

# Trabajo Fin de Grado

## Diseño de un pulsómetro por infrarrojos

**Rafael Bailón Ruiz**

Tutor

Dr. Alberto J. Palma López

Cotutor

Fernando Martínez Martí



Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores  
Universidad de Granada

22 julio de 2015

# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

- Fundamento teórico

- Medida de las pulsaciones

- Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

- Hardware

- Firmware

- Software

## 4 Resultados

- Prueba de validación estática

- Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

- Conclusiones

- Trabajos futuros

# Conceptos clave

# Conceptos clave

- Signos vitales:
  - Temperatura corporal
  - Frecuencia respiratoria
  - Tensión arterial
  - **Frecuencia cardíaca**

# Conceptos clave

- Signos vitales:
  - Temperatura corporal
  - Frecuencia respiratoria
  - Tensión arterial
  - **Frecuencia cardíaca**

## Pulsimetría

Método no invasivo de monitorización de la frecuencia cardíaca

# Conceptos clave

- Signos vitales:
  - Temperatura corporal
  - Frecuencia respiratoria
  - Tensión arterial
  - **Frecuencia cardíaca**

## Pulsimetría

Método no invasivo de monitorización de la frecuencia cardíaca

## Fotopletismografía (PPG)

Representación de la variación volumétrica de las arterias obtenida mediante luz

# Motivación

# Motivación

- Aumento de las enfermedades crónicas



# Motivación

- Aumento de las enfermedades crónicas
- Incremento de incidentes cardíacos inesperados
  - Infarto
  - Muerte súbita

# Motivación

- Aumento de las enfermedades crónicas
- Incremento de incidentes cardíacos inesperados
  - Infarto
  - Muerte súbita
- Necesidad de monitorización fuera del recinto hospitalario (*home care*)

# Motivación

- Aumento de las enfermedades crónicas
- Incremento de incidentes cardíacos inesperados
  - Infarto
  - Muerte súbita
- Necesidad de monitorización fuera del recinto hospitalario (*home care*)
- La instrumentación médica suele ser aparatosa y compleja de utilizar

# Motivación

- Aumento de las enfermedades crónicas
- Incremento de incidentes cardíacos inesperados
  - Infarto
  - Muerte súbita
- Necesidad de monitorización fuera del recinto hospitalario (*home care*)
- La instrumentación médica suele ser aparatosa y compleja de utilizar
- Auge de los *smartphones* y *wearable devices*:
  - Potencia
  - Interfaz de usuario
  - Conectividad

# Objetivos

# Objetivos

- Estudio bibliográfico de las señales cardíacas y de dispositivos existentes para su medida.

# Objetivos

- Estudio bibliográfico de las señales cardíacas y de dispositivos existentes para su medida.
- Diseño y fabricación de un pulsómetro con sensor infrarrojo.
  - Obtención del fotopletismograma.
  - Procesado de la señal.
  - Adquisición mediante un microcontrolador.
  - Comunicación inalámbrica con un sistema monitorización.
  - Diseño del sistema en placa de circuito impreso.

# Objetivos

- Estudio bibliográfico de las señales cardíacas y de dispositivos existentes para su medida.
- Diseño y fabricación de un pulsómetro con sensor infrarrojo.
  - Obtención del fotopletismograma.
  - Procesado de la señal.
  - Adquisición mediante un microcontrolador.
  - Comunicación inalámbrica con un sistema monitorización.
  - Diseño del sistema en placa de circuito impreso.
- Diseño e implementación de una aplicación móvil para la monitorización remota del pulso cardíaco de un paciente.



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

### Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

Trabajos futuros

# Ciclo cardíaco

- Secuencia de eventos **eléctricos**, mecánicos, sonoros y de **presión** relacionados con el flujo de sangre a través de las cavidades cardíacas

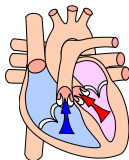
# Ciclo cardíaco

- Secuencia de eventos **eléctricos**, mecánicos, sonoros y de **presión** relacionados con el flujo de sangre a través de las cavidades cardíacas
- Fases:

# Ciclo cardíaco

- Secuencia de eventos **eléctricos**, mecánicos, sonoros y de **presión** relacionados con el flujo de sangre a través de las cavidades cardíacas
- Fases:

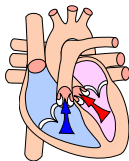
## **Sístole** Contracción



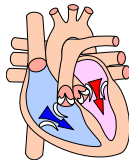
# Ciclo cardíaco

- Secuencia de eventos **eléctricos**, mecánicos, sonoros y de **presión** relacionados con el flujo de sangre a través de las cavidades cardíacas
- Fases:

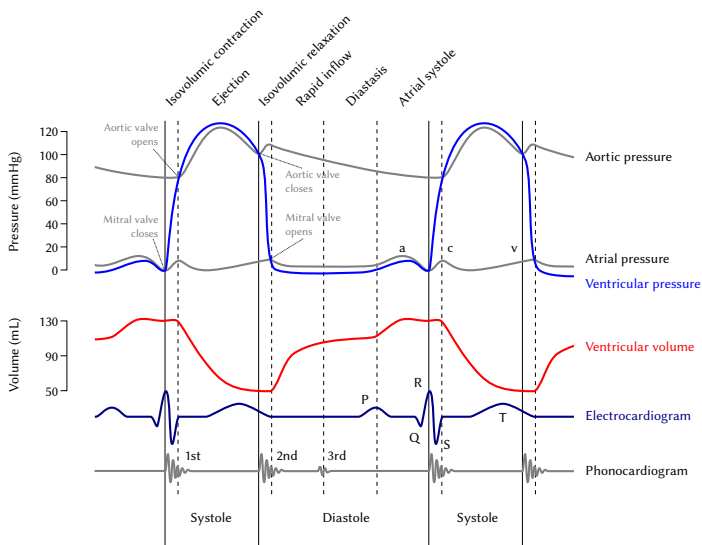
## **Sístole** Contracción



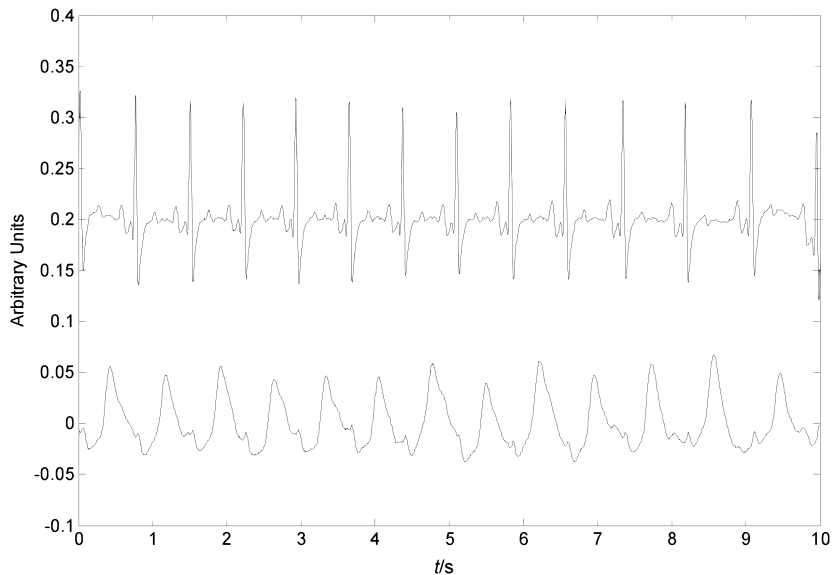
## **Diástole** Relajación



# Señales cardíacas



# ECG y PPG



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

**Medida de las pulsaciones**

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

Trabajos futuros



# Sensor fotopletismográfico

- Registra la variación de la absorbancia de tejidos, órganos y fluidos al ser iluminados

# Sensor fotopletismográfico

- Registra la variación de la absorbancia de tejidos, órganos y fluidos al ser iluminados
- Compuesto por

# Sensor fotopletismográfico

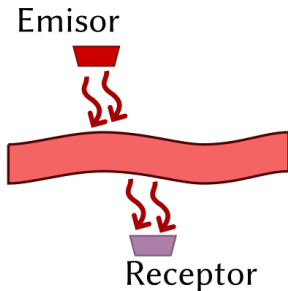
- Registra la variación de la absorbancia de tejidos, órganos y fluidos al ser iluminados
- Compuesto por
  - Emisor: *diode*
  - Receptor: *transistor* o *fotodiodo*
- Rango de frecuencias: infrarrojo – rojo

# Sensor fotopletismográfico

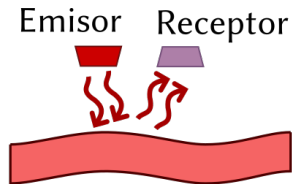
- Registra la variación de la absorbancia de tejidos, órganos y fluidos al ser iluminados
- Compuesto por
  - Emisor: *diode*
  - Receptor: *transistor* o *fotodiodo*
- Rango de frecuencias: infrarrojo – rojo

# Topología del sensor

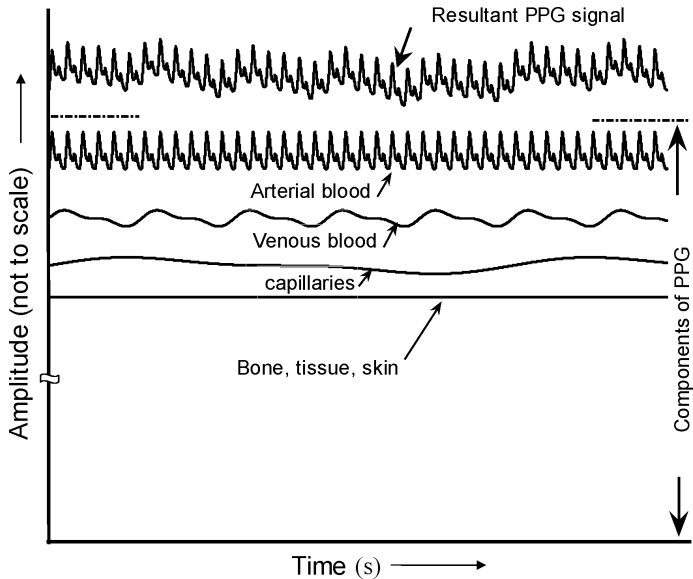
## Transmisión



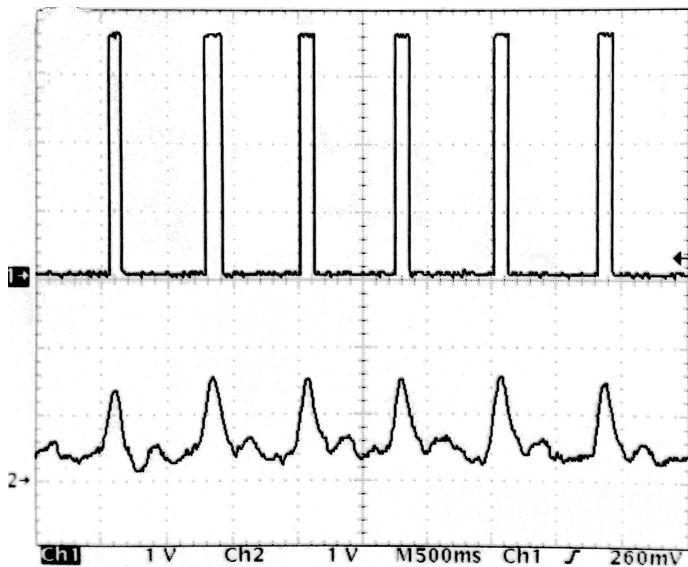
## Reflexión



# Componentes del PPG



## Pulsos



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

**Dispositivos comerciales**

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

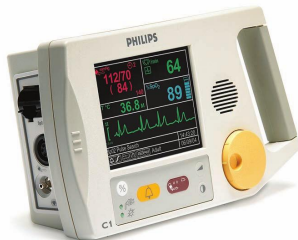
Conclusiones

Trabajos futuros



# Pulsómetros ECG

## Monitor ECG



## Cardiofrecuencímetro



# Pulsómetros PPG

- Pulsera *Fitbit*
- FitBit Inc. >100 patentes sobre *pulsómetros vestibles*

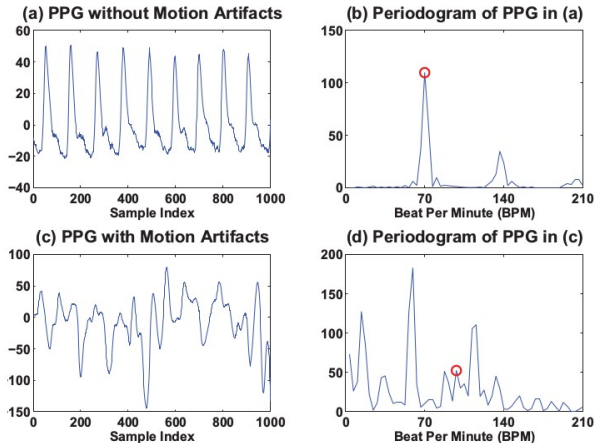


- Pulsera *Samsung Gear Fit*
- Diseñada para comunicación con smartphone



# Problema de los pulsómetros PPG

- Artefactos debidos al movimiento



# Topología de los sensores

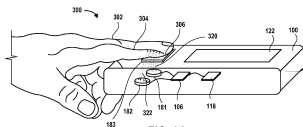


FIG. 3A

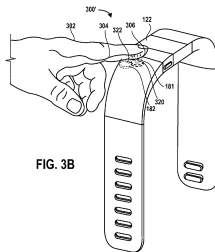


FIG. 3B

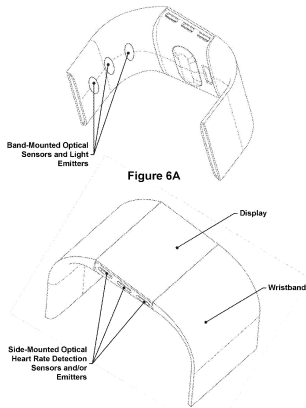
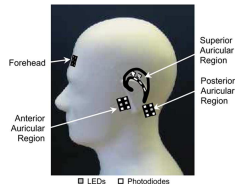


Figure 6A



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

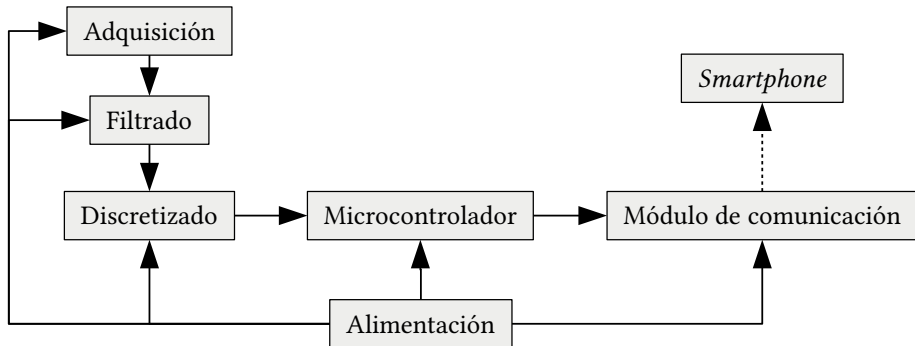
Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

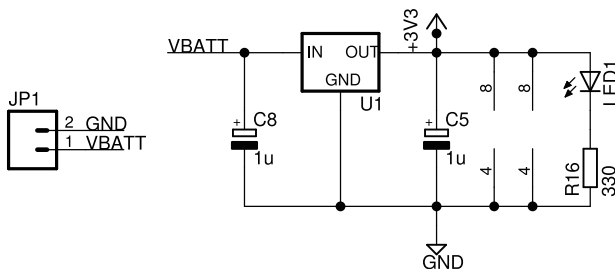
Trabajos futuros

# Diagrama

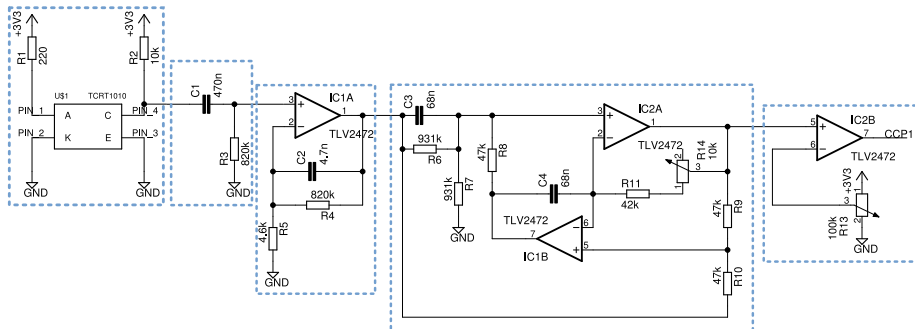


# Alimentación

- Regulador: MCP1700



# Adquisición y procesamiento



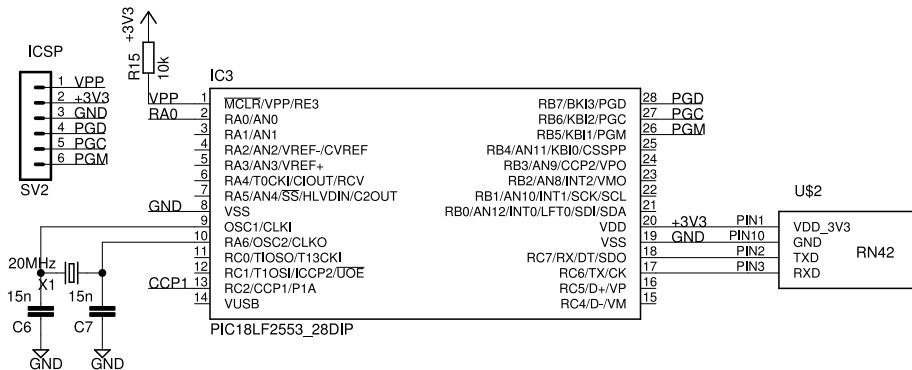
Adquisición

Paso alta  
4,1HzPaso baja  
41Hz  
K=174Elimina banda  
50Hz

Discretizado



# Microcontrolador y comunicación



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

**Firmware**

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

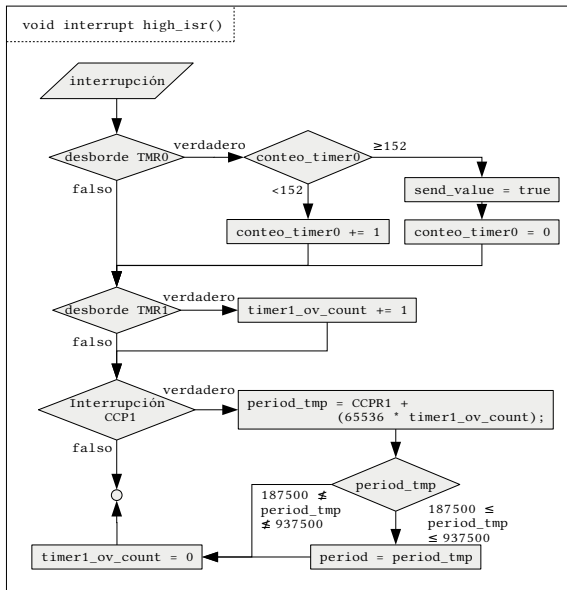
Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

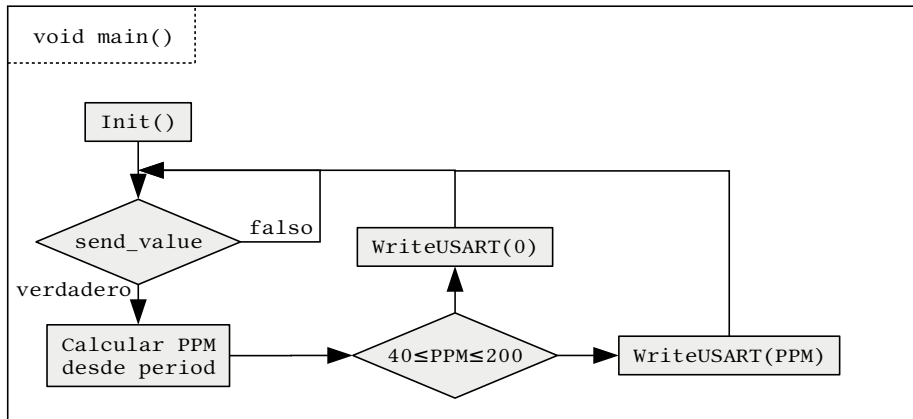
Conclusiones

Trabajos futuros

# Manejo de interrupciones



# Función principal



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

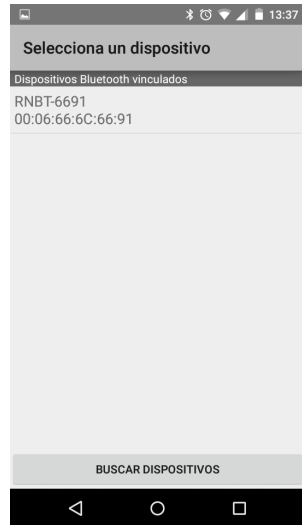
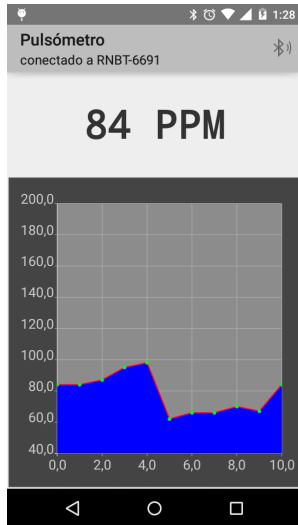
Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

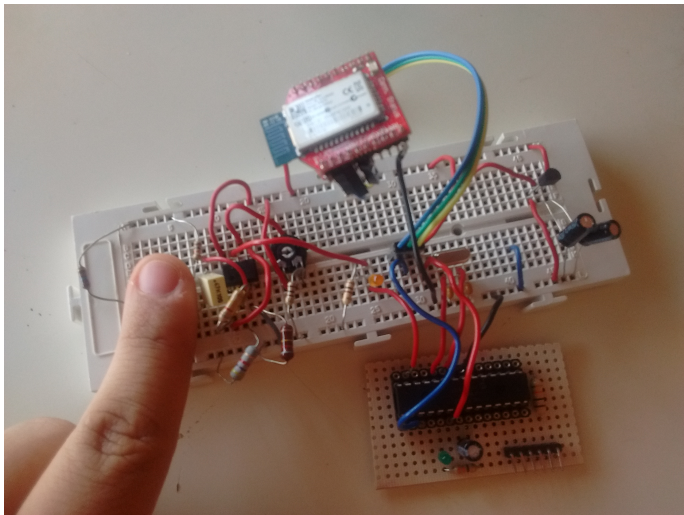
Conclusiones

Trabajos futuros

# Aplicación Android



# Pulsómetro en funcionamiento



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

Trabajos futuros



# Condiciones de test

# Condiciones de test

- Toma de pulsaciones en reposo

# Condiciones de test

- Toma de pulsaciones en reposo
- Sujeto:
  - Varón
  - Atleta veterano
  - 54 años

# Condiciones de test

- Toma de pulsaciones en reposo
- Sujeto:
  - Varón
  - Atleta veterano
  - 54 años
- Validación de los datos:
  - Comparación con cardiofrecuencímetro comercial basado en ECG

# Resultados

	Pulsómetro	Cardiofrecuencímetro
Promedio pulsaciones [PPM]	70	69
Desviación estándar	4,01	1,90
g	8	8
n	9	9
t student (0,9950)	3,355	3,355
Error absoluto	$\pm 4,49$	$\pm 2,12$

# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

Trabajos futuros

# Condiciones de test

- Toma de pulsaciones durante el periodo de recuperación tras sesión de ejercicio

## Condiciones de test

- Toma de pulsaciones durante el periodo de recuperación tras sesión de ejercicio
- Sujeto:
  - Varón
  - Atleta veterano
  - 54 años

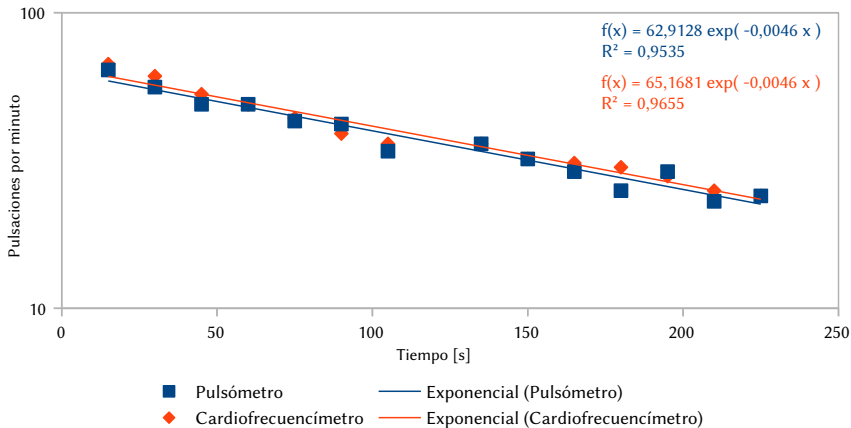


## Condiciones de test

- Toma de pulsaciones durante el periodo de recuperación tras sesión de ejercicio
- Sujeto:
  - Varón
  - Atleta veterano
  - 54 años
- Validación de los datos:
  - Comparación con cardiofrecuencímetro comercial basado en ECG

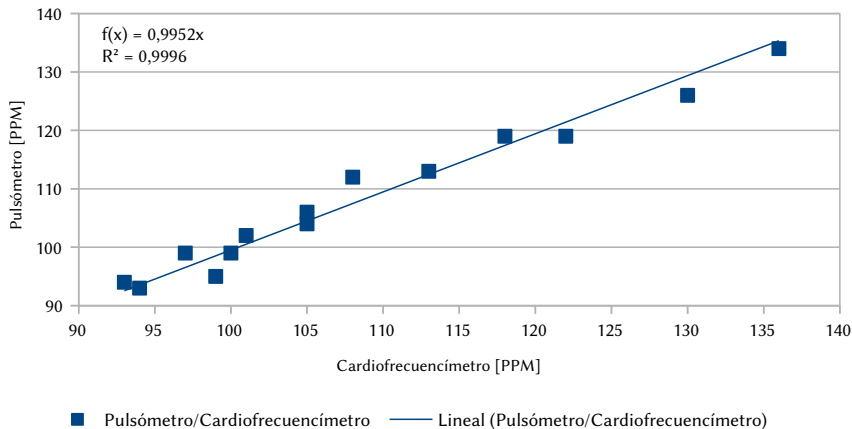
# Resultados

## Incremento de las pulsaciones del sujeto respecto al reposo



# Resultados

## Pulsómetro frente a cardiofrecuencímetro



# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- El estudio del estado del arte ha revelado las posibilidades de la pulsimetría basada en PPG

# Conclusiones

- El estudio del estado del arte ha revelado las posibilidades de la pulsimetría basada en PPG
- La comunicación inalámbrica y los *smartphones* facilitan el uso de la instrumentación médica

# Conclusiones

- El estudio del estado del arte ha revelado las posibilidades de la pulsimetría basada en PPG
- La comunicación inalámbrica y los *smartphones* facilitan el uso de la instrumentación médica
- Comprobación del funcionamiento del pulsómetro diseñado

# Índice

## 1 Introducción

## 2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

## 3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

## 4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

## 5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

Trabajos futuros



# Trabajos futuros

- Pasar del montaje experimental al producto final

# Trabajos futuros

- Pasar del montaje experimental al producto final
- Mejorar la topología del sensor fotopletiśmográfico

# Trabajos futuros

- Pasar del montaje experimental al producto final
- Mejorar la topología del sensor fotopletiśmográfico
- Ampliar funcionalidad de la aplicación
  - Portar a otros sistema operativos
  - Más opciones de configuración y personalización

# Referencias I



Ramlee, R.A. et al.

*Low cost heart rate monitoring device using Bluetooth*  
2014 2nd International Conference on Information and  
Communication Technology (ICoICT). 42–46, 2014.



Venkatraman, S.

*Wearable heart rate monitor*  
United States Patent: 8945017. February 3, 2015.



Zhang, Z.

*Heart rate monitoring from wrist-type photoplethysmographic (PPG) signals during intensive physical exercise*  
2014 IEEE Global Conference on Signal and Information  
Processing (GlobalSIP). 698–702, 2014.

# Referencias II

<sup>1</sup>Thesis Defense de Randall Munroe traducido por Gabriel Rodríguez Alberich, disponible bajo la licencia CC BY-NC 2.0 <http://es.xkcd.com/strips/defensa-de-tesis/>

Referencias a las imágenes y diagramas en la memoria.

# ¡Gracias por su atención!



LA MEJOR DEFENSA DE TESIS ES UN BUEN ATAQUE DE TESIS <sup>1</sup>

Contenido disponible en  
<https://github.com/rafael1193/TFG-heart-rate-monitor>