



Universidad de La Coruña

TRABAJO FIN DE GRADO

Sistema inalámbrico para la medición de esfuerzos de contacto en muletas



11 de julio de 2019

Autor: Elisabet Pérez Porto
Tutor: Urbano Lugrís Armesto
Florian Michaud

- 1 Motivación
- 2 Objetivos
- 3 Sistema de adquisición y transmisión de datos
- 4 Extensometría
- 5 Acondicionamiento de la señal
- 6 Implementación en PCB
- 7 Adquisición de datos
- 8 Montaje
- 9 Funcionamiento y Resultados
- 10 Conclusiones
- 11 Trabajo futuro

Motivación

- Diseño de órtesis activas.
- Medición de fuerzas de contacto con el suelo.
- Simulaciones que permiten mejorar el diseño de las ortesis.



Objetivos

Diseñar e implementar un sistema inalámbrico para amplificar, filtrar y digitalizar la señal del conjunto de galgas extensiométricas instaladas en un par de muletas.

1. Diseño de un circuito de amplificación y filtrado de la señal de las galgas.

2. Programación de un microcontrolador que permita habilitar la comunicación inalámbrica

3. Desarrollo de una interfaz gráfica que permita la visualización de resultados desde el ordenador.

Sistema de adquisición y transmisión de datos

Requisitos en cuanto a resolución y autonomía



Placa Feather de desarrollo de Adafruit

- Pequeño tamaño
- Económica
- Conexión WiFi de alta velocidad
- Puerto USB incorporado
- Procesador potente de bajo consumo
- 6 canales de ADC de 12 bits



UDC

1

2

3

4

5

6

7

8

9

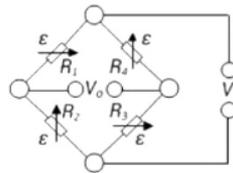
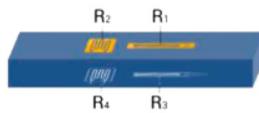
10

11

Extensometría



Fuerza axial



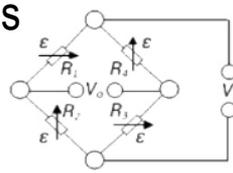
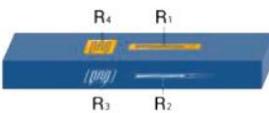
Expresión del voltaje de salida

$$UA = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot (1 + \nu) \cdot k \cdot UE$$

Ganancia requerida por el circuito de amplificación

$$K = f \cdot \frac{UI}{UA}$$

Momentos flectores

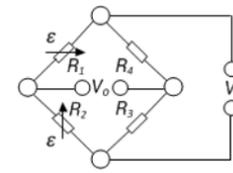
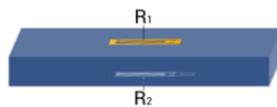


$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N/A}{E} \quad \text{Deformación de compresión}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M \cdot y}{E \cdot I} \quad \text{Deformación de flexión}$$

$$f_{Fz} = 0.9$$

$$f_M = 0.5$$



$$UA = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot k \cdot UE$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M \cdot y}{E \cdot I} \quad \text{Deformación de flexión}$$

$$f_{Mc} = 0.9$$

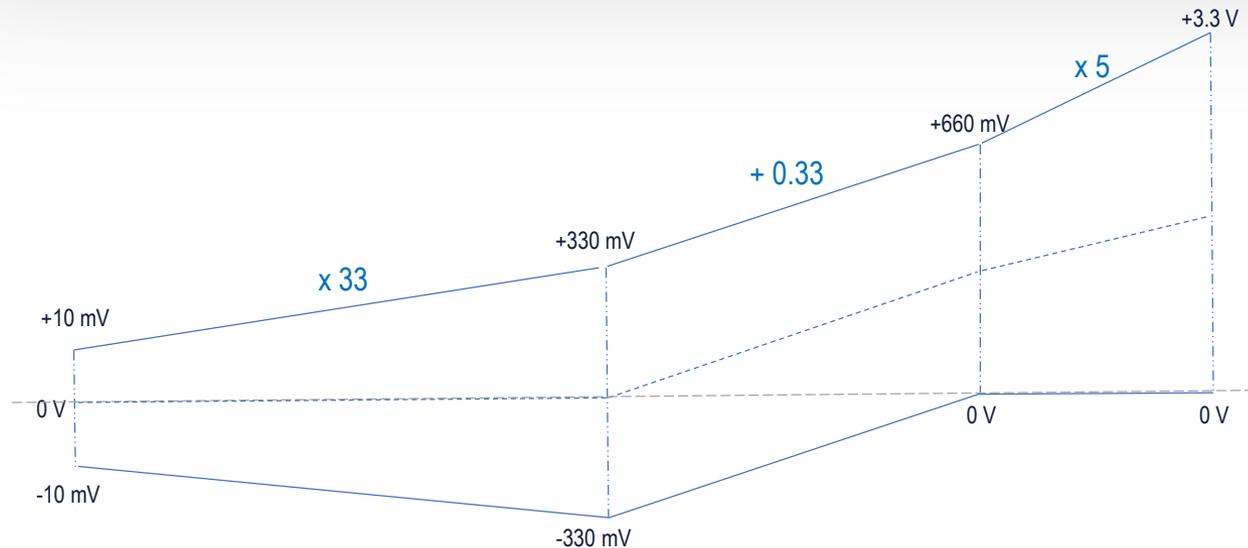
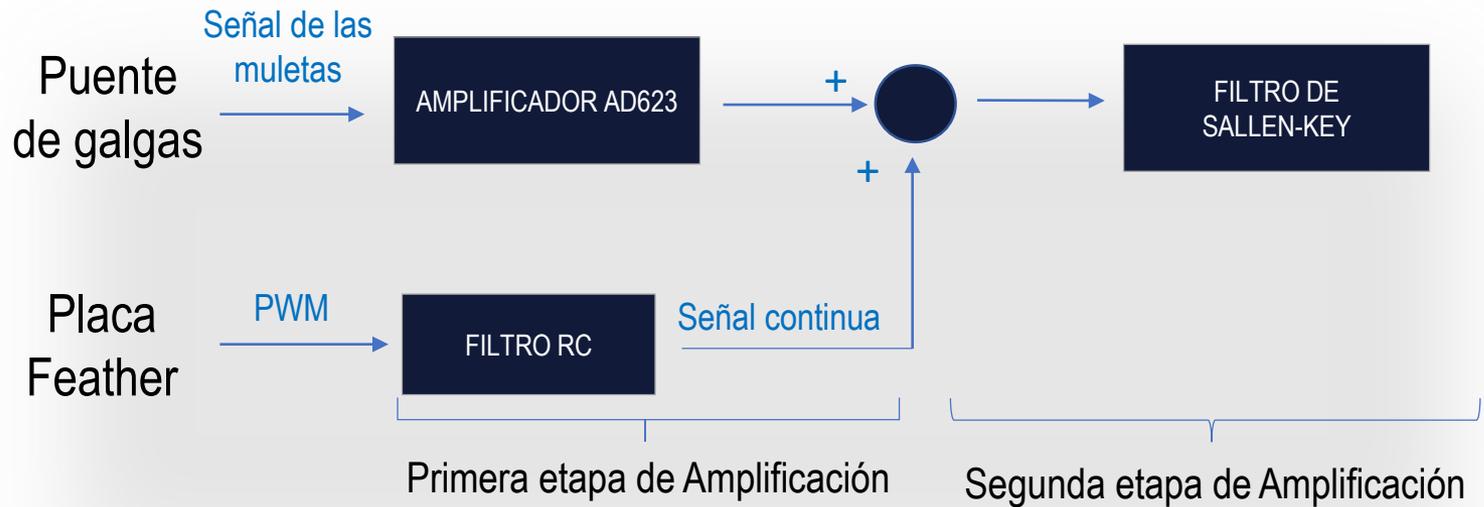




UDC

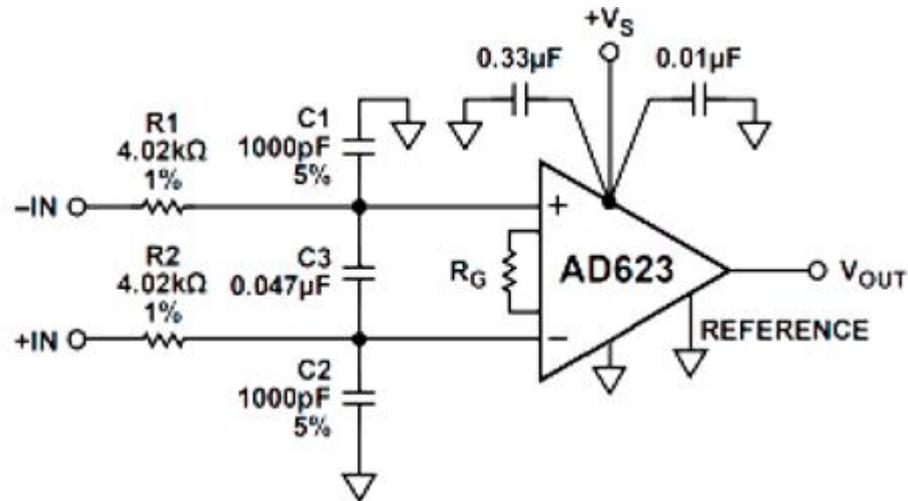
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

Acondicionamiento de la señal





Primera etapa de Amplificación



Circuito para Atenuar la interferencia de radiofrecuencia.

Cálculo de la Resistencia de ganancia para la definición del amplificador

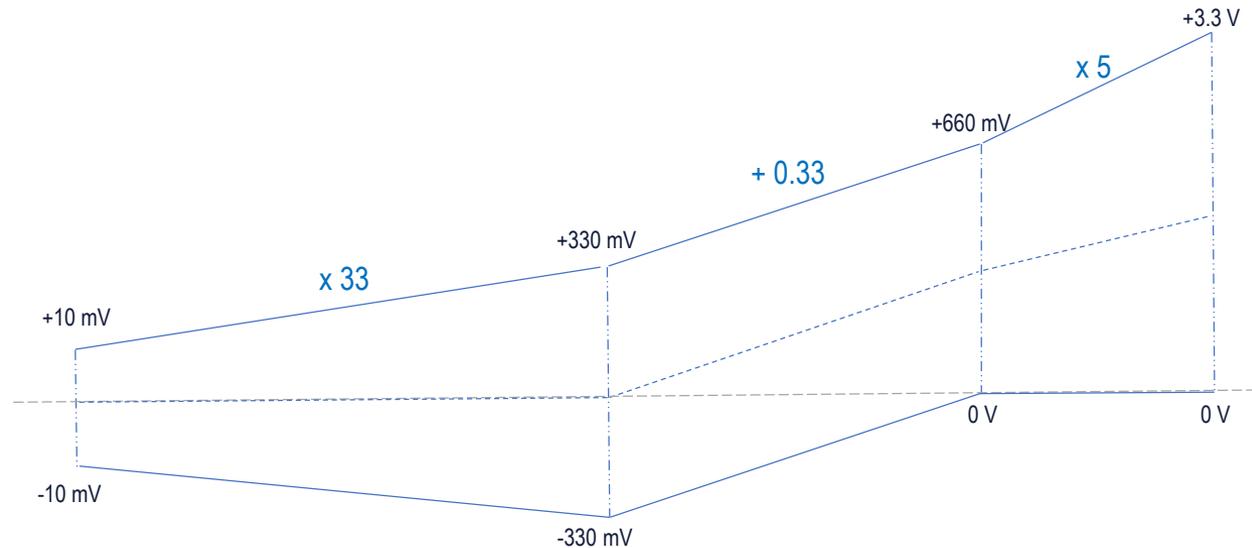
$$V_{m\acute{a}x} = V_{in_{m\acute{a}x}} \cdot K + V_{REF}$$

$$V_{m\acute{i}n} = V_{in_{m\acute{i}n}} \cdot K + V_{REF}$$

$$K = 1 + \frac{10^5}{R_g}$$



Primera etapa de Amplificación



Cálculo de la Resistencia de ganancia para la definición del amplificador

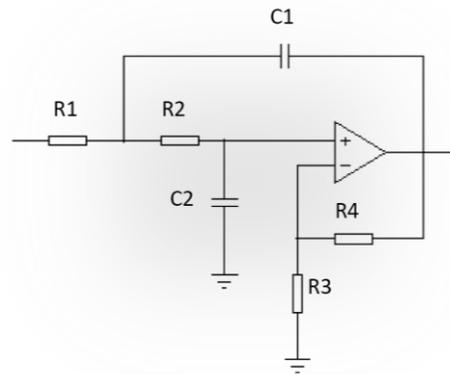
$$V_{m\acute{a}x} = Vin_{m\acute{a}x} \cdot K + V_{REF}$$

$$V_{m\acute{i}n} = Vin_{m\acute{i}n} \cdot K + V_{REF}$$

$$K = 1 + \frac{10^5}{Rg}$$



Segunda etapa de amplificación

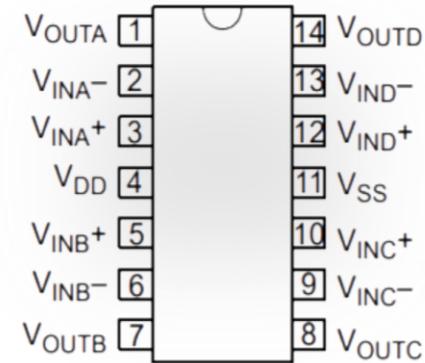


Filtro de Sallen-Key

Simplificaciones obtenidas del documento de Texas Instruments

$$R1 = mR2 = mR$$

$$C1 = C2 = C$$



Amplificador MCP6004

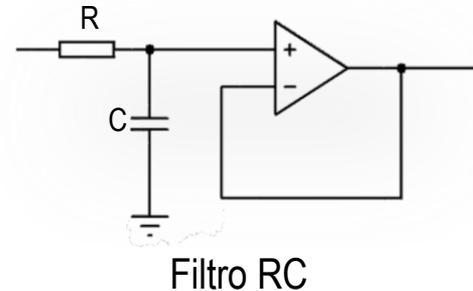
$$Q = \frac{\sqrt{m}}{1 + 2 \cdot m - m \cdot K} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$fc = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{m}} = 50 \text{ Hz}$$

$$K = 1 + \frac{R3}{R4}$$



Filtrado del PWM



Función de transferencia

$$H_{RC}(f) = \frac{1}{1 + (2\pi RCf)i}$$

Atenuación a 730 Hz

$$\longrightarrow A_{RC} = |H_{RC}(730)|$$

$$H_{SK}(f) = \frac{K}{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 + \frac{f}{Qf_c}i}$$

$$\longrightarrow A_{SK} = |H_{SK}(730)|$$

$$RT = 3.3 \cdot A_{RC} \cdot A_{SK} \cdot \frac{\pi}{2} \longrightarrow \text{Rizado Total}$$

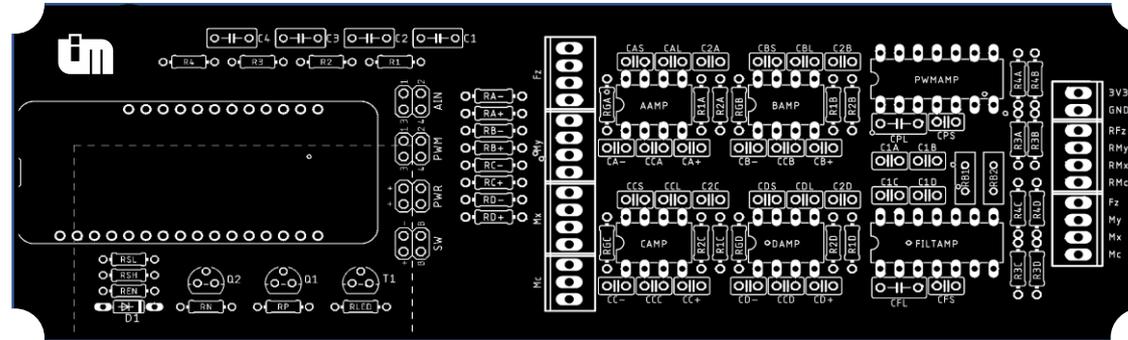
$$t = -\log(1 - 0.9) \cdot R \cdot C \longrightarrow \text{Tiempo}$$



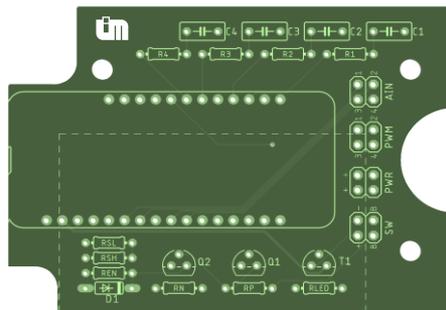
UDC

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

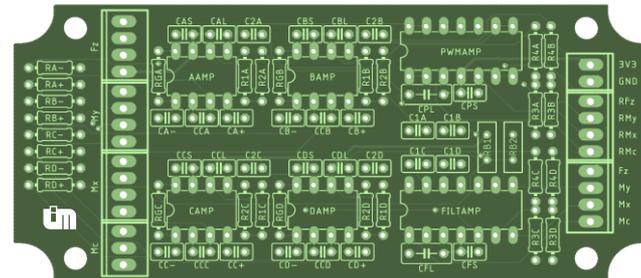
Implementación en PCB



Placa Feather



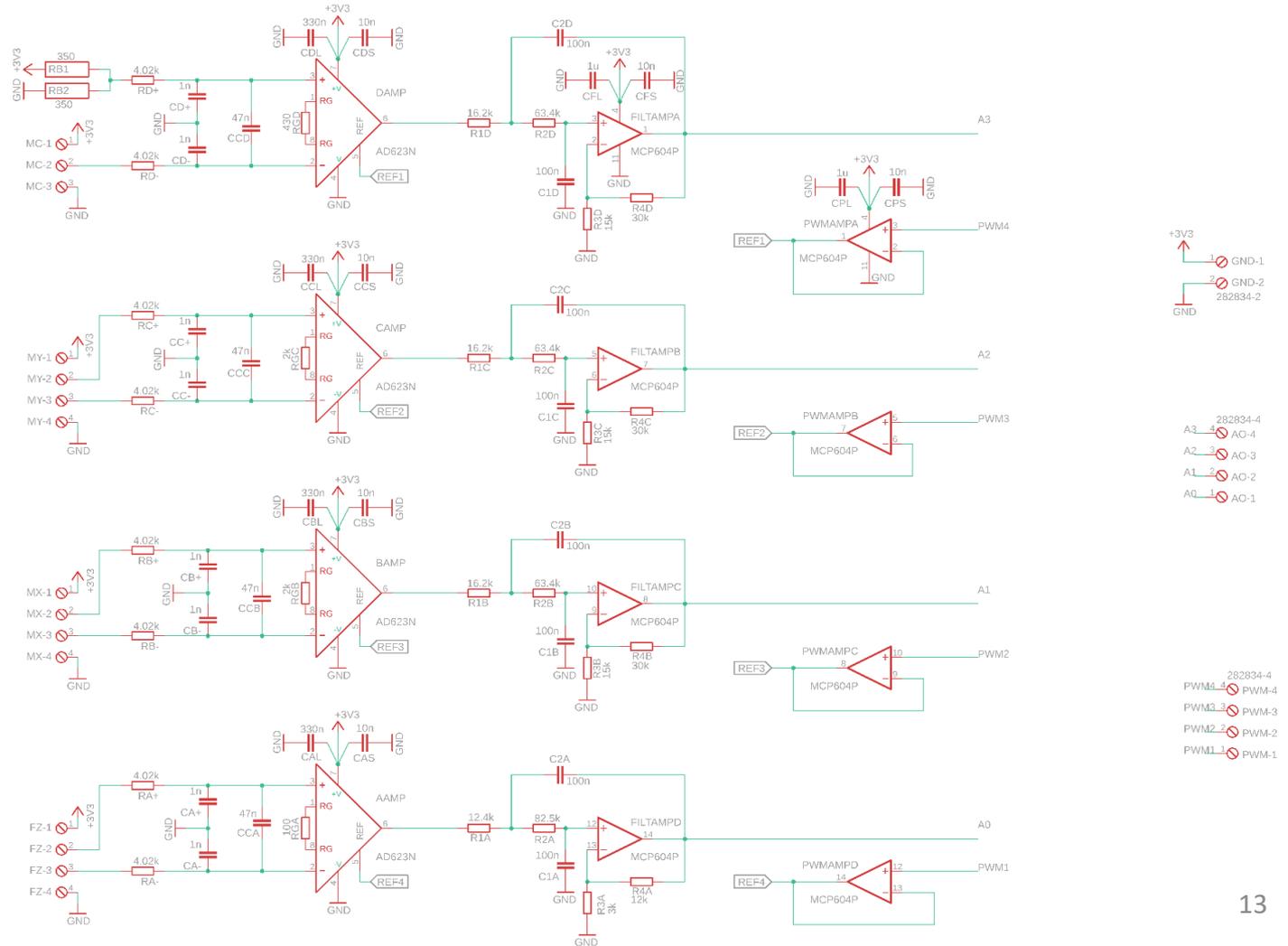
Placa de amplificación



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

Implementación en PCB

■ Esquema eléctrico: Placa de amplificación

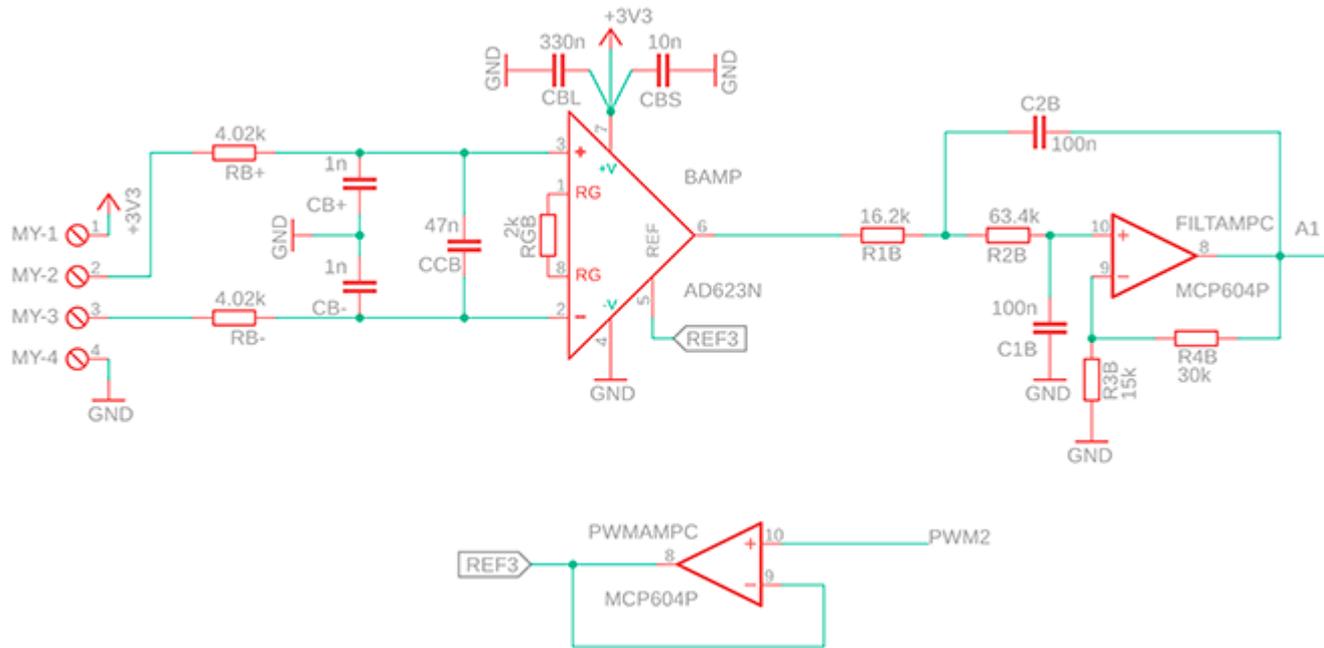




- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

Implementación en PCB

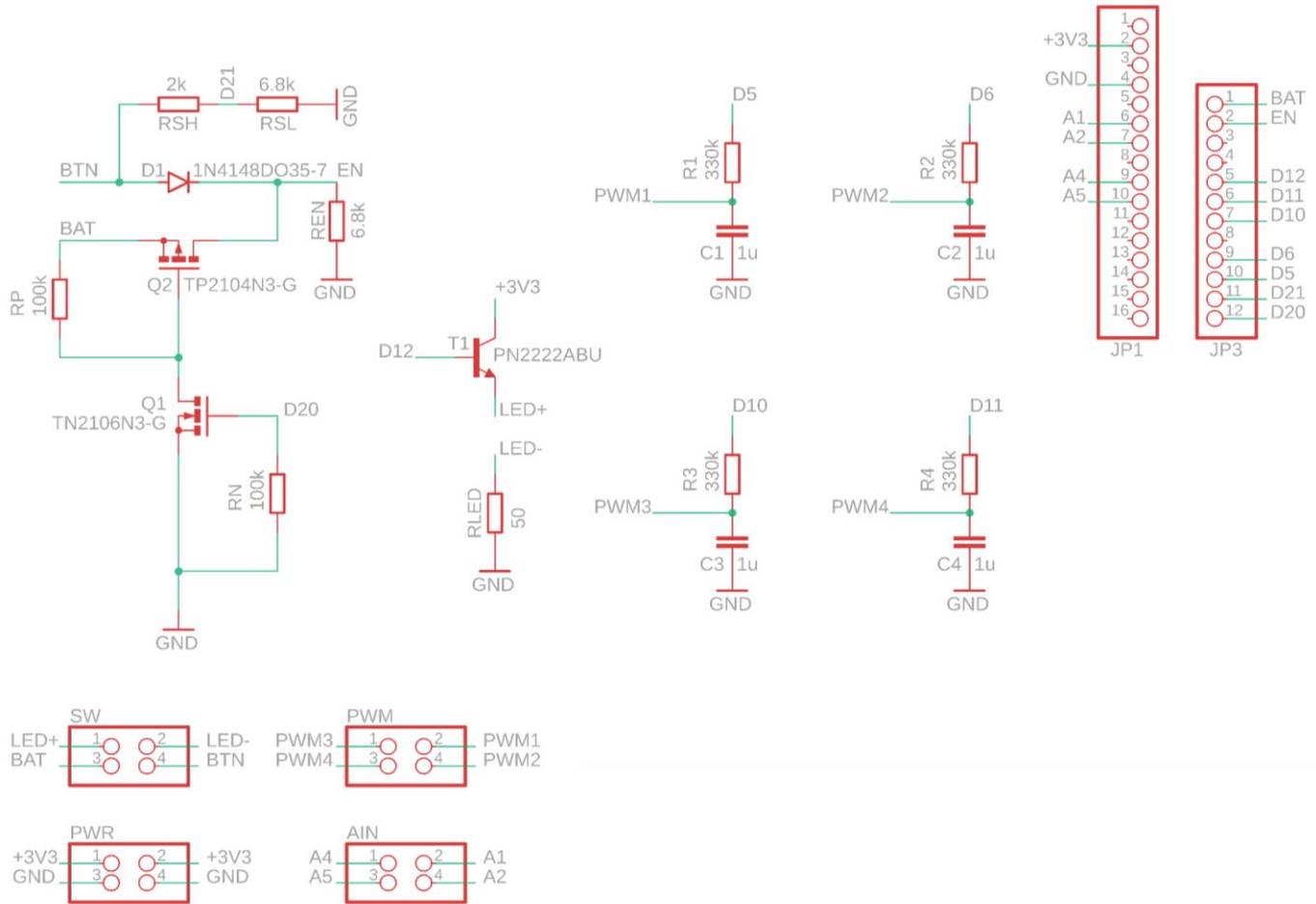
- Esquema eléctrico: Placa de amplificación



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

Implementación en PCB

■ Esquema eléctrico: Placa Feather

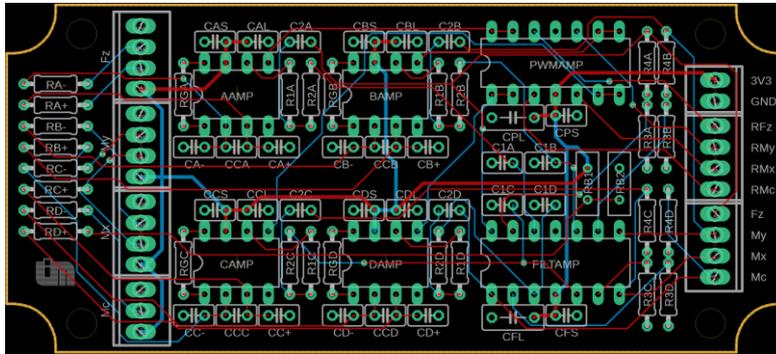


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

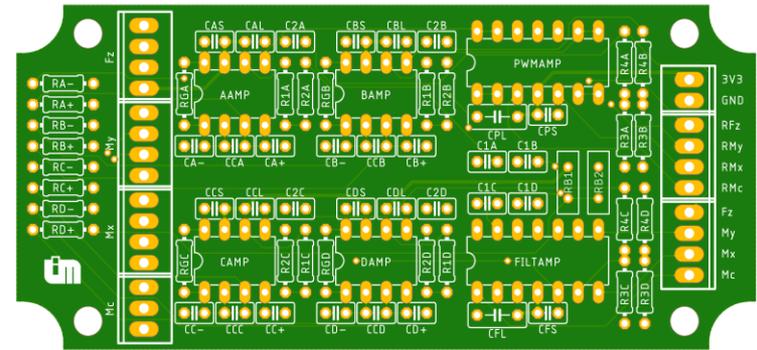
Implementación en PCB

Diseño de EAGLE

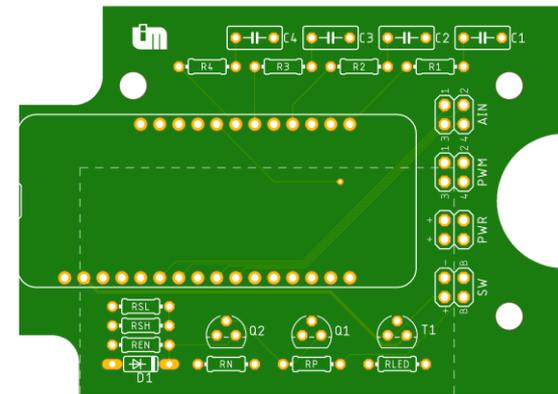
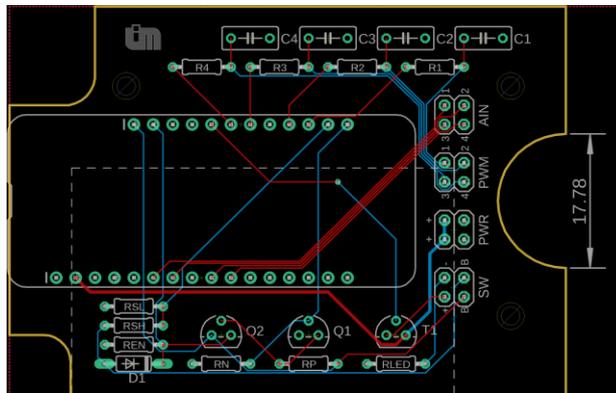
- Placa de amplificación



Previsualización



- Placa Feather

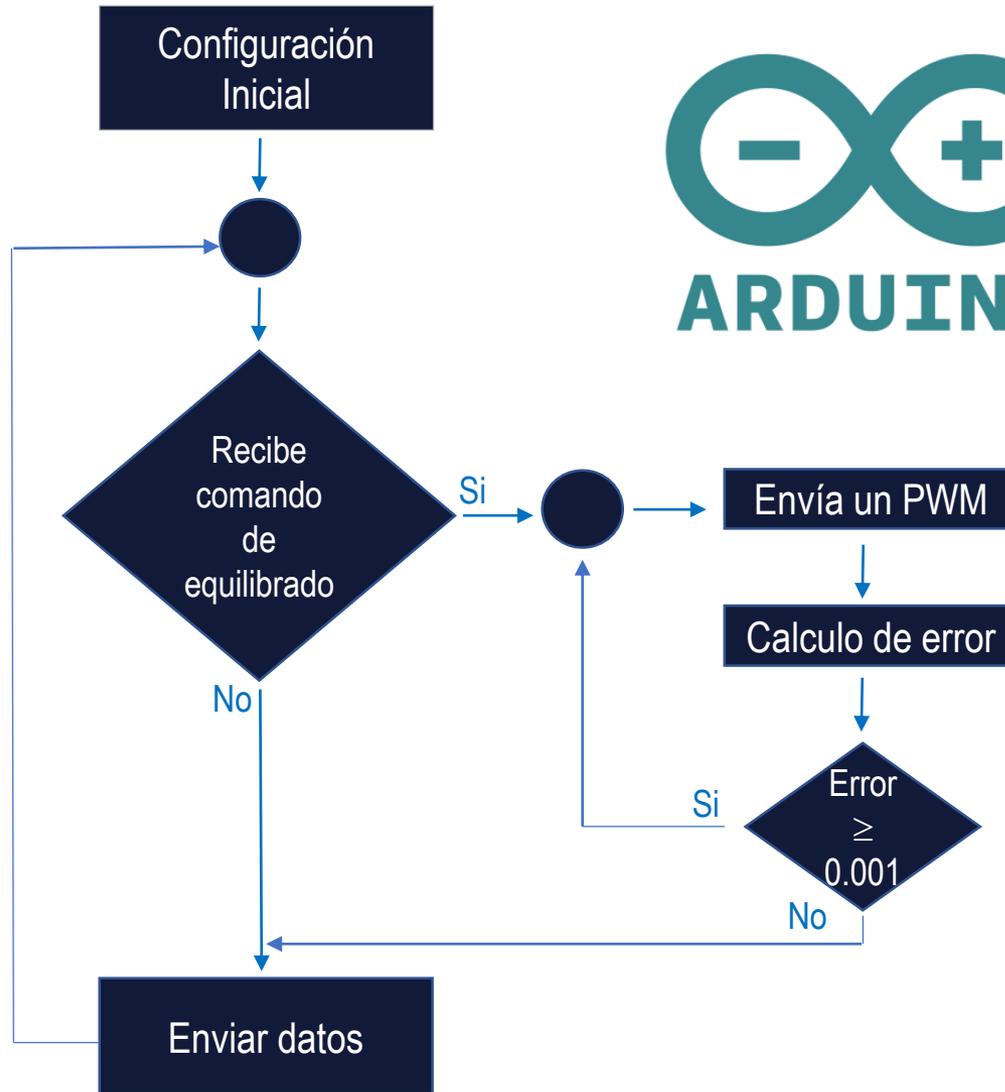




UDC

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

Adquisición de datos





Adquisición de datos

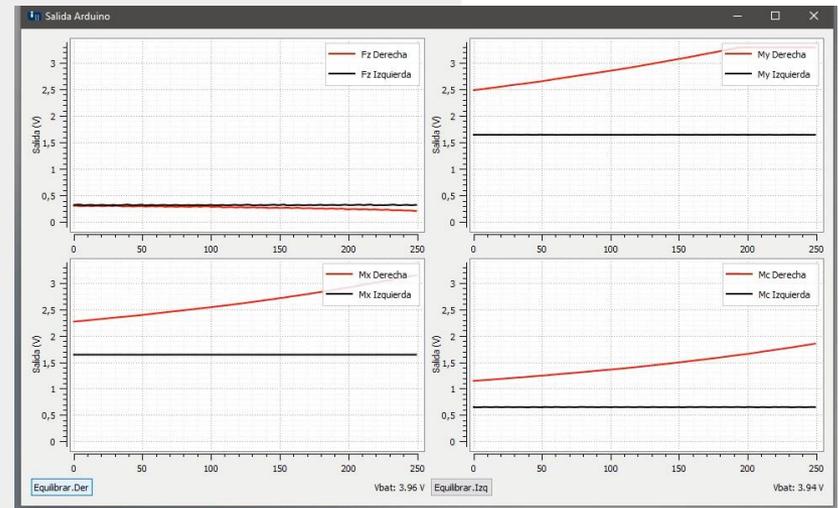
```
import numpy as np
import time, sys, socket
from guiqwt.builder import make
from guiqwt.curve import CurvePlot
from PyQt5.QtGui import QIcon
from PyQt5.QtWidgets import QWidget, QMainWindow, QMessageBox, QApplication, QGridLayout
from PyQt5.QtWidgets import QFrame, QDialog, QInputDialog, QHBoxLayout, QPushButton
from PyQt5.QtCore import Qt, QTimer
```

```
class ArduinoPlot(QWidget):
    def __init__(self):
        QWidget.__init__(self)
        self.initUI()
```

```
    plotlen = 500
    host1 = '192.168.137.187'
    host2 = '192.168.137.47'
    port = 2390
    data = []
    n1 = 0
    n2 = 0
    s = False
    x = np.arange(0, plotlen)
    y1 = np.zeros(plotlen)
    y2 = np.zeros(plotlen)
    y3 = np.zeros(plotlen)
    y4 = np.zeros(plotlen)
    y5 = np.zeros(plotlen)
    y6 = np.zeros(plotlen)
    y7 = np.zeros(plotlen)
    y8 = np.zeros(plotlen)
    timer = QTimer()
    skip = 0
    max1 = 0
    max2 = 0
```

```
    def initUI(self):
        self.initSocket()
        self.initPlot()
        if self.s:
            #Se actualizan los valores de las gráficas
            self.timer.timeout.connect(self.updatePlot)
            self.timer.start(0)
        else:
            sys.exit()
```

Longitud de la gráfica



*#Se establece la comunicación con el servidor
#Se definen las gráficas y botones*





UDC

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

Montaje





UDC

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

Montaje





UDC

1

2

3

4

5

6

7

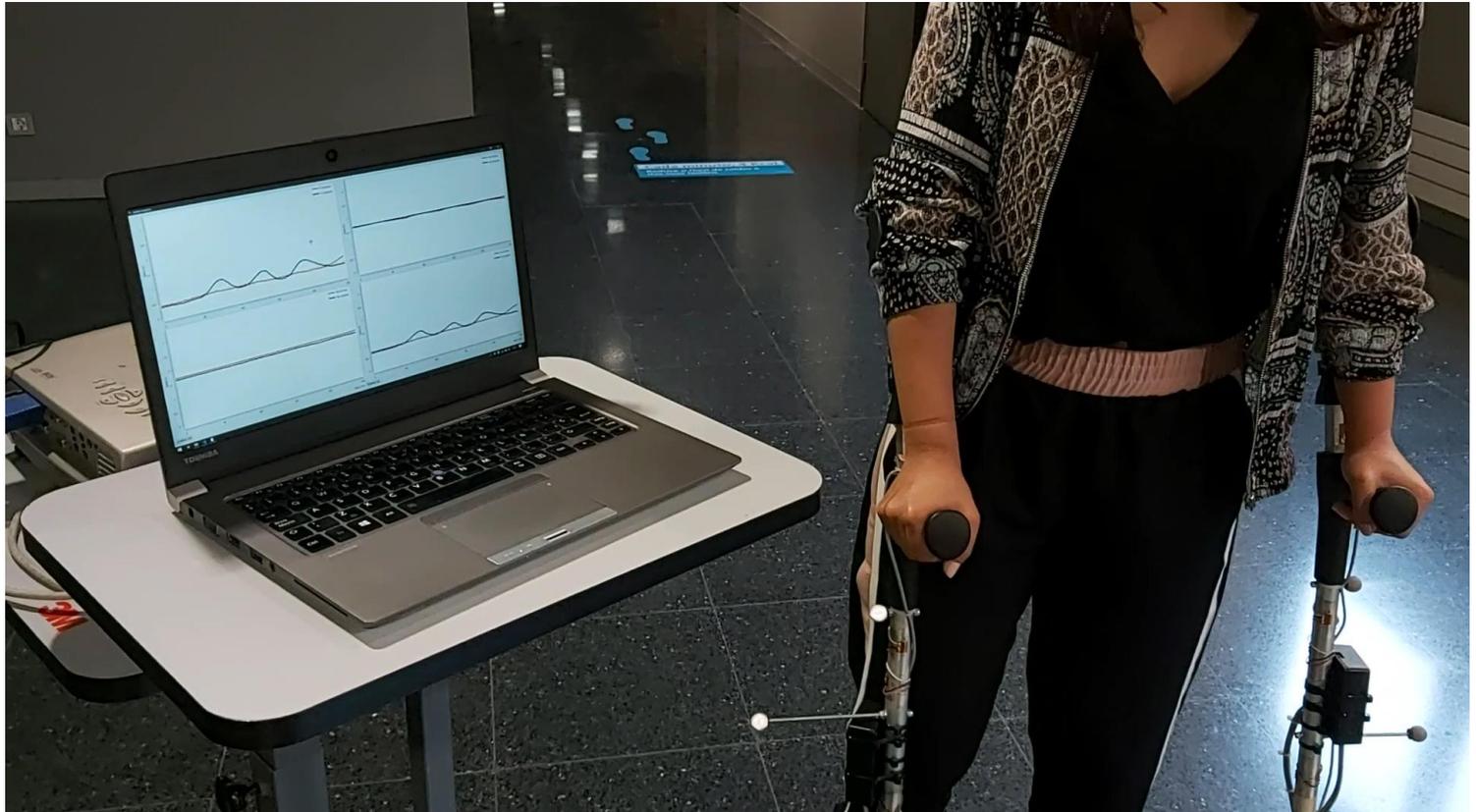
8

9

10

11

Funcionamiento y Resultados





UDC

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

Conclusiones

- Se ha logrado desarrollar un sistema inalámbrico que facilite el estudio del movimiento y la recogida de datos.
- Capacidad para representar en tiempo real datos relativos a las cuatro curvas de cada muleta.
- Presupuesto de materiales menor de 400€, diseñado para sustituir al antiguo amplificador valorado en más de 6000€.



Trabajo futuro

Se podrían implementar un par de procedimientos posteriores relacionados con la utilización de las muletas y su finalidad en la práctica.

- Calibrar las células de carga
- Integrar los datos obtenidos de las muletas instrumentadas a un programa de captura de movimiento completo de una persona, con visualización en tiempo real con el que se cuenta en el laboratorio.



Sistema inalámbrico para la medición de esfuerzos de contacto en muletas



Gracias por su atención



Calibración



Para cada paso de tiempo se cumple:

$$M_X = F_{Y_{PLACA}} \cdot H_X$$

$$M_Y = F_{X_{PLACA}} \cdot H_Y$$

$$F_Z = F_{Z_{PLACA}}$$

Voltajes de las células de la muleta
teniendo en cuenta posibles acoplamientos

$$M_X = K_1 \cdot V_{MX} + K_2 \cdot V_{MY} + K_3 \cdot V_{FZ} + C_1$$

$$M_Y = K_4 \cdot V_{MX} + K_5 \cdot V_{MY} + K_6 \cdot V_{FZ} + C_2$$

$$F_Z = K_7 \cdot V_{MX} + K_8 \cdot V_{MY} + K_9 \cdot V_{FZ} + C_3$$

Igualando las expresiones anteriores:

$$K_1 \cdot V_{MX} + K_2 \cdot V_{MY} + K_3 \cdot V_{FZ} + C_1 = F_{Y_{PLACA}} \cdot H_X$$

$$K_4 \cdot V_{MX} + K_5 \cdot V_{MY} + K_6 \cdot V_{FZ} + C_2 = F_{X_{PLACA}} \cdot H_Y$$

$$K_7 \cdot V_{MX} + K_8 \cdot V_{MY} + K_9 \cdot V_{FZ} + C_3 = F_{Z_{PLACA}}$$