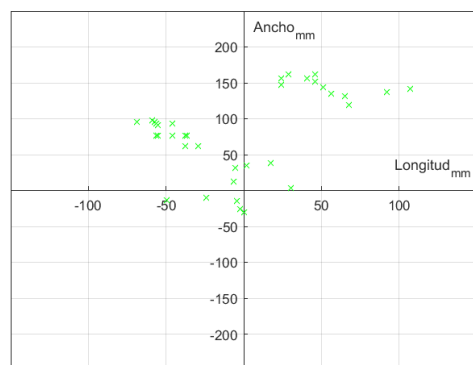
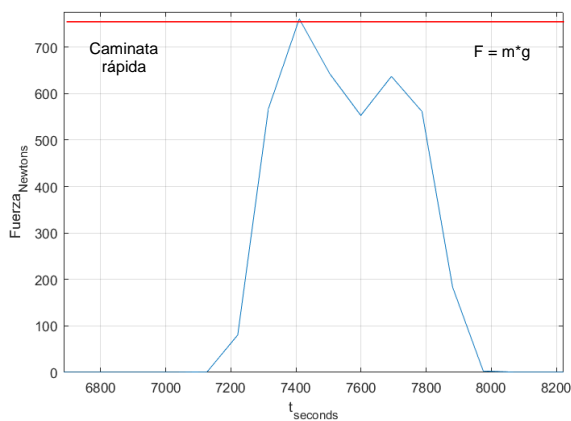


b1)

Fuerza de reacción y variación del centro de presión de a1) la marcha lenta y b1) marcha rápida de una mujer de 27 años con una masa de 62 Kg y una altura de 1.58m.

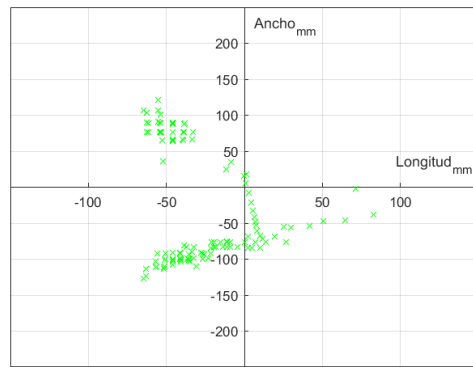
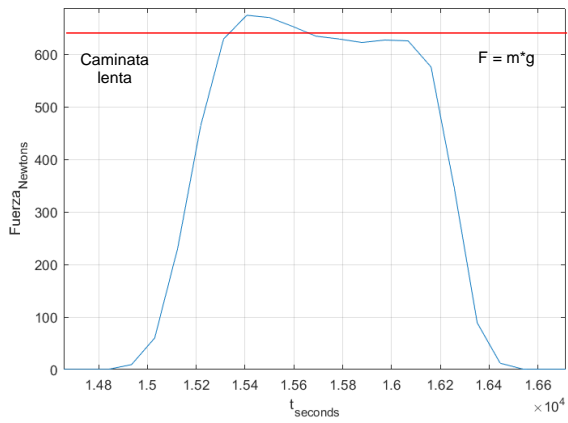


a2)

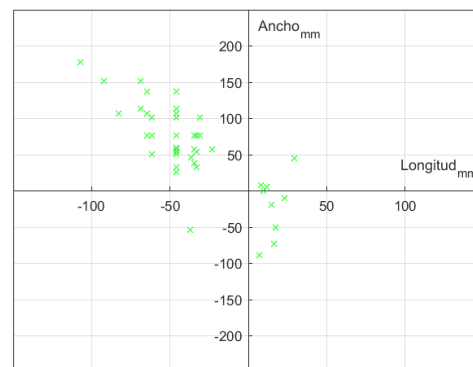
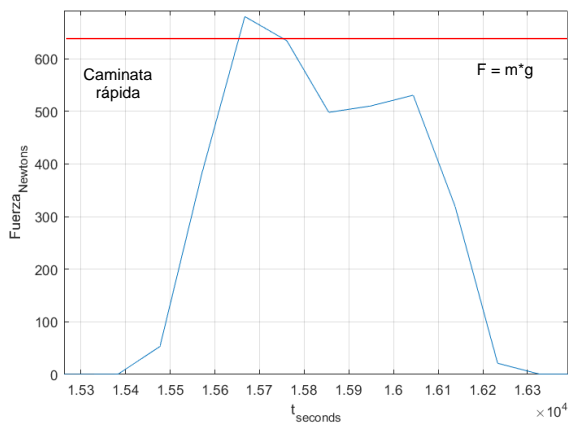


b2)

Fuerza de reacción y variación del centro de presión de a2) la marcha lenta y b2) marcha rápida de una mujer de 44 años con una masa de 78 Kg y una altura de 1.39m.

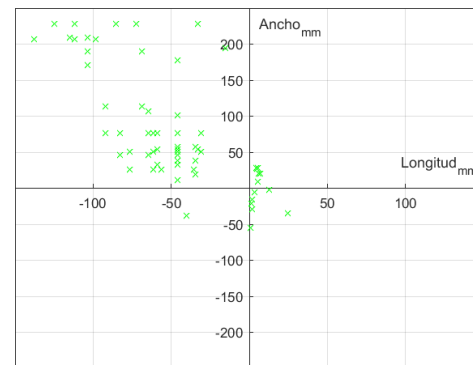
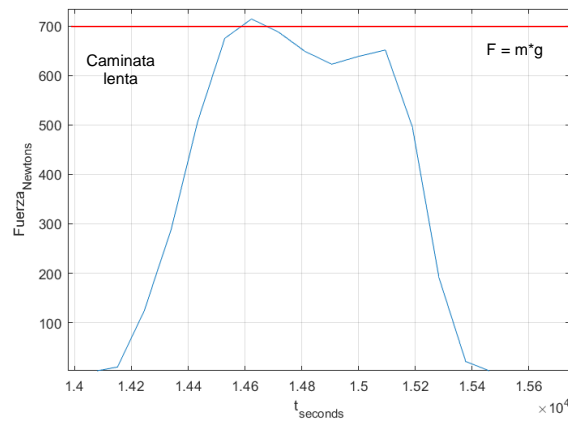


a3)

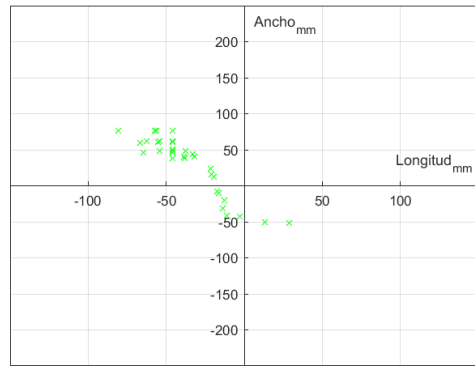
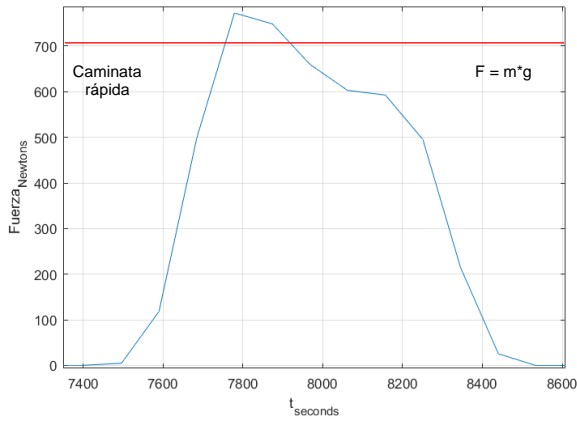


b3)

Fuerza de reacción y variación del centro de presión de a3) la marcha lenta y b3) marcha rápida de una mujer de 24 años con una masa de 63 Kg y una altura de 1.57m.

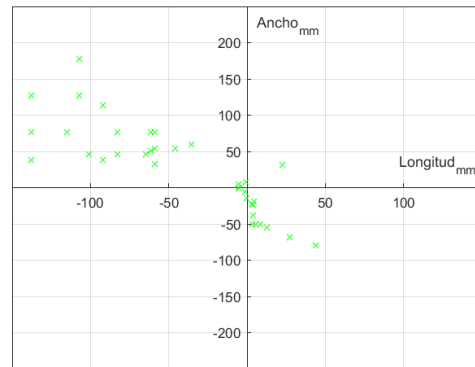
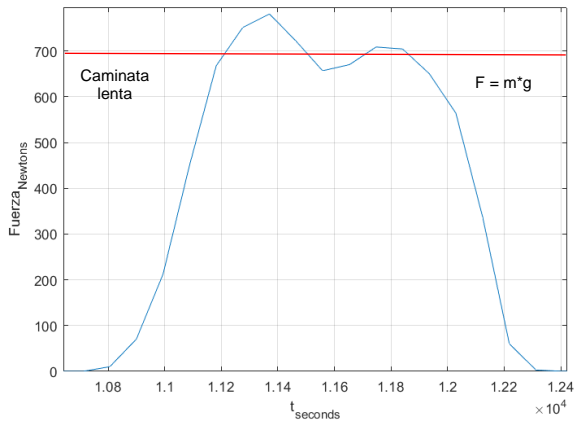


a4)

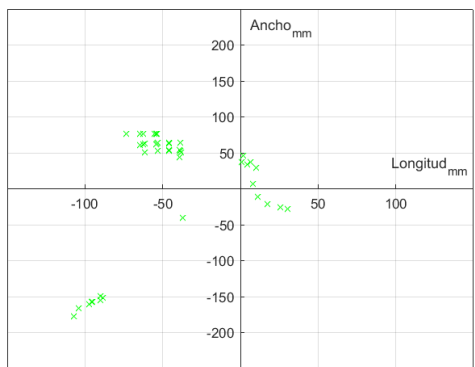
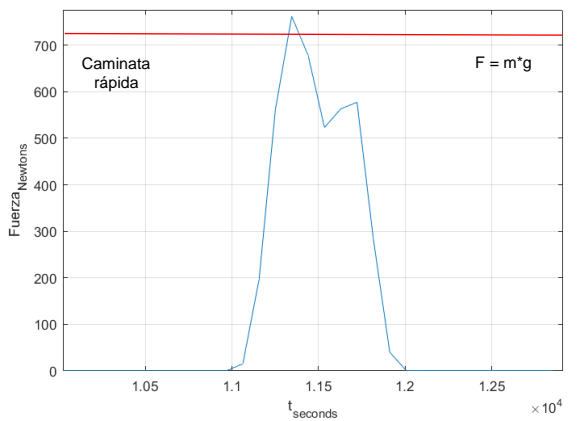


b4)

Fuerza de reacción y variación del centro de presión de a4) la marcha lenta y b4) marcha rápida de una mujer de 23 años con una masa de 71 Kg y una altura de 1.54m.

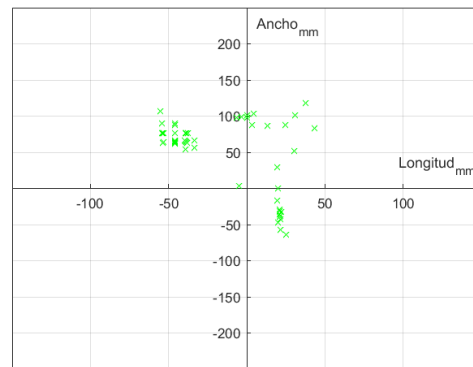
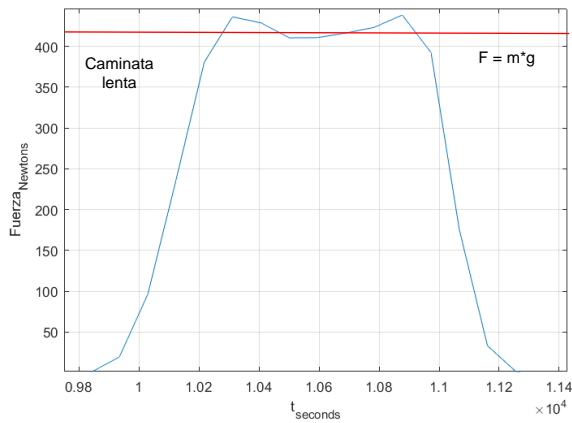


a5)

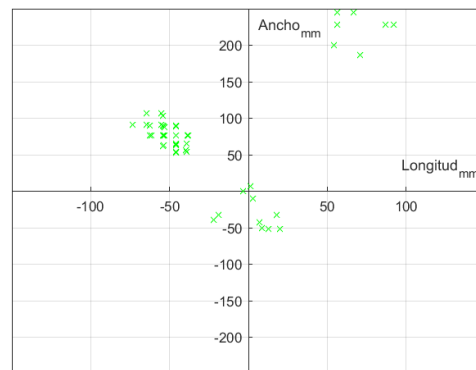
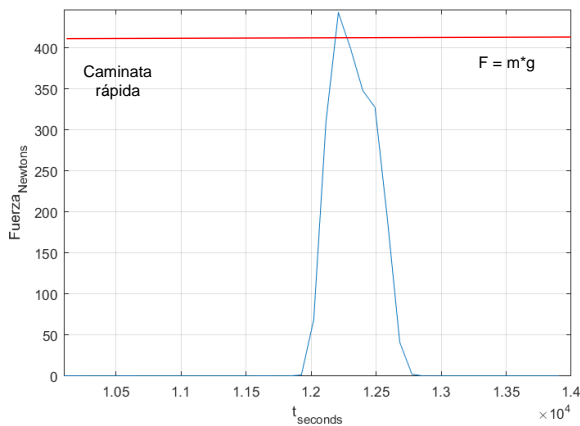


b5)

Fuerza de reacción y variación del centro de presión de a5) la marcha lenta y b5) marcha rápida de un hombre de 28 años con una masa de 73 Kg y una altura de 1.59m.



a6)



b6)

Fuerza de reacción y variación del centro de presión de a5) la marcha lenta y b5) marcha rápida de una mujer de 12 años con una masa de 42 Kg y una altura de 1.47m.

Figura 49. Fuerza de reacción y variación del centro de presión en marcha normal y rápida.

La forma de onda de la fuerza vertical en la mayoría de los casos especialmente en la caminata lenta presenta dos picos donde  $F \approx m * g$  y una caída en el medio donde  $F < m * g$ . Las gráficas se muestran en la figura 49. Ambos picos tienen una amplitud similar cuando se camina a un ritmo lento o medio, pero el segundo pico es más pequeño que el primero cuando la caminata es más rápida, esto se puede afirmar también observando los valores de las curvas que se muestran en la tabla 7.

La fuerza aumenta desde cero cuando el peso se transfiere desde la parte posterior al pie delantero, y vuelve a cero cuando el peso se transfiere al otro pie al final de la zancada.

Tabla 7. Valores de la fuerza de reacción de la pisada en marcha lenta o normal.

<b>Valores de la fuerza de reacción en cada fase de la pisada en marcha lenta o normal</b>			
	<b>Choque del talón (N)</b>	<b>Apoyo total del pie (N)</b>	<b>Despegue (N)</b>
<b>Paciente 1</b>	630	505	553
<b>Paciente 2</b>	780	727	753
<b>Paciente 3</b>	681	625	631
<b>Paciente 4</b>	720	626	653
<b>Paciente 5</b>	778	657	707
<b>Paciente 6</b>	469	423	476

Tabla 8. Valores de la fuerza de reacción de la pisada en marcha rápida.

<b>Valores de la fuerza de reacción en cada fase de la pisada en marcha rápida</b>			
	<b>Choque del talón (N)</b>	<b>Apoyo total del pie (N)</b>	<b>Despegue (N)</b>
<b>Paciente 1</b>	640	480	387
<b>Paciente 2</b>	760	547	640
<b>Paciente 3</b>	684	500	531
<b>Paciente 4</b>	779	610	590
<b>Paciente 5</b>	764	520	579
<b>Paciente 6</b>	491	391	358

En la tabla 7 se observa que en la primera fase de la pisada se presenta la mayor fuerza de apoyo, en especial cuando el paciente camina a mayor velocidad como muestran los valores de

la tabla 8, constatando que el despegue en este tipo de caminata genera una menor fuerza en comparación a la fuerza generada cuando se apoya el talón. En la marcha lenta el primer pico es mayor, pero en menor porcentaje.

#### 4.2. Materiales y costos de la implementación del proyecto.

Para la implementación de este proyecto se usaron los siguientes materiales con un costo que se detalla en la tabla 8.

Tabla 9. Tabla de costos para la implementación de la plataforma de fuerza

<b>Material</b>	<b>cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Placas de aluminio</b>	1	180	180
<b>Celda de carga</b>	4	25	100
<b>Transmisor HX711</b>	4	4	16
<b>Arduino UNO</b>	1	12	12
<b>Caja para circuito</b>	1	5	5
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 313.00</b>

## CAPÍTULO V

### 5.1. Conclusiones

Se verificó que las celdas de carga seleccionadas tienen una buena precisión a muy bajo costo. Así también, el aluminio presenta una buena resistencia mecánica y es ligero, las deformaciones son mínimas y aporta buena linealidad, baja histéresis y permite obtener una frecuencia natural más alta que las frecuencias de las señales a medir. Además, es un material comercial.

La plataforma de fuerza se sobredimensionó en un 25%, debido a que es el primer prototipo y se decidió asegurar el comportamiento rígido ante las cargas que va a soportar. Además, el marco añadido alrededor de la placa superior para ocultar y proteger el sistema electrónico genera una excesiva robustez y peso, lo que causa inconvenientes al transportarlo.

Los resultados de la calibración de las celdas de carga mostraron que la plataforma presenta un desempeño adecuado y es eficiente para la medición de la fuerza de reacción, momentos y variación del centro de presión. La histéresis y linealidad mostraron los resultados esperados, conociendo que en general la plataforma de fuerza está compuesta tanto en su parte mecánica y electrónica por materiales de bajo costo.

Las pruebas arrojaron resultados similares a investigaciones en donde evalúan la caminata lenta y rápida, la forma de onda de la fuerza vertical al caminar lentamente genera dos picos de amplitudes similares, diferente a la forma de onda registrada al caminar a ritmo acelerado en donde el primer pico que corresponde al apoyo del talón es mayor con relación al segundo

pico correspondiente al despegue del pie. Estos resultados se repiten en distintas investigaciones lo que respalda el correcto desempeño de la plataforma de fuerza.

Se ha demostrado que se puede construir una plataforma de fuerza no comercial económica para proporcionar datos de fuerza de reacción de componentes verticales y variaciones del centro de presión que sean similares en calidad a las versiones comerciales.

## **5.2. Recomendaciones**

Una de las limitaciones más importantes que posee este prototipo es que no se pueden evaluar las fuerzas anteroposterior y medio-lateral, por lo que acoplar celdas de carga triaxiales, mejoraría los resultados finales y la plataforma se extendería para diferentes aplicaciones.

Una posible mejora sobre las placas de fuerza no comerciales sería incluir más de cuatro celdas de carga entre las placas para aumentar la frecuencia de vibración y, por lo tanto, aumentar la respuesta de frecuencia útil, lo que puede mejorar la calidad de la placa y ampliar su aplicación en el análisis de carrera y salto.

Realizar una interfaz que tenga un entorno más simple para el usuario, y que también pueda ejecutarse bajo cualquier sistema operativo.



## Bibliografía

- [1] S. Collado, *Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. Influencia de transporte de carga.*, Madrid, 2002.
- [2] M. Guimarães, P. Vieira y H. Martins, «Development of a low cost force platform for biomechanical parameters,» *Research on Biomedical Engineering*, pp. 259-268, 2017.
- [3] R. Bausa, A. Dalmau, J. Barrachina y M. Peydro, «Kinetic gait analysis in sequels of hindfoot injuries,» *Foot and Ankle Surgery*, pp. 63-66, 2007.
- [4] S. Vásquez, F. Gómez, A. Vadillo y L. Rodríguez, «Análisis de la marcha. Factores Moduladores,» vol. 1, 2003.
- [5] A. Forti y M. Duarte, «Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos,» *Brazilian Journal of Motor Behavior*, vol. 6, nº 1, pp. 56-61, 2011.
- [6] A. García y A. Valverde, «google books,» 2016. [En línea]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=ZqZ0DQAAQBAJ&dq=Desarrollo+de+Plantillas+Instrumentadas+de+Bajo+Coste+para+Medici%C3%B3n+de+la+Pisada:++XXI+Congreso+Nacional+de+Ingenier%C3%ADa+Mec%C3%A1nica&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.ec/books?id=ZqZ0DQAAQBAJ&dq=Desarrollo+de+Plantillas+Instrumentadas+de+Bajo+Coste+para+Medici%C3%B3n+de+la+Pisada:++XXI+Congreso+Nacional+de+Ingenier%C3%ADa+Mec%C3%A1nica&source=gbs_navlinks_s).
- [7] J. Daza, «Editorial Médica Panamericana,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.medicapanamericana.com/Libros/Libro/3969/Evaluacion-clinica-funcional-del-movimiento-corporal-humano.html>.
- [8] S. Collado, F. Gómez y A. Álvarez, «Análisis de la marcha. Factores Moduladores,» *Biociencias*, vol. 1, pp. 1-22, 2003.
- [9] A. Villa, E. Gutiérrez y J. Pérez, «Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría,» *Revista Ingeniería Biomédica*, pp. 16 - 26, 2008.
- [10] S. Wardoyo, P. Hutajulu y O. Togibasa, «A Development of Force Plate for Biomechanics Analysis of Standing and Walking,» *Asian Physics Symposium*, pp. 1-4, 2016.
- [11] M. Piriz, C. Aquino y O. Lombardero, «Design of a Dynamometric Platform for analysis of the center of pressure in the human gait,» *Revista Argentina de Bioingeniería*, vol. 21, nº 2, pp. 52-57, 2017.
- [12] F. Plas, E. Viel, Y. Blanc y J. Masip, «La marcha humana: cinesiología dinámica, biomecánica y patomecánica,» 1996.
- [13] S. Collado, «Plataformas dinamométricas - Aplicaciones,» *Biociencias*, 2005.
- [14] ASTM F3109-16, «ASTM INTERNATIONAL Helping our world better,» 5 Enero 2019. [En línea]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [15] M. Whittle, «Introduction to Gait Analysis,» Oxford, 2007.
- [16] J. Ache, L. Borges, D. Da Silva, M. Diederichs, S. Domenech, P. Kauffmann y N. Gomez, «Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation,» *Artigo Original*, pp. 367-372, 2011.
- [17] Load Cell, «Omega Company,» 20 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <http://www.omega.com/prodinfo/LoadCells.html>.

- [18] AVIA Semiconductor, «Sparkfun,» 21 Enero 2019. [En línea]. Available: [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711\\_english.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf).
- [19] Realterm: Serial Terminal, «Realterm: Serial Terminal,» 13 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://realterm.sourceforge.io/>.
- [20] J. Esqueda, «SCRIBD,» 15 Febrero 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/81731243/Matlab-e-Interfaces-Graficas>.
- [21] B. Gustavo, «¿Qué es MySQL? Explicación detallada para principiantes,» 13 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-mysql/>.
- [22] J. Abian, L. Alegre, A. Lara, L. Jiménez y X. Aguado, «FUERZAS DE REACCIÓN DEL SUELO EN PIES CAVOS Y PLANOS,» *Archivos de medicina del deporte*, vol. XXII, pp. 285-292, 2005.
- [23] R. Avila, L. Prado y E. Gonzáles, «Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: Mexico, Cuba, Colombia, Chile,» Guadalajara, 2007.
- [24] L. Cuesta y J. Lema, «“CgMed”: Diseño y construcción de plataforma,» *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 3, n° 6, pp. 26-36, Julio 2009.
- [25] A. Braidot, L. Cian, A. Cherniz, D. Gallardo y J. Spinetto, «Desarrollo de un sistema de viedografía digital para analisis de la marcha,» *Memorias II congreso latinoamericano de ingeniería biomédica*, 2001.
- [26] B. Bellini, «Sensores de presión utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la posturografía,» *Núcleo de ingeniería biomédica*, 2009.
- [28] JAVIER, «PANDORAFMS: Monitoring blog,» 18 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://pandorafms.com/blog/es/tipos-de-bases-de-datos-y-las-mejores-bases-de-datos-del-2016/>.
- [29] J. Guevara, «Monografías.com,» 21 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos13/tramat/tramat.shtml>.
- [30] M. Ashby y D. Jones, *Engineering Materials 2*, Oxford: Pergamon Press, 1992.

## ANEXOS

### Anexo 1. Código de Arduino para la adquisición de datos.

```
#include "HX711.h" // incluir librerías

// Definir pines para los datos y reloj
#define DOUT A1
#define CLK A0

#define DOUT1 A3
#define CLK1 A2

#define DOUT2 A5
#define CLK2 A4

HX711 balanza(DOUT, CLK);
HX711 balanza1(DOUT1, CLK1);
HX711 balanza2(DOUT2, CLK2);
HX711 balanza3(4, 5);

//Definir variables
float F1;
float F2;
float F3;
float F4;
unsigned long tiempo1 = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  balanza.read();
  balanza1.read();
  balanza2.read();
  balanza3.read();
  balanza.set_scale(6261.7272); // Establecer la escala
  balanza.tare(); // El peso actual es considerado Tara.
  balanza1.set_scale(6711.8181); // Establecer la escala
  balanza1.tare();
  balanza2.set_scale(5104.3636); // Establecer la escala
  balanza2.tare();
  balanza3.set_scale(-5333.780); // Establecer la escala
  balanza3.tare();
}

// guardar en las variables los datos adquiridos
void loop() {
  F1 = balanza.get_units(), 2;
  F2 = balanza1.get_units(), 2;
  F3 = balanza2.get_units(), 2;
  F4 = balanza3.get_units(), 2;
  tiempo1 = millis();

  // Imprimir lectura
```

```

Serial.print(F1);
Serial.print(",");
Serial.print(F2);
Serial.print(",");
Serial.print(F3);
Serial.print(",");
Serial.print(F4);
Serial.print(",");
Serial.println(tiempo1);
}

```

## Anexo 2. Código de Arduino para la evaluación en tiempo real.

```

#include "HX711.h" // Incluir librería

// Definir pines de datos y reloj
#define DOUT A1
#define CLK A0

#define DOUT1 A3
#define CLK1 A2

#define DOUT2 A5
#define CLK2 A4

// Definir pines para cada celda de carga
HX711 balanza(DOUT, CLK);
HX711 balanza1(DOUT1, CLK1);
HX711 balanza2(DOUT2, CLK2);
HX711 balanza3(4, 5);

// Definir Variables
float F1;
float F2;
float F3;
float F4;
float F;
byte inicio = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  balanza.set_scale(6261.7272); // Establecer la escala
  balanza.tare(); //El peso actual es considerado Tara.
  balanza1.set_scale(6711.8181); // Establecer la escala
  balanza1.tare();
  balanza2.set_scale(5104.3636); // Establecer la escala
  balanza2.tare();
  balanza3.set_scale(-5333.780); // Establecer la escala
  balanza3.tare();
  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // pin 2 usado como interrupcion
  attachInterrupt(0, pulso, FALLING);
  while (1)
  {
    if (Serial.available())

```

```

    {
      char c = Serial.read();
      inicio = c == 'a';
      if (inicio)
        break;
    }
  }
}

void loop()
{
  if (inicio)
  {
    // obtener datos de cada celda de carga
    F1 = balanza.get_units(), 2;
    F2 = balanza1.get_units(), 2;
    F3 = balanza2.get_units(), 2;
    F4 = balanza3.get_units(), 2;

    // Imprimir datos
    Serial.println(F1);
    Serial.println(F2);
    Serial.println(F3);
    Serial.println(F4);

    if (inicio == 2)
    {
      Serial.println(0);
      inicio = 0;
    }
    else
      Serial.println(inicio);
    delay(10);
  }
}

void pulso()
{
  if (digitalRead(2) == 0)
    inicio = 2;
}

```

### Anexo 3. Código de Matlab (Interfaz)

```
function varargout = INTERFAZ_PLATEFORCE(varargin)

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @INTERFAZ_PLATEFORCE_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @INTERFAZ_PLATEFORCE_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

function INTERFAZ_PLATEFORCE_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = INTERFAZ_PLATEFORCE_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function axes7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles) % Logo UTN
imagen = imread('logo.jpg');
image(imagen)
axis off
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function edit1_nombre_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit1_nombre_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_ID_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit2_ID_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function popumenu1_genero_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```

function popupmenu1_genero_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_edad_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_edad_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_peso_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_peso_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_altura_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_altura_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_fecha_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_fecha_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1_collecting.
function pushbutton1_collecting_Callback(hObject, eventdata, handles)
global hrealterm
hrealterm=actxserver('realterm.realtermintf'); % Inicia Realterm como servidor
hrealterm.baud=9600; % velocidad del arduino
hrealterm.caption='Matlab Realterm Server';
hrealterm.windowstate=0; %minimized
hrealterm.Port='12 = \USBSE000'; %seleccionar puerto
hrealterm.PortOpen=1; %abrir el puerto COM
hrealterm.HalfDuplex=1;
hrealterm.FlowControl=0;
hrealterm.LinefeedIsNewline=0;
hrealterm.DisplayAs=1;
hrealterm.CaptureFile='F:\DECIMO NIVEL\Avances\INTERFAZ\plateforce.txt'; %seleccionar carpeta de archivo
invoke(hrealterm,'StartCapture'); % Inicia captura de datos

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton2_fin.
function pushbutton2_fin_Callback(hObject, eventdata, handles)
global hrealterm
invoke(hrealterm,'stopCapture');      % detiene captura de datos
invoke(hrealterm,'close');           % cerrar Realterm

% --- Executes on button press in pushbutton3_evaluar.
function pushbutton3_evaluar_Callback(hObject, eventdata, handles)
global A
global F1
global F2
global F3
global F4
global T
filename = 'plateforce.txt';
A=importdata(filename);      % importar hoja de datos

f1 = A(1:end,1);           % Seleccionar la 1° columna
n1=45/100*length(f1);
f1(1:n1/2)=[];
f1(end:-1:end-n1/2)=[];
F1 = f1*9.81;             % guardar en variables las columnas de datos

f2 = A(1:end,2);
n2=45/100*length(f2);
f2(1:n2/2)=[];
f2(end:-1:end-n2/2)=[];
F2 = f2*9.81;

f3 = A(1:end,3);
n3=45/100*length(f3);
f3(1:n3/2)=[];
f3(end:-1:end-n3/2)=[];
F3 = f3*9.81;

f4 = A(1:end,4);
n4=45/100*length(f4);
f4(1:n4/2)=[];
f4(end:-1:end-n4/2)=[];
F4 = f4*9.81;

T = A(1:end,5);
n=45/100*length(T);
T(1:n/2)=[];
T(end:-1:end-n/2)=[];

F = ((F1+F2+F3+F4)/4);      % Fuerza de Reacción (FR)

format shortG
COPx = 23*(((F4+F2)-(F3+F1))./F)/2; % Centro de Presión en x (COP)
format shortG
COPy = 38*(((F1+F2)-(F3+F4))./F)/2; % Centro de Presión en y (COP)

Mx = 19*(F3+F4-F2-F1);      % Momento en el eje 'x'
My = 11.5*(-F3+F4+F2-F1);   % Momento en el eje 'y'

```



```

% Gráfica del la fuerza de reacción y del peso de usuario
peso = get(handles.edit5_peso,'String');
peso1 = str2num(peso);
p = peso1*9.81;
axes(handles.axes1);
zoom on;
cla;
plot(T,F)
hold on
plot (T,ones(size(T))*p)
legend('FR','W')
xlabel('t_{seconds}')
ylabel({'Fuerza_{Newtons}}')
grid on

% Gráfica del centro de presion
axes(handles.axes2);
cla;
plot (COPx,COPy,'Xg')
ax = gca; ax.XAxisLocation = 'origin'; ax.YAxisLocation = 'origin';
xlim([-150 150]);
ylim([-250 250]);
xlabel({'Longitud_{mm}}')
ylabel({'Ancho_{mm}}')
grid on

% Conversión de valores numéricos a String
vectorF = mat2str(F);
vectorCOPx = mat2str(COPx);
vectorCOPy = mat2str(COPy);
vectorMx = mat2str(Mx);
vectorMy = mat2str(My);

% Mostrar valores en pantalla
set(handles.edit8_fuerza,'String',vectorF);
set(handles.edit9_copx,'String',vectorCOPx);
set(handles.edit10_copy,'String',vectorCOPy);
set(handles.edit11_mx,'String',vectorMx);
set(handles.edit12_my,'String',vectorMy);

function edit8_fuerza_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit8_fuerza_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_copx_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit9_copx_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit10_copy_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_mx_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit11_mx_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit12_my_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit12_my_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit13_t_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit13_t_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

%% Guardar datos en la base de datos
function pushbutton4_guardar_Callback(~, eventdata, handles)
global F1
global F2
global F3
global F4
global T

% Guardar los datos de los cuadros de texto en variables
dato1 = get(handles.edit1_nombre,'String');
dato2 = get(handles.edit2_ID,'String');
contents = get(handles.popupmenu1_genero,'String');
dato3 = contents{get(handles.popupmenu1_genero,'Value')};
dato4 = get(handles.edit4_edad,'String');
dato5 = get(handles.edit5_peso,'String');
dato6 = get(handles.edit6_altura,'String');
dato7 = get(handles.edit7_fecha,'String');
dato8 = get(handles.edit8_fuerza,'String');
dato9 = get(handles.edit9_copx,'String');
dato10 = get(handles.edit10_copy,'String');
dato11 = get(handles.edit11_mx,'String');
dato12 = get(handles.edit12_my,'String');
dato13 = mat2str(F1(1:end));
dato14 = mat2str(F2(1:end));
dato15 = mat2str(F3(1:end));
dato16 = mat2str(F4(1:end));
dato17 = mat2str(T(1:end));

```

```

%-----INICIAR CONEXION-----

conexion = database('mysql','root',''); % Iniciar conexión con la base de datos
datosenviar = {dato1,dato2,dato3,dato4,dato5,... % Datos a guardar
    dato6,dato7,dato9,dato10,dato11,...
    dato12,dato13,dato14,dato15,...
    dato16,dato8,dato17};
colguardar ={'Nombre','ID','Género','Edad','Peso'... %Nombre de las columnas de la base de datos
    ,'Altura','Fecha','COPx','COPy','Mx',...
    'My','CDC1','CDC2','CDC3','CDC4','Fuerza','T'};
insert(conexion,'datos_pf',colguardar,datosenviar); % Guardar en la base de datos
close(conexion); % Cerrar conexion
%-----FIN DE LA CONEXION-----
msgbox('Se ha registrado correctamente','Mensaje'); % Mensaje

%% Cerrar programa
function pushbutton10_Callback(hObject, eventdata, handles)

close(handles.output);

%% Abrir Aplicación
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)

appdesigner
appdesigner('Balanza_temp.mlapp')

%% Abrir Base de datos
function Untitled_2_Callback(hObject, eventdata, handles)

close
BDD

%% Nuevo registro
function reset_Callback(hObject, eventdata, handles)
limpia = '';
set(handles.edit1_nombre,'string',limpia);
set(handles.edit2_ID,'string',limpia);
cla(handles.popupmenu1_genero,'reset')
set(handles.edit4_edad,'string',limpia);
set(handles.edit5_peso,'string',limpia);
set(handles.edit6_altura,'string',limpia);
set(handles.edit7_fecha,'string',limpia);
set(handles.edit8_fuerza,'string',limpia);
set(handles.edit9_copx,'string',limpia);
set(handles.edit10_copy,'string',limpia);
set(handles.edit11_mx,'string',limpia);
set(handles.edit12_my,'string',limpia);
cla(handles.axes1,'reset')
cla(handles.axes2,'reset')

```

## Anexo 4. Código Base de Datos (Matlab)

```
function varargout = BDD(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @BDD_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @BDD_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

function BDD_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = BDD_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

%% Importar datos de la base de datos
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

%Set preferences with setdbprefs.
setdbprefs('DataReturnFormat', 'cellarray');
setdbprefs('NullNumberRead', 'NaN');
setdbprefs('NullStringRead', 'null');

%Make connection to database. Note that the password has been omitted.
%Using ODBC driver.
conn = database('mysql', 'root', '');

%Read data from database.
curs = exec(conn, ['SELECT datos_pf.Nombre'...
                  ', datos_pf.ID'...
                  ', datos_pf.`Género`'...
                  ', datos_pf.Edad'...
                  ', datos_pf.Peso'...
                  ', datos_pf.Altura'...

```

```

    ' , datos_pf.Fecha'...
    ' , datos_pf.COPx'...
    ' , datos_pf.COPy'...
    ' , datos_pf.Mx'...
    ' , datos_pf.My'...
    ' , datos_pf.`CDC1`'...
    ' , datos_pf.`CDC2`'...
    ' , datos_pf.`CDC3`'...
    ' , datos_pf.`CDC4`'...
    ' , datos_pf.Fuerza'...
    ' , datos_pf.T'...
    ' FROM `datos`.datos_pf ');

curs = fetch(curs);
close(curs);

%Assign data to output variable
untitled = curs.Data;
set(handles.uitable1,'data',untitled)
%Close database connection.
close(conn);

%Clear variables
clear curs conn

function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles) % Muestra logo UTN

imagen = imread('logo.jpg');
image(imagen)
axis off

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles) % Regresa a la pantalla principal

close
INTERFAZ_PLATEFORCE

%% Graficar datos guardados
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

Fuerza = get(handles.edit1,'String');
F = str2num(Fuerza);

Tiempo = get(handles.edit2,'String');
T = str2num(Tiempo);

axes(handles.axes3);
zoom on;
cla;
plot(T,F)
xlabel('t_{seconds}')
ylabel({'Fuerza_{Newtons}}')
grid on

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

%% Seleccionar celdas o filas
function [Index] = uitable1_CellSelectionCallback(hObject, eventdata, handles)

if isempty(eventdata.Indices)
    return
end
 hObject.UserData = eventdata.Indices;

%% Boton borrar de la base de datos
function btn_borrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Data
%global data

Index = handles.uitable1.UserData; %I don't know what your UI table handle is.
Data = handles.uitable1.Data;
r = Data(Index(1),:);
s = r{1,2};
% Data(Index(1),:) = [];
set(handles.uitable1,'Data',Data)
% data = set(handles.uitable1,'Data');

conexion = database('mysql','root','');
sqlquery = ['delete FROM datos.datos_pf where ID = ' '' s '''];
curs = exec(conexion,sqlquery);
close(conexion)
%-----FIN DE LA CONEXION-----
msgbox('    Información eliminada','Mensaje');

%% Actualizar base de datos
function btn_actualizar_Callback(hObject, eventdata, handles)
global data
Index = handles.uitable1.UserData; % variable de datos del usuario seleccionado
data = handles.uitable1.Data;
a = data(Index(1),:);
b = a{1,2};

c=a{1,1} % the first column
c1=a{1,2}
c2=a{1,3}
c3=a{1,4}
c4=a{1,5}
c5=a{1,6}

```

```

c6=a{1,7}
c7=a{1,8}
c8=a{1,9}
c9=a{1,10}
c10=a{1,11}
c11=a{1,12}
c12=a{1,13}
c13=a{1,14}
c14=a{1,15}
c15=a{1,16}
c16=a{1,17}
%
% % %-----INICIAR CONEXION-----
%
conexion = database('mysql','root','');
colnames ={'Nombre','ID','Género','Edad','Peso','Altura','Fecha','COPx'...
           ',COPy','Mx','My','CDC1','CDC2','CDC3','CDC4','Fuerza','T'};
datosenviar = {c,c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8,c9,c10,c11,c12,c13,c14,c15,c16};
tablename = 'datos_pf';
whereclause = ['WHERE ID = ' '' b '''];
update(conexion,tablename,colnames,datosenviar,whereclause)
close(conexion)
%-----FIN DE LA CONEXION-----
msgbox('Actualización completa','Mensaje');

```

```

%% Graficar automaticamente los datos guardados
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
global data
Index = handles.uitable1.UserData;
data = handles.uitable1.Data;
a = data(Index(1),:);
s = a{1,16};
u = a{1,17};

F = str2num(s);

T = str2num(u);

axes(handles.axes3);
zoom on;
cla;
plot(T,F)
xlabel('t_{seconds}')
ylabel({'Fuerza_{Newtons}}')
grid on

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

## Anexo 5. Código para la evaluación en tiempo real (MATLAB)

```
classdef Balanza_temp < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        UIFigure          matlab.ui.Figure
        UIAxes             matlab.ui.control.UIAxes
        PuertoEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
        PuertoEditField     matlab.ui.control.EditField
        UNIVERSIDADTCNICADELNORTELabel  matlab.ui.control.Label
        IniciarButton      matlab.ui.control.Button
        UIAxes2            matlab.ui.control.UIAxes
    end

    methods (Access = private)

        function Y = correct(app,X)
            if X(100)>200 | X(100)<-200
                X(100)=X(99);
            end
            Y=X;
        end

    end

    methods (Access = private)
        % Button pushed function: IniciarButton
        function IniciarButtonPushed(app, event)
            parada=1;

            % Inicio del puerto Serial

            delete(instrfind({'port'},{app.PuertoEditField.Value;}));

            puerto_serial=serial(app.PuertoEditField.Value)
            puerto_serial.BaudRate=9600;
            fopen(puerto_serial)

            % Tiempo de estabilización

            pause(5);
            fprintf(puerto_serial,'%c','a');
            %     pause(1);

            % Variables iniciales para almacenar los sensores

            F1 = zeros(1,100);
            F2 = zeros(1,100);
            F3 = zeros(1,100);
            F4 = zeros(1,100);

            % Ciclo principal para lectura del sistema

            hold(app.UIAxes2)
            app.IniciarButton.Enable='off';
```



```

while (parada)

    for i=1:99
        F1(i) = F1(i+1);
        F2(i) = F2(i+1);
        F3(i) = F3(i+1);
        F4(i) = F4(i+1);
    end

    F1(100) = fscanf(puerto_serial,'%f');
    F1(80) = mean(F1(81:100));
    F1 = correct(app,F1);

    F2(100) = fscanf(puerto_serial,'%f');
    F2(80) = mean(F2(81:100));
    F2 = correct(app,F2);

    F3(100) = fscanf(puerto_serial,'%f');
    F3(80) = mean(F3(81:100));
    F3 = correct(app,F3);

    F4(100) = fscanf(puerto_serial,'%f');
    F4(80) = mean(F4(81:100));
    F4 = correct(app,F4);

    parada = round(fscanf(puerto_serial,'%f'));

    F = (F1+F2+F3+F4)/4;
    COPx = 45*(((F1+F4)-(F2+F3))./F)/2;
    COPy = 25*(((F4+F3)-(F2+F1))./F)/2;

    plot(app.UIAxes,F(1:80))

    ylim(app.UIAxes2,[-50 50])
    xlim(app.UIAxes2,[-50 50])
    cla(app.UIAxes2)
    plot(app.UIAxes2,COPx(59:79),COPy(59:79),'*b')
    plot(app.UIAxes2,COPx(80),COPy(80),'*r')

    pause(0.01);

end
fclose(puerto_serial)
app.IniciarButton.Enable='on';

end
end
% App initialization and construction
methods (Access = private)
% Create UIFigure and components
function createComponents(app)
% Create UIFigure
app.UIFigure = uifigure;
app.UIFigure.Position = [100 100 640 480];
app.UIFigure.Name = 'UI Figure';

```

```

% Create UIAxes
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIAxes, 'F')
xlabel(app.UIAxes, 't')
ylabel(app.UIAxes, 'Y')
app.UIAxes.Box = 'on';
app.UIAxes.XGrid = 'on';
app.UIAxes.YGrid = 'on';
app.UIAxes.Position = [1 1 309 372];
% Create PuertoEditFieldLabel
app.PuertoEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.PuertoEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.PuertoEditFieldLabel.Position = [20 394 41 15];
app.PuertoEditFieldLabel.Text = 'Puerto';
% Create PuertoEditField
app.PuertoEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.PuertoEditField.Position = [76 387 100 22];
app.PuertoEditField.Value = 'COM12';
% Create UNIVERSIDADTCNICADELNORTELabel
app.UNIVERSIDADTCNICADELNORTELabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UNIVERSIDADTCNICADELNORTELabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.UNIVERSIDADTCNICADELNORTELabel.FontSize = 18;
app.UNIVERSIDADTCNICADELNORTELabel.Position = [159 437 324 23];
app.UNIVERSIDADTCNICADELNORTELabel.Text = 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE';
% Create IniciarButton
app.IniciarButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.IniciarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @IniciarButtonPushed, true);
app.IniciarButton.Position = [521 387 100 22];
app.IniciarButton.Text = 'Iniciar';
% Create UIAxes2
app.UIAxes2 = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIAxes2, 'CMP')
xlabel(app.UIAxes2, 'X')
ylabel(app.UIAxes2, 'Y')
app.UIAxes2.Position = [332 1 309 372];
end
end
methods (Access = public)
% Construct app
function app = Balanza_temp
% Create and configure components
createComponents(app)
% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)
if nargin == 0
clear app
end
end
% Code that executes before app deletion
function delete(app)
% Delete UIFigure when app is deleted
delete(app.UIFigure)
end
end
end
end

```

## Anexo 6. Datasheet del transmisor HX711.

### DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analogo-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. Onchip 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:  $-40 \sim +85^\circ\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

### APPLICATIONS

- Weigh Scales
  - Industrial Process Control
- S8550 VSUP 2.7~5.5V

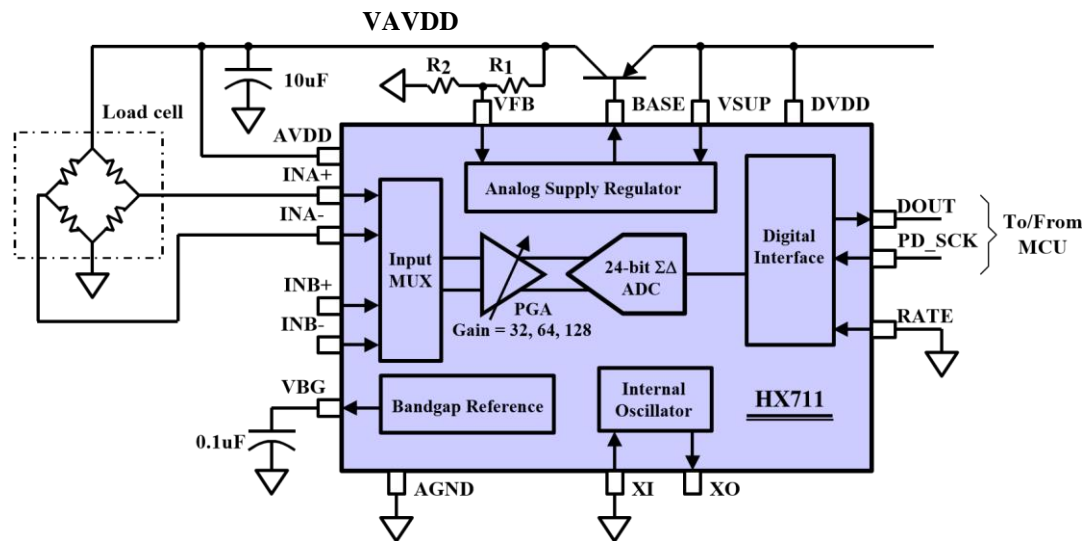


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

#### Pin Description

Regulator Power	DVDD	VSUP	16	Digital Power
Regulator Control Output	BASE	15	RATE	Output Data Rate Control Input
Analog Power	XICrystal	AVDD	14	I/O and External Clock Input
Regulator Control Input	VFB	13	XO	Crystal I/O
Analog Ground	PD_SCK	AGND	12	Serial Data Output
Reference	Bypass	VBG	11	Power Down and Serial Clock Input
Ch. A Negative Input	INNB	INNA	10	Ch. B Positive Input
Ch. A Positive Input	INNA	INPA	9	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(inp)-V(inn)		±0.5(AVDD/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		$f_{clk}/1,105,920$		
	Crystal or external clock, RATE = DVDD		$f_{clk}/138,240$		
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFFF	HEX
Output settling time <sup>(1)</sup>	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 <sub>BG</sub> )		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 ±20mV or ±40mV respectively.

Channel B differential input has a fixed gain of 32. The full-scale input voltage range is ±80mV, 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 0.1µF 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 Xpin, 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**

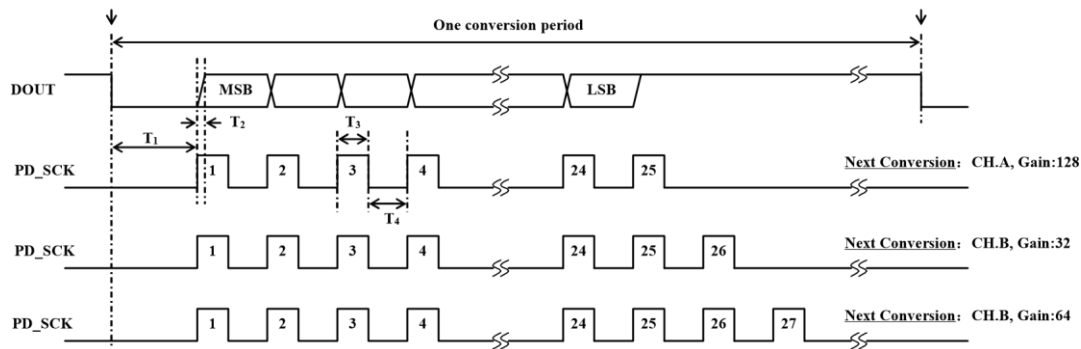
Pin PD\_SCK and DOUT are used for data retrieval, input selection, gain selection and power down controls.

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 25<sup>th</sup> 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

Current Output Data



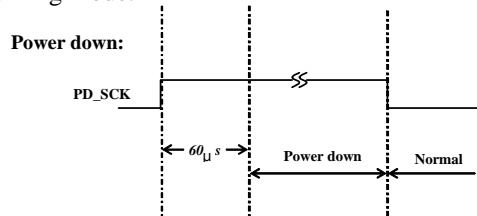
**Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control**

Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T <sub>1</sub>	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μS
T <sub>2</sub>	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μS
T <sub>3</sub>	PD_SCK high time	0.2	1	50	μS
T <sub>4</sub>	PD_SCK low time	0.2	1		μS

**Table 3 Input Channel and Gain Selection Reset and Power-Down**

When chip is powered up, on-chip power on rest 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.



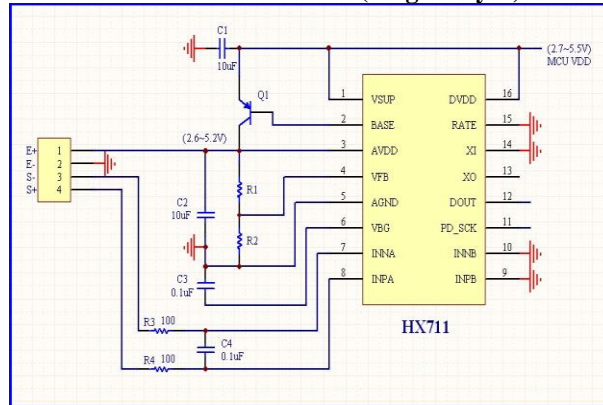
**Fig.3 Power down control**

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.

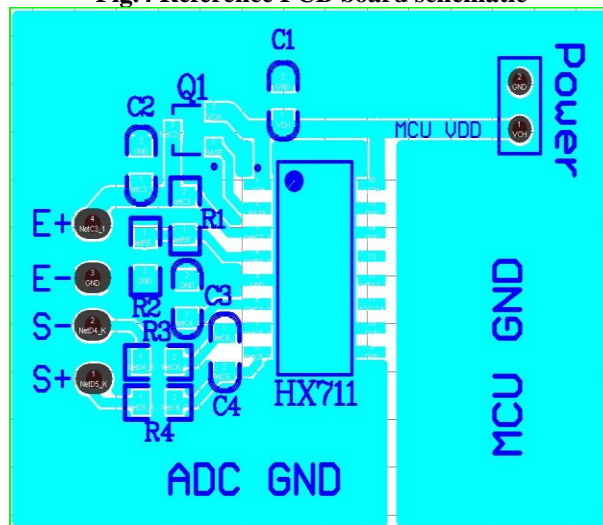
**Application Example**

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 relate circuitry is not shown on Fig. 1.

**Reference PCB Board (Single Layer)**



**Fig.4 Reference PCB board schematic**



**Fig.5 Reference PCB board layout**

**Reference Driver (Assembly)**

/\*-----\*/

Call from ASM: LCALL ReaAD

Call from C: extern unsigned long ReadAD(void);

```

    unsigned long data;
    data=ReadAD();

```

.

-----\*/

PUBLIC ReadAD HX711ROM segment code rseg HX711ROM

sbit ADDO = P1.5; sbit ADSK = P0.0;

/\*-----\*/

OUT: R4, R5, R6, R7 R7=>LSB

-----\*/ ReadAD:

CLR ADSK //AD Enable (PD\_SCK set low)

SETB ADDO //Enable 51CPU I/O JB ADDO,\$ //AD conversion completed? MOV

R4,#24 ShiftOut:

SETB ADSK //PD\_SCK set high (positive pulse)

NOP

CLR ADSK //PD\_SCK set low

MOV C,ADDO //read on bit

XCH A,R7 //move data

RLC A

XCH A,R7

```

XCH A,R6
RLC A
XCH A,R6
XCH A,R5 RLC A
XCH A,R5
DJNZ R4,ShiftOut //moved 24BIT?
SETB ADSK
NOP
CLR ADSK
RET END

```

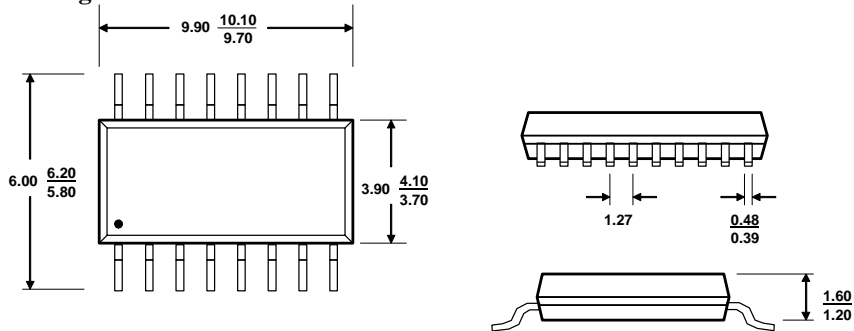
**Reference Driver (C)**

```

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

```

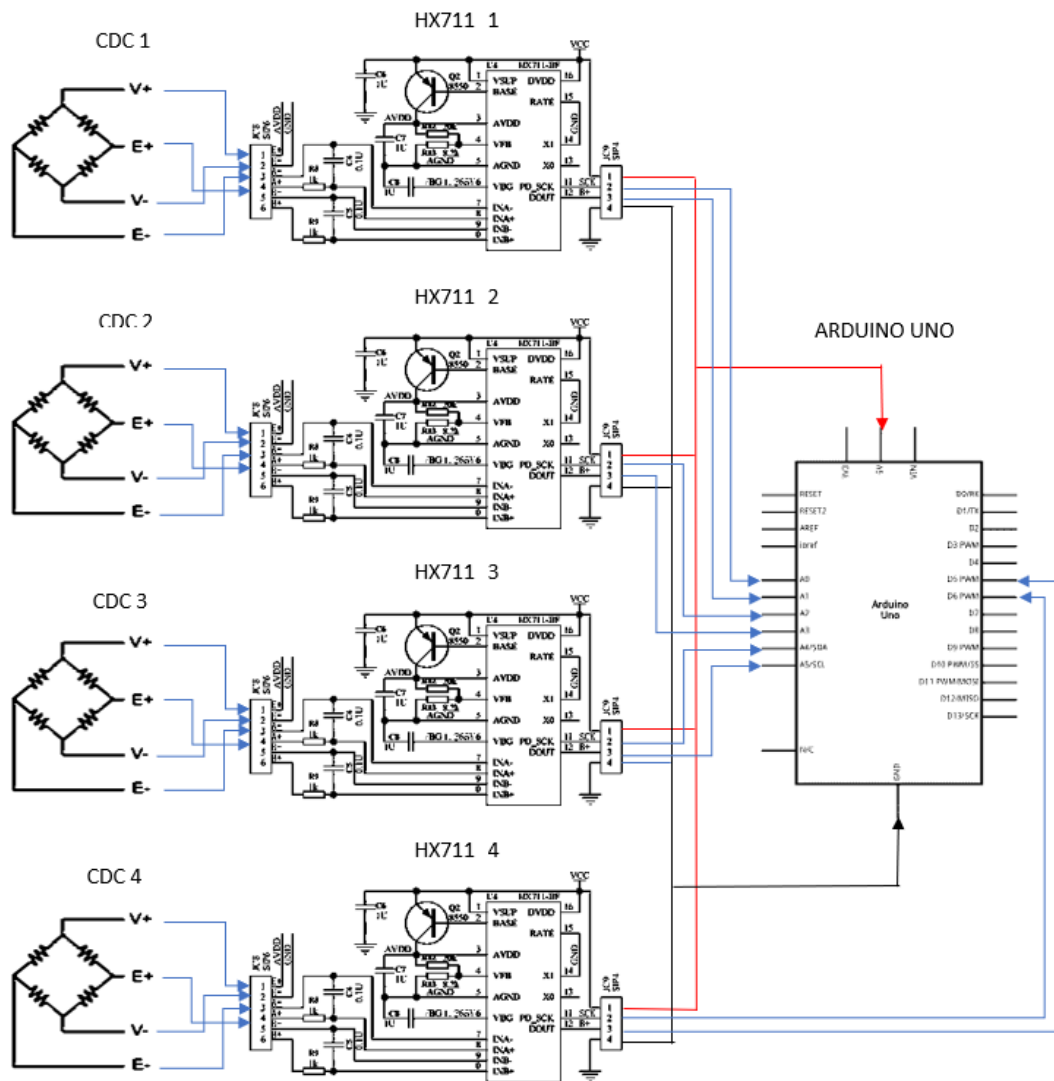
**Package Dimensions**



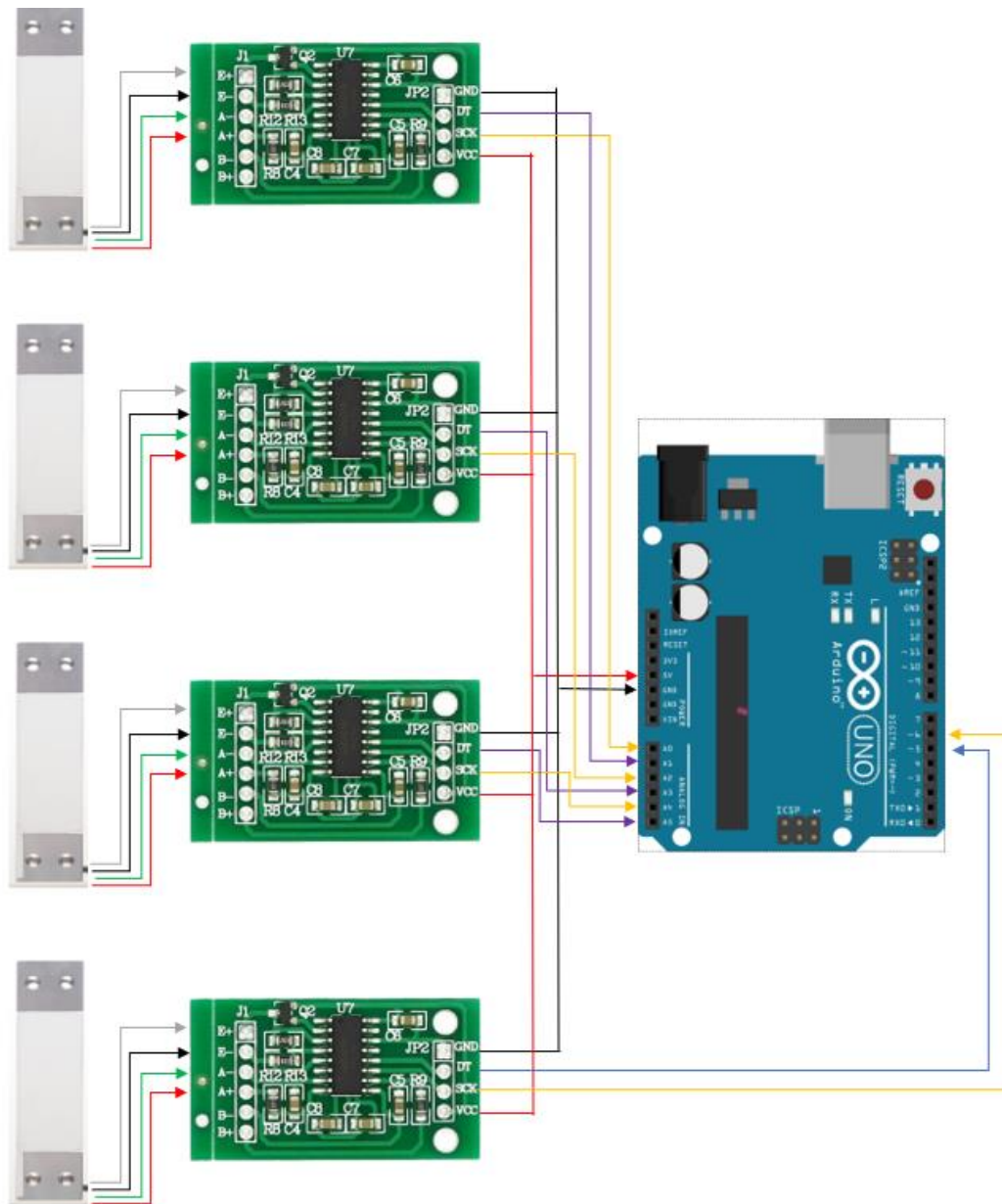
MAX  
 Typ Unit: mm  
 MIN  
 SOP-16L Package



## Anexo 7. Diagrama de conexión del sistema electrónico.

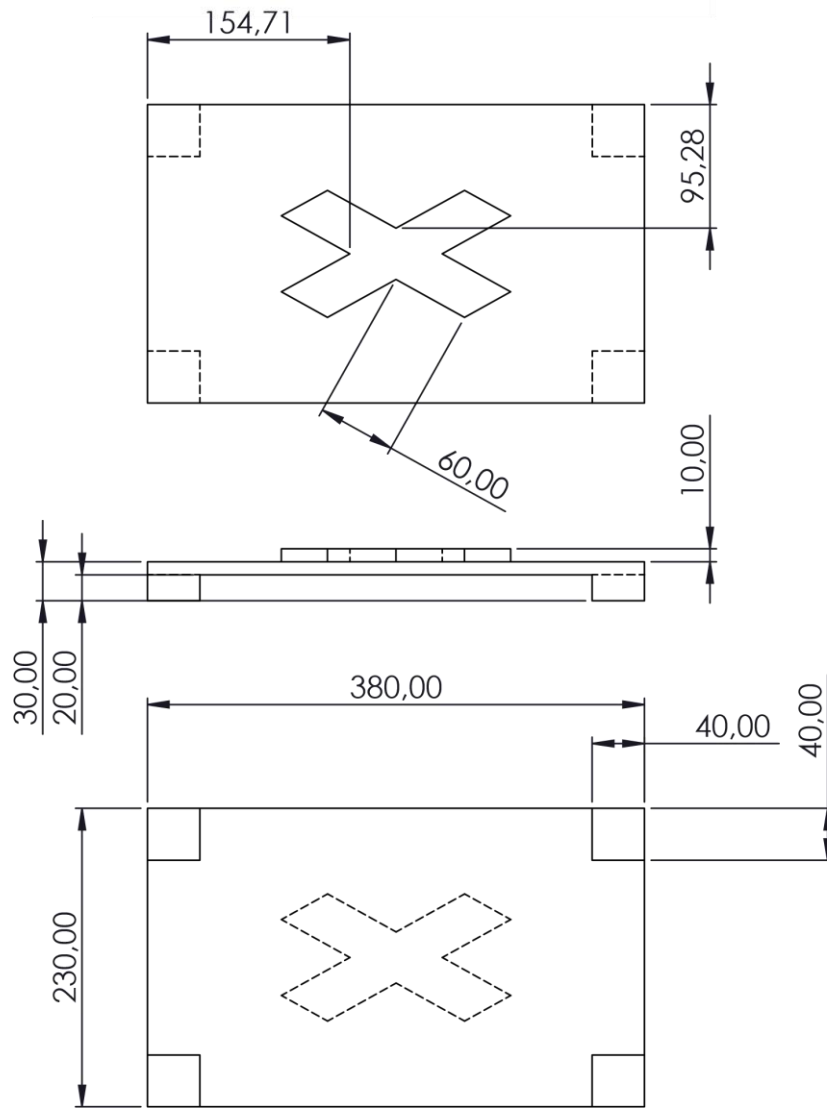
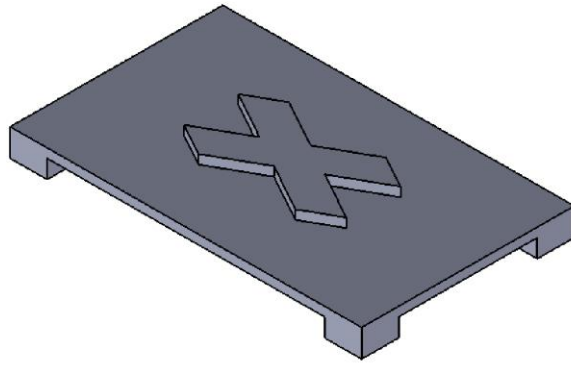


Anexo 8. Diagrama realista de la conexión del sistema electrónico.



*Anexo 9.*

# *PLANOS*



PROYECTO: Plataforma de Fuerza para el Analisis de la Pisada en la Marcha Humana

ESCALA:

PARTE: Placa Inferior de la plataforma de fuerza

1:5



Código: 001

TOLERANCIA:

MATERIAL:

Aluminio

DISEÑÓ:

Daniela Maldonado

HOJA:

TRATAMIENTO:

Cepillado

DIBUJÓ:

Daniela Maldonado

A4

FICA

CIME

RECUBRIMIENTO:

Ninguno

REVISÓ:

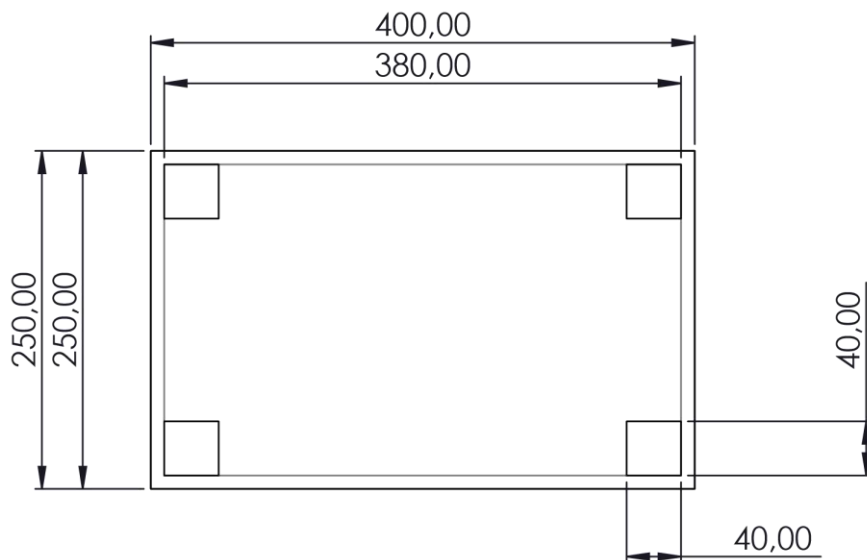
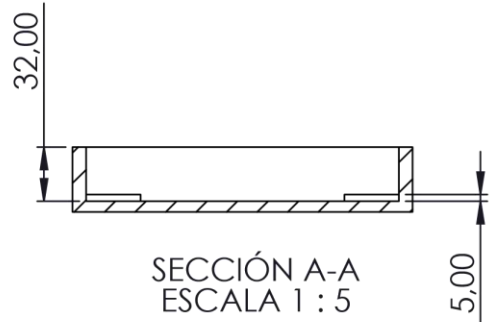
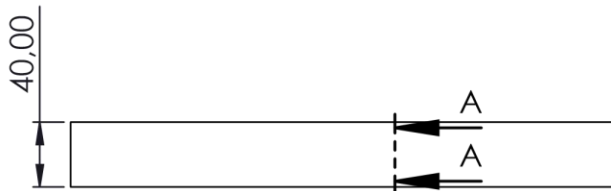
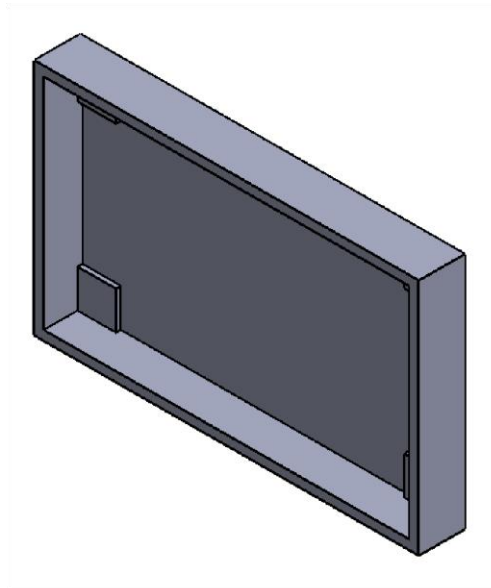
Ing. Álvarez Daniel

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

Ing. Álvarez Daniel



PROYECTO: Plataforma de Fuerza para el Análisis de la Pisada en la Marcha Humana

ESCALA:

PARTE: Placa Superior de la plataforma de fuerza

1:5

CÓDIGO: 002

TOLERANCIA:

MATERIAL: Aluminio

DISEÑO:

Daniela Maldonado

TRATAMIENTO: Cepillado

DIBUJÓ:

Daniela Maldonado

RECUBRIMIENTO: Ninguno

REVISÓ:

Ing. Álvarez Daniel

CANTIDAD: 1

APROBÓ:

Ing. Álvarez Daniel

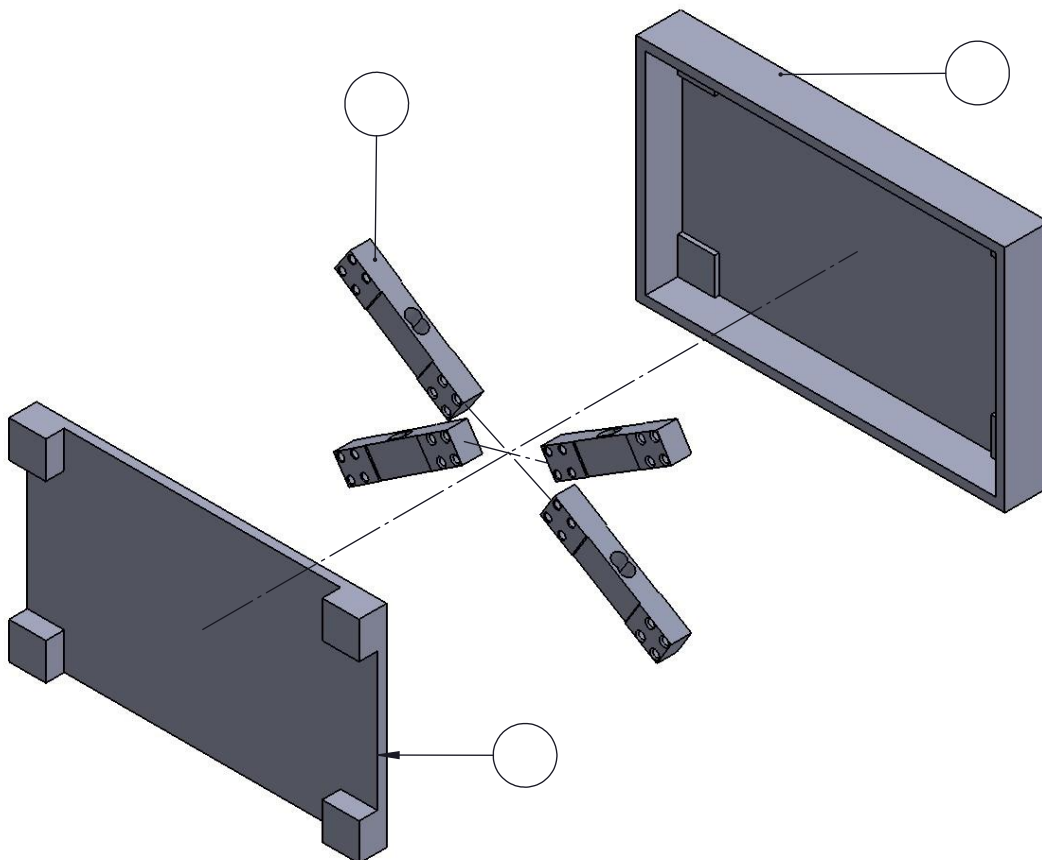
FICA

CIME



HOJA:

117



N.º ELEMENT	DESCRIPCIÓN	CÓDIG	CANTIDA
	Placa	0	
	Placa superior	0	
	Celda de carga - XIN NUO		



PRD Plataforma de Fuerza para el Analisis de E&S



P Vista explosionada de la

TOLE

C

MAT	Al	DI	Daniela	H
TRATA	Ce	DI	Daniela	
RECUBRI	Ni	R	Inq.	
CAN		AP	Inq.	

F

C

## Anexo 10. Manual de usuario

**NOMBRE:** Plataforma de fuerza para el análisis de la pisada en la marcha humana.

**VERSIÓN DEL SISTEMA:** 1

**FECHA DE ELABORACIÓN:** 13/11/2019

### **PROPÓSITO**

El objetivo del manual de usuario es garantizar el correcto manejo de la Plataforma de fuerza para el análisis de la pisada en la marcha humana; permitiendo al lector adquirir las destrezas y conocimientos primordiales para una operación óptima del sistema, y ser una herramienta de consulta para el usuario en cualquier momento.

### **CONOCIMIENTOS BÁSICOS**

Manejo del ordenador e interfaces.

Conocer factores que influyen en una caminata normal-

### **FUNCIONAMIENTO**

La plataforma de fuerza para el análisis de la pisada en la marcha humana fue creada con el objetivo de evaluar y calcular la fuerza de reacción de la pisada durante la marcha normal y variación del centro de presión en estudios de equilibrio, estos datos serán graficados en la interfaz y registrados en una base de datos junto con los datos personales.

### **COMPILACION DEL PROGRAMA**

Para inicializar la compilación del programa se realizará los siguientes pasos:

Cargar el archivo.ino que se encuentra dentro de la carpeta PLATAFORMA DE FUERZA a la placa ARDUINO.

Ejecutar MATLAB.

Seleccionar como carpeta de trabajo a “PLATAFORMA DE FUERZA”.

Compilar el archivo INTERFAZ\_PLATEFORCE.m

La interfaz cuenta con tres pantallas principales:

## Pantalla principal

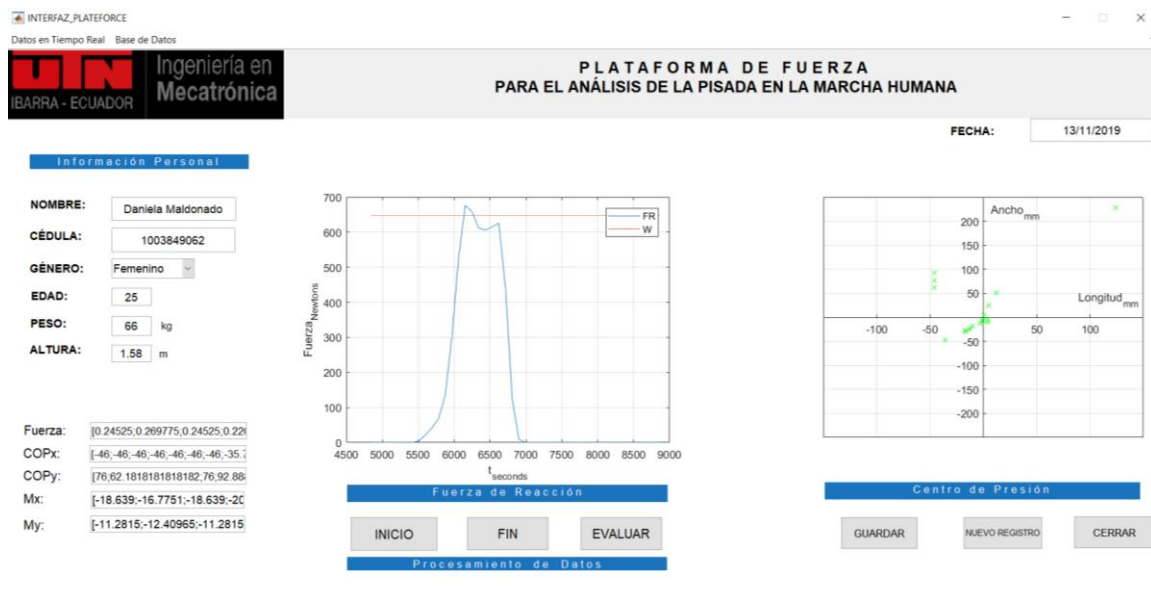


Figura 1. Pantalla principal

Al ejecutar el programa, la primera pantalla se muestra en la figura 1. En la primera sección denominada Información Personal se realiza el registro de datos personales del usuario: Nombre, número de cédula, género, edad, peso (Kg), altura (m) y fecha.

En la parte del procesamiento de la señal se encuentran tres botones; el botón INICIO permite la captura de datos y el botón FIN finaliza la captura. El botón EVALUAR realiza todos los cálculos con los datos capturados para obtener los valores de todas las variables que en pantalla se presentan.

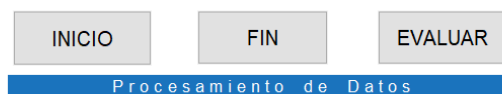


Figura 2. Procesamiento de datos.

Finalmente, en la pantalla inferior izquierda se muestran los valores de los resultados y al frente los resultados gráficos de la fuerza de reacción y variación del centro de presión. Toda esta información se registra en la base de datos mediante el botón GUARDAR.



GUARDAR

Figura 3. Procesamiento de datos.

Para realizar un nuevo registro se debe hacer clic en el botón NUEVO REGISTRO. Y para cerrar el programa hacer clic en CERRAR.

NUEVO REGISTRO CERRAR

Figura 4. Botones para nuevo registro de datos y para cerrar el programa.

### Evaluador en tiempo real

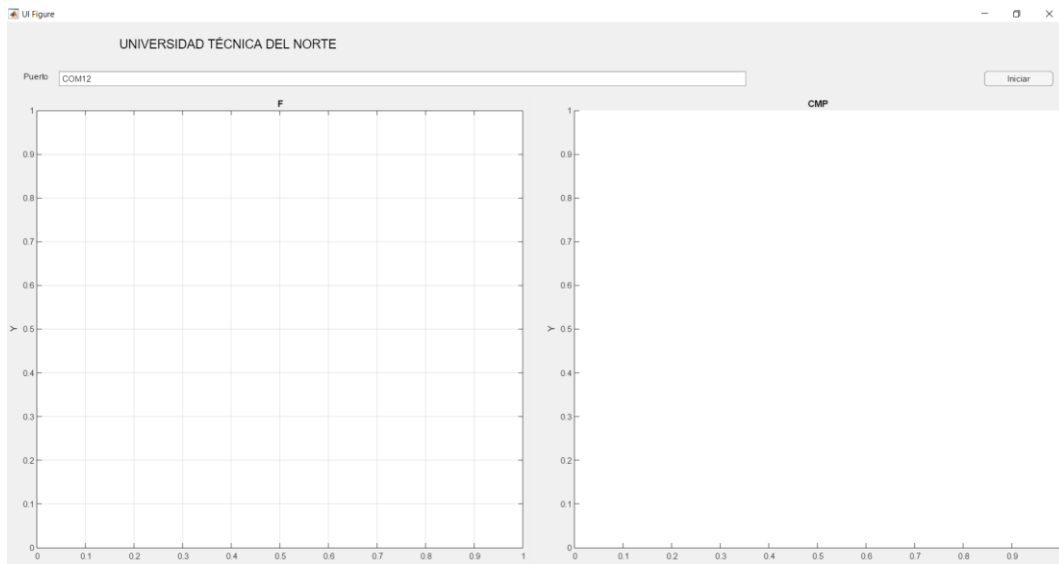


Figura 5. Evaluador en tiempo real.

En este caso es necesario cargar a la placa ARDUINO el código PLATAFORMA\_DE\_FUERZA.ino. Una vez cargado hacer clic en la parte superior de la ventana principal donde dice “Evaluación en tiempo real”, se abrirá una pantalla como la figura 2, y hacer clic en el botón INICIAR.

### Base de datos

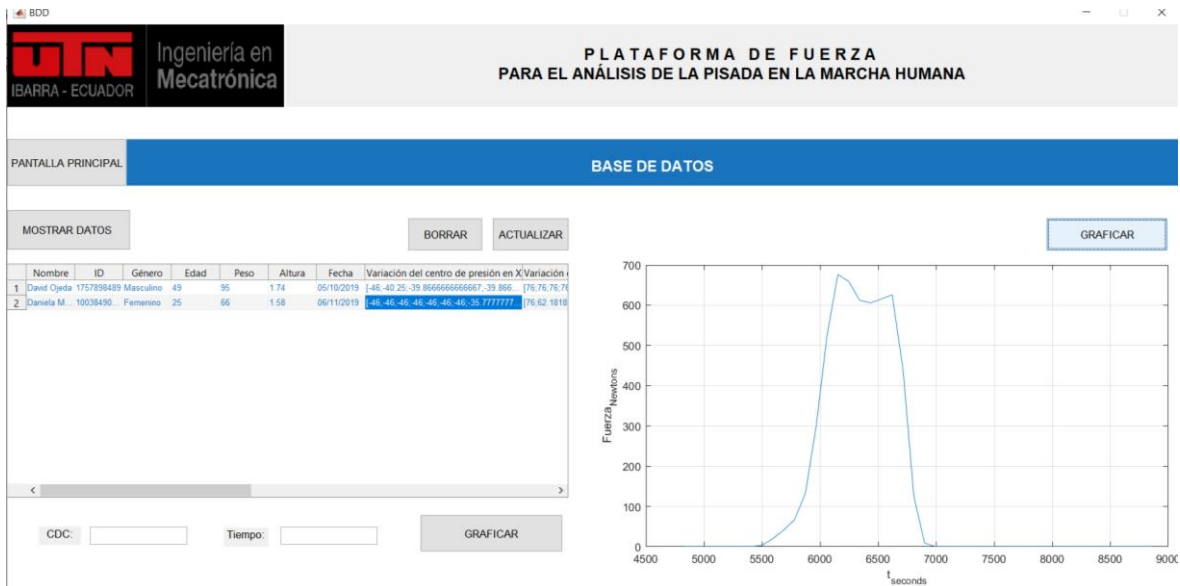


Figura 6. Base de Datos.

En esta ventana se observa una tabla de datos al hacer clic en el botón MOSTRAR DATOS, enseguida se desplegará la información completa del usuario.

Consta de botones como BORRAR y ACTUALIZAR que permiten la eliminación y modificación de datos respectivamente.

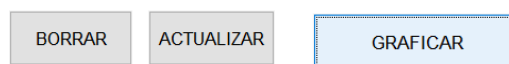


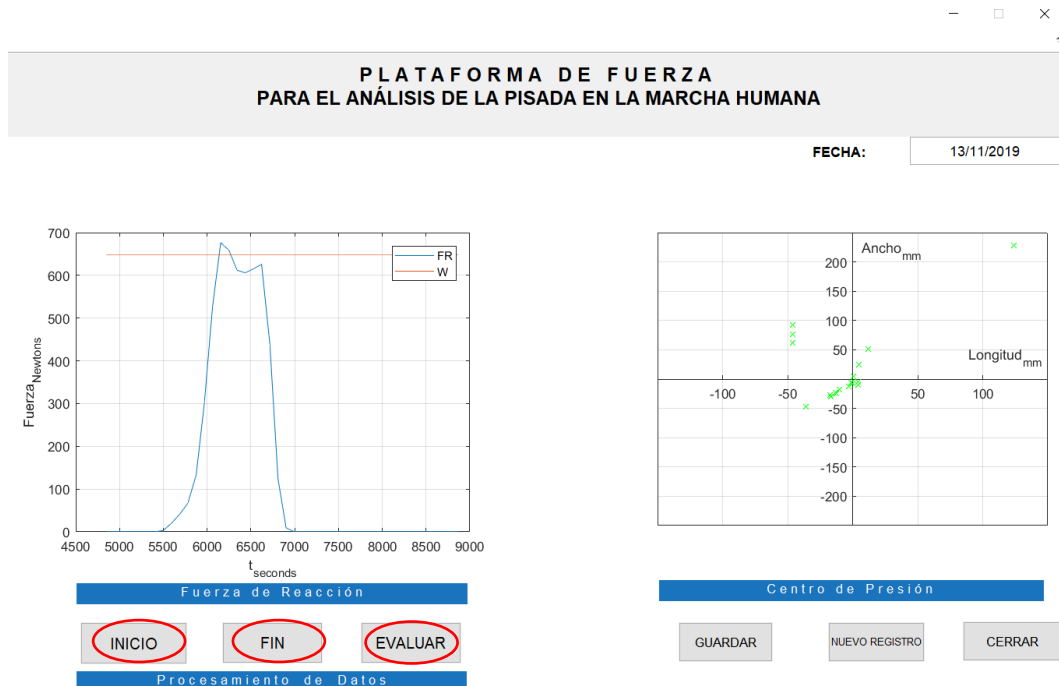
Figura 7. Botones de la interfaz.

Los botones GRAFICAR permiten la visualicen de la fuerza de reacción y el comportamiento de cada celda de carga de los datos registrados en la base de datos.

### Evaluación de la pisada humana durante la marcha

Ubique la plataforma en la pista de prueba, cabe recalcar que la pista de prueba debe ser suficiente para realizar un ciclo de marcha completo. Conecte el cable USB al ordenador, ejecute el programa, hacer clic en el botón INICIO espere 10 segundos hasta que el programa realice la tara en cero, proceda con la caminata cuidando que el pie se ubique completamente sobre la plataforma de fuerza, caso contrario repita el proceso hasta que la pisada sobre la plataforma sea óptima. Pulse el botón FIN para detener la captura de datos. Para visualizar los

resultados haga clic en el botón EVALUAR. En caso de tener la necesidad de acercar la gráfica hacer doble clic sobre la misma. Para el registro de toda la información, pulse el botón GUARDAR.



## Base de Datos

Pulse el botón MOSTRAR DATOS, se desplegará la información completa del usuario en una tabla.

Una función adicional es que se puede volver a visualizar la curva de la fuerza de reacción, seleccionando el nombre del usuario haciendo clic sobre su nombre y posteriormente pulsando el botón GRAFICAR que se encuentra en la parte superior de la interfaz. Además, se puede observar el comportamiento de cada celda de carga copiando y pegando los valores en las casillas correspondientes con su respectivo tiempo.

Con el botón PANTALLA PRINCIPAL se puede regresar a la pantalla de inicio.

Si desea realizar acercamientos a la gráfica, hacer doble clic sobre la parte seleccionada.

## POSIBLES PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Sección	Error	Solución
Evaluación	El peso que registra la plataforma es erróneo.	Volver a calibrar las celdas de carga de acuerdo con lo descrito en la metodología.
	Al pulsar el botón MOSTRAR DATOS se cierra el programa	Vuelva a ejecutar el programa y realice el proceso nuevamente.
Registro	Al pulsar el botón MOSTRAR DATOS, solo muestra un único valor.	Vuelva a la pantalla principal. Pulse el botón CERRAR y ejecute nuevamente el programa.