

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

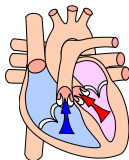
Ciclo cardíaco

- 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:

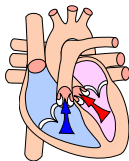
Sístole Contracción



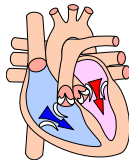
Ciclo cardíaco

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

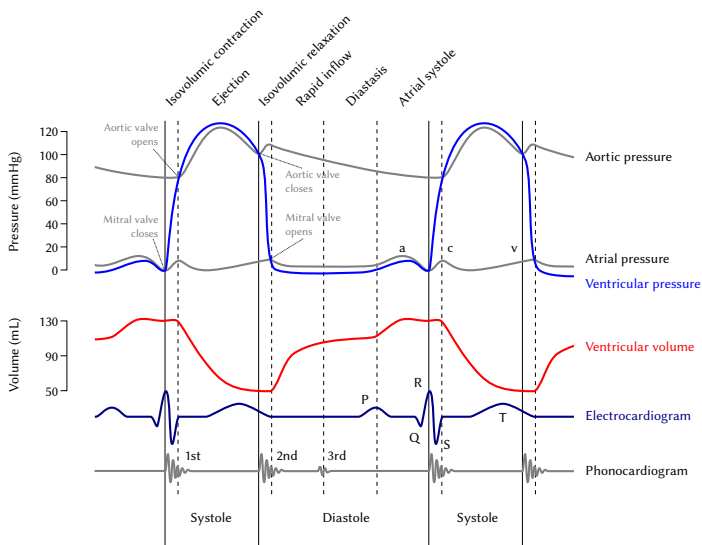
Sístole Contracción



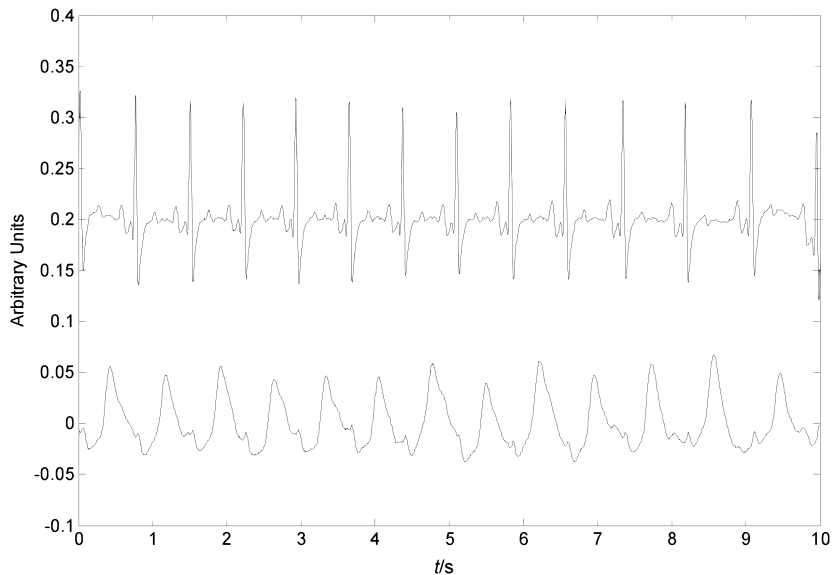
Diástole Relajación



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 fotoplethysmográfico

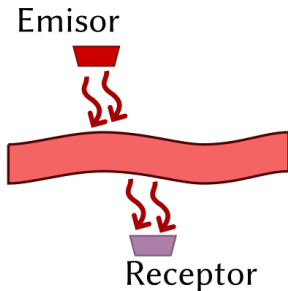
- Registra la variación de la absorbancia de tejidos, órganos y fluidos al ser iluminados
- Compuesto por
 - Emisor: *diodo*
 - Receptor: *transistor o fotodiodo*
- Rango de frecuencias: infrarrojo – rojo

Sensor fotoplethysmográfico

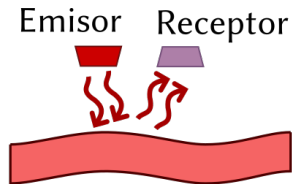
- Registra la variación de la absorbancia de tejidos, órganos y fluidos al ser iluminados
- Compuesto por
 - Emisor: *diodo*
 - Receptor: *transistor o fotodiodo*
- Rango de frecuencias: infrarrojo – rojo

Topología del sensor

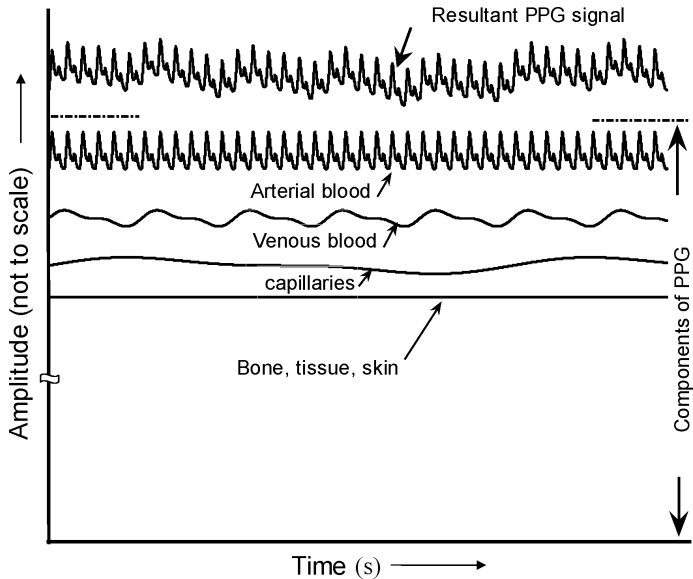
Transmisión



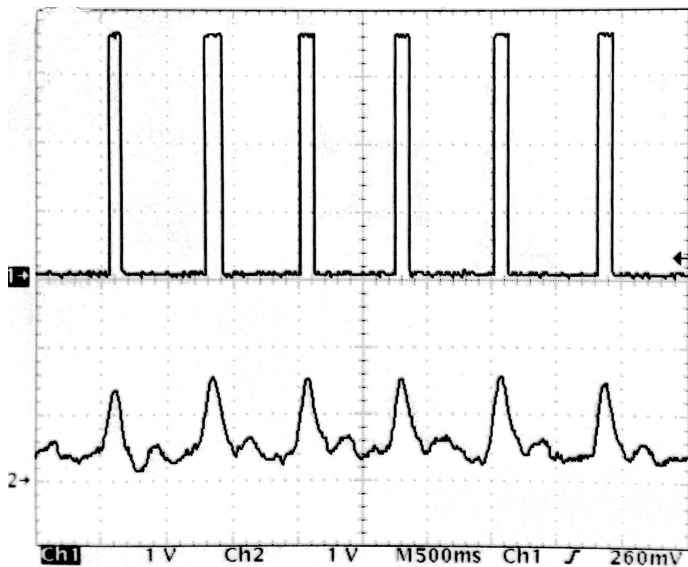
Reflexión



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

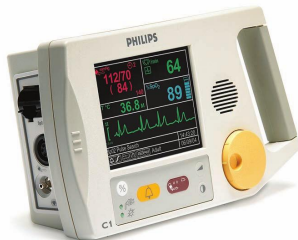
5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

Trabajos futuros

Pulsómetros ECG

Monitor ECG



Cardiofrecuencímetro



Pulsómetros PPG

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

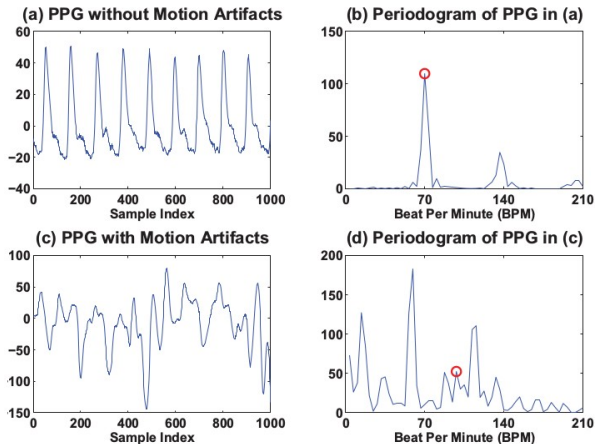


- Pulsera *Samsung Gear Fit*
- Diseñada para comunicación con smartphone



Problema de los pulsómetros PPG

- Artefactos debidos al movimiento



Topología de los sensores

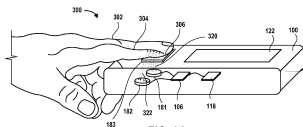


FIG. 3A

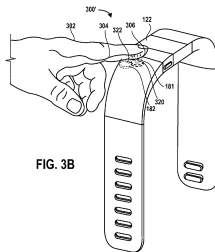


FIG. 3B

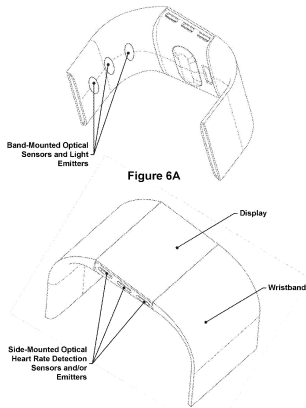
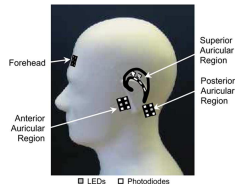


Figure 6A



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

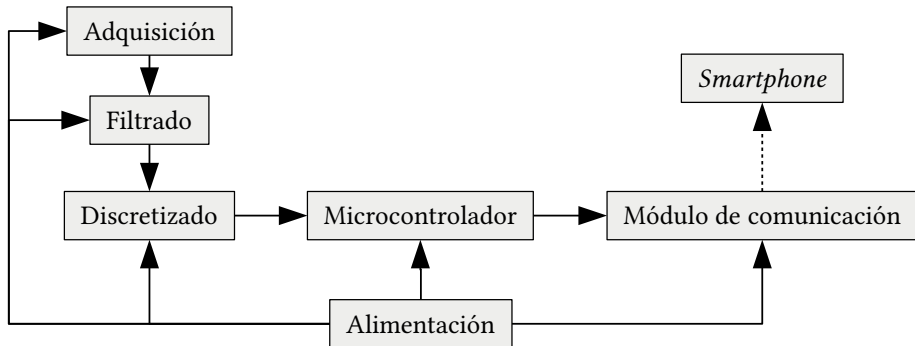
Prueba de validación dinámica

5 Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

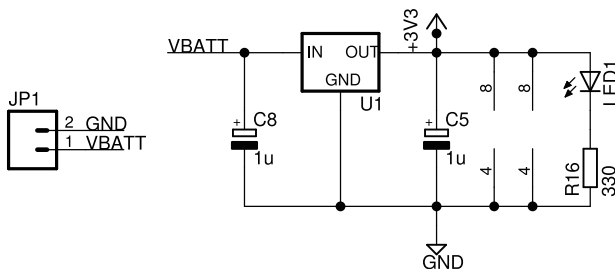
Trabajos futuros

Diagrama

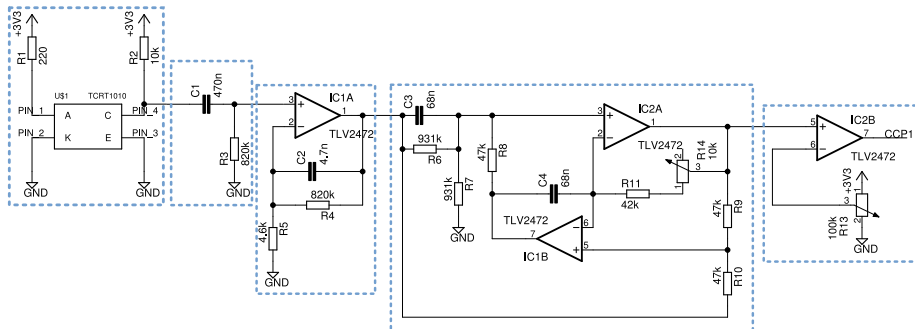


Alimentación

- Regulador: MCP1700



Adquisición y procesamiento

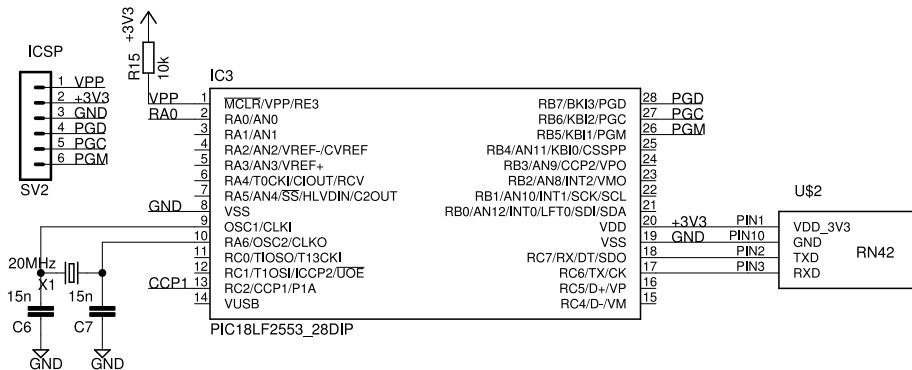


Adquisición

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

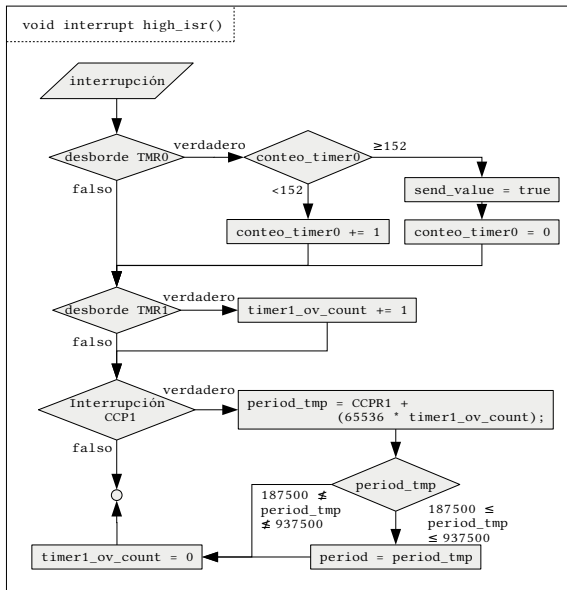
Prueba de validación dinámica

5 Conclusiones y trabajos futuros

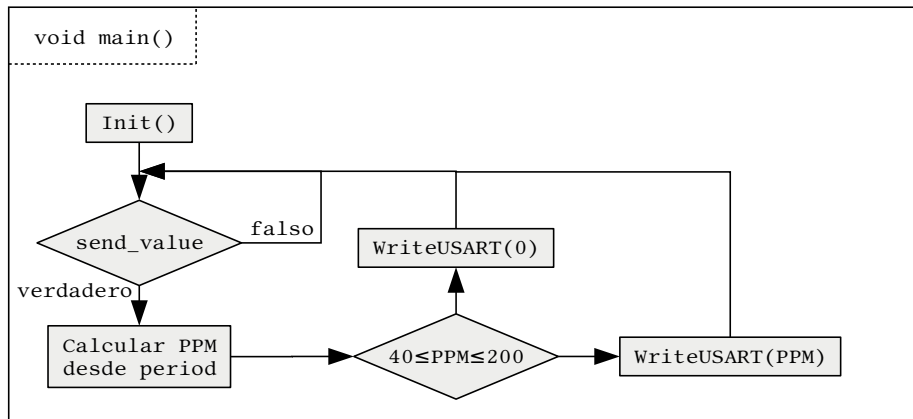
Conclusiones

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

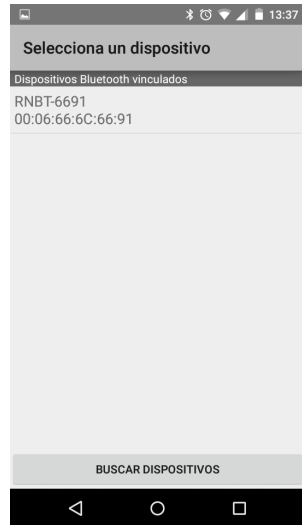
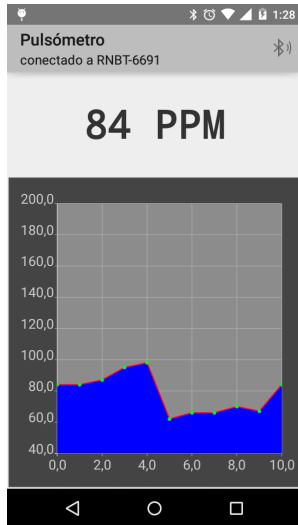
Prueba de validación dinámica

5 Conclusiones y trabajos futuros

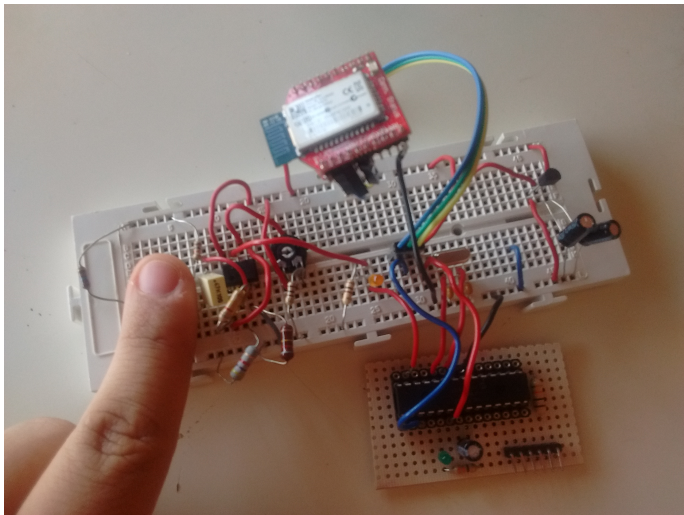
Conclusiones

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

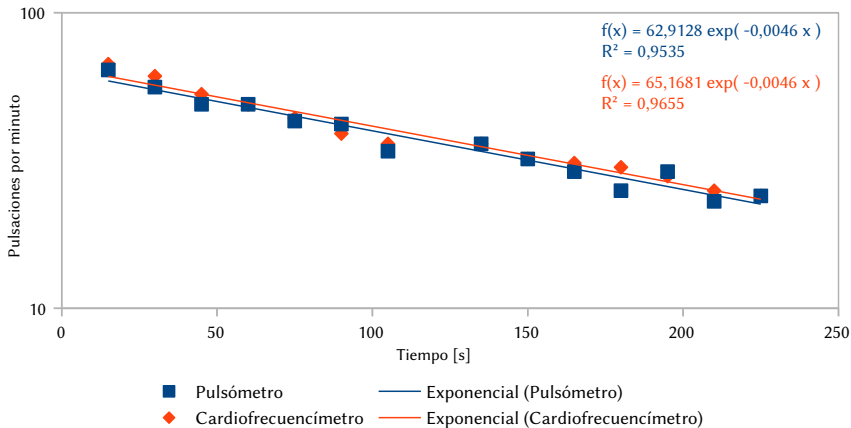
- Toma de pulsaciones durante el periodo de recuperación tras sesión de ejercicio
- Sujeto:
 - Varón
 - Atleta veterano
 - 54 años

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

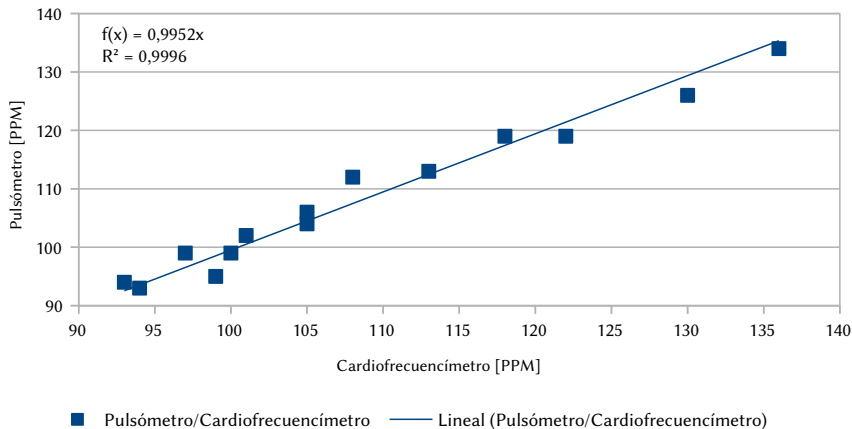
Resultados

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

¹Thesis 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 ¹

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