

Trabajo Fin de Grado

Diseño de un pulsómetro por infrarrojos

Rafael Bailón Ruiz

Tutor

Dr. Alberto J. Palma López

Cotutor

Dr. Fernando Martínez Martí



Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores
Universidad de Granada

20 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

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 cardiacos inesperados
 - Infarto
 - Muerte súbita

Motivación

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

Motivación

- Aumento de las enfermedades crónicas
- Incremento de incidentes cardiacos 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 cardiacos 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

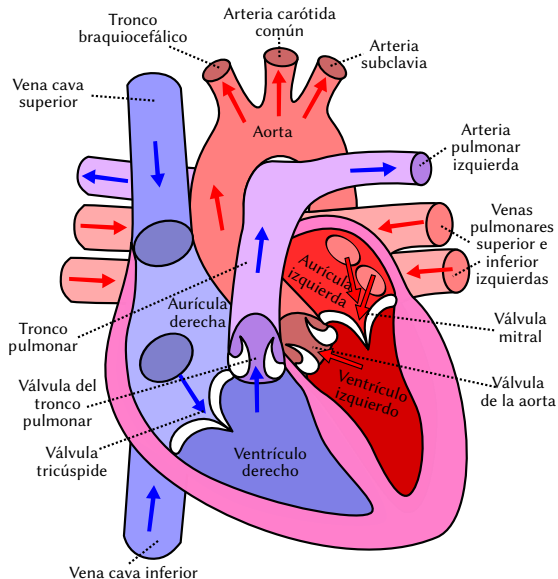
4 Resultados

Prueba de validación estática

Prueba de validación dinámica

5 Conclusiones y trabajos futuros

Corazón



Ciclo cardíaco

Ciclo cardíaco

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

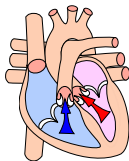
Ciclo cardíaco

- 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:

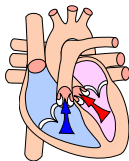
Sístole Contracción



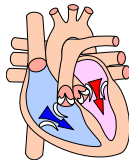
Ciclo cardíaco

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

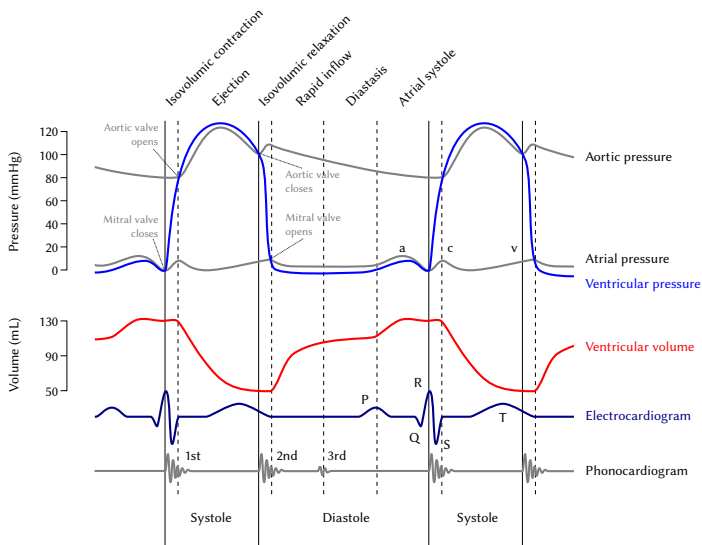
Sístole Contracción



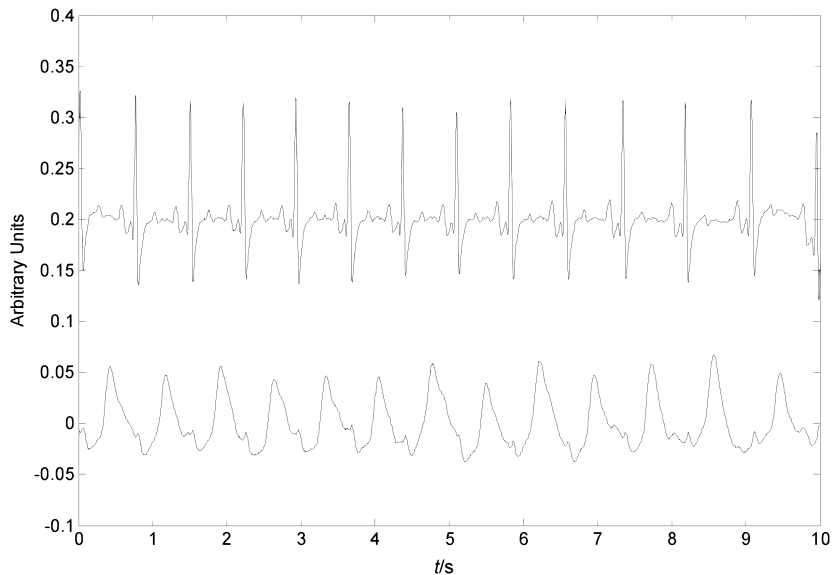
Diástole Relajación



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

Sensor fotopletismográfico

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: *diodo*

Sensor fotoplethysmográfico

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

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

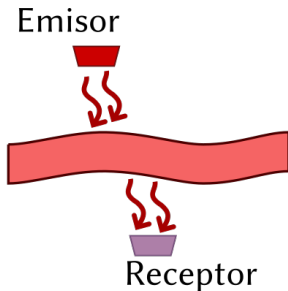
Sensor fotoplethysmográfico

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

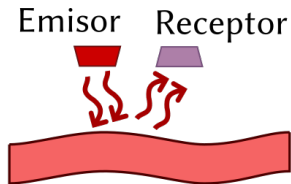
Topología del sensor

Topología del sensor

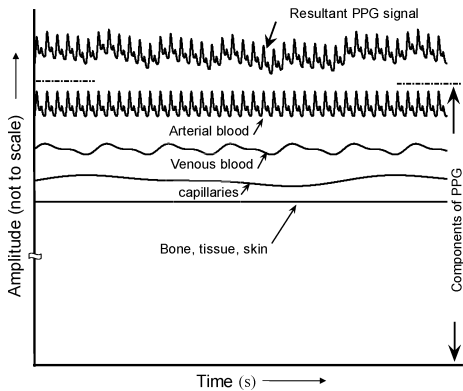
Transmisión



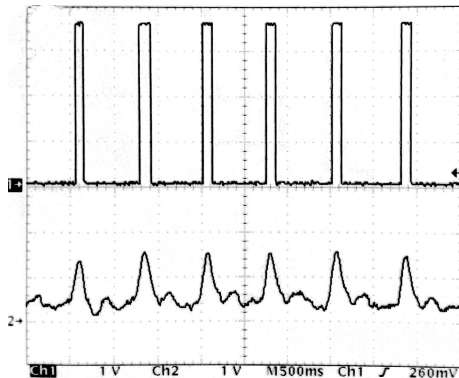
Reflexión



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

Pulsómetros ECG

Monitor ECG



Cardiofrecuencimetro



Pulsómetros PPG

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

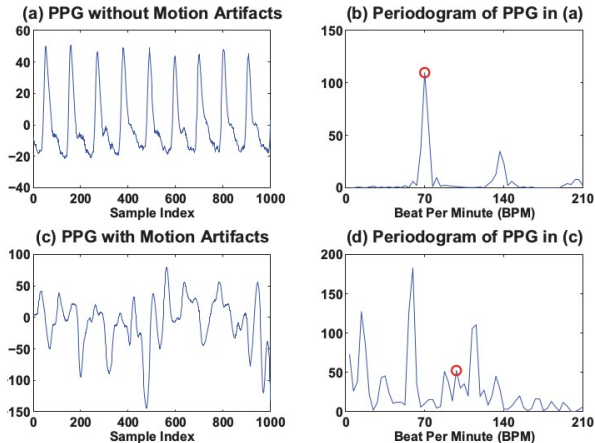


- Pulsera *Samsung Gear Fit*
- Diseñada para comunicación con smartphone



Problema de los pulsómetros PPG

- Artefactos debidos al movimiento



Topología de los sensores

Topología de los sensores

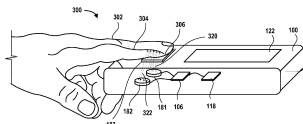


FIG. 3A

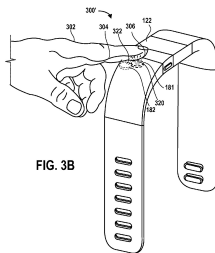


FIG. 3B

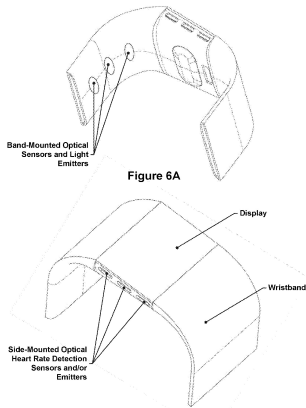
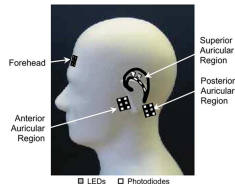
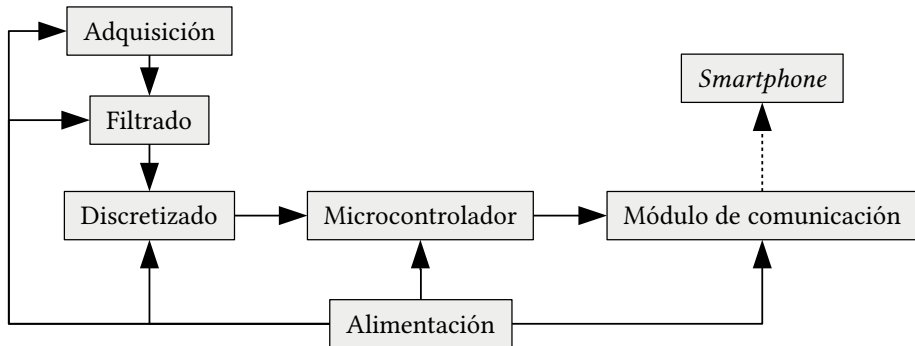


Figure 6A



Diagrama



Índice

1 Introducción

2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

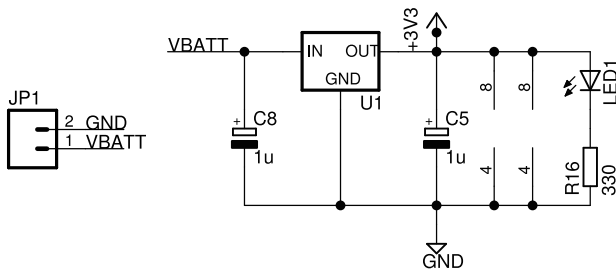
4 Resultados

Prueba de validación estática

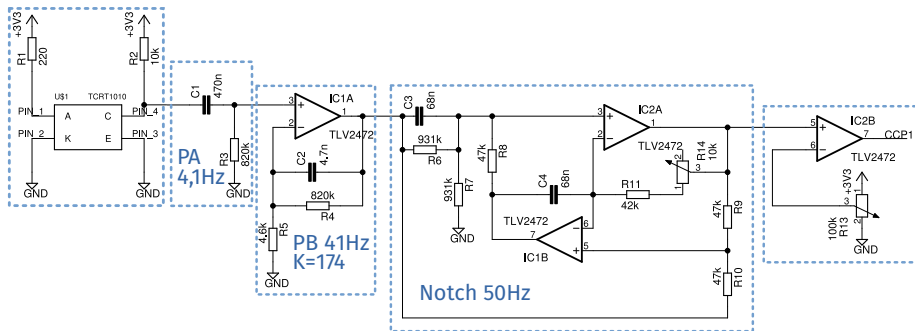
Prueba de validación dinámica

5 Conclusiones y trabajos futuros

Alimentación

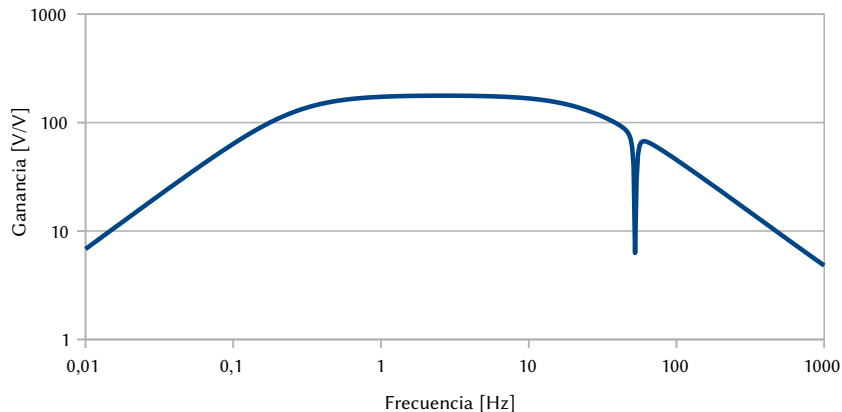


Adquisición y procesamiento

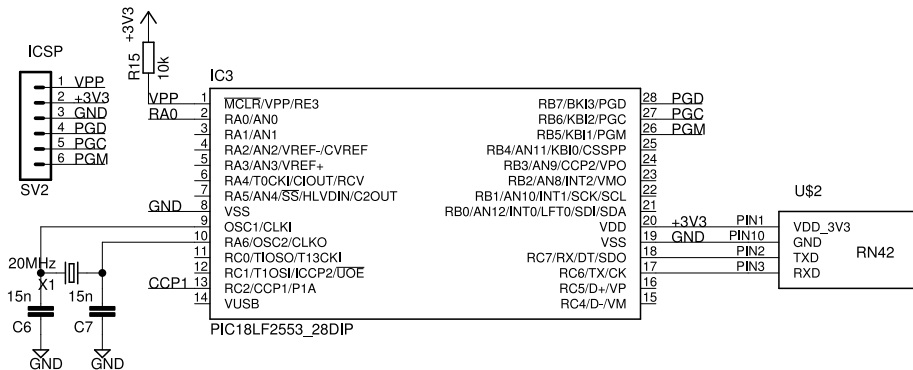


Característica de los filtros

Etapas de filtrado



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

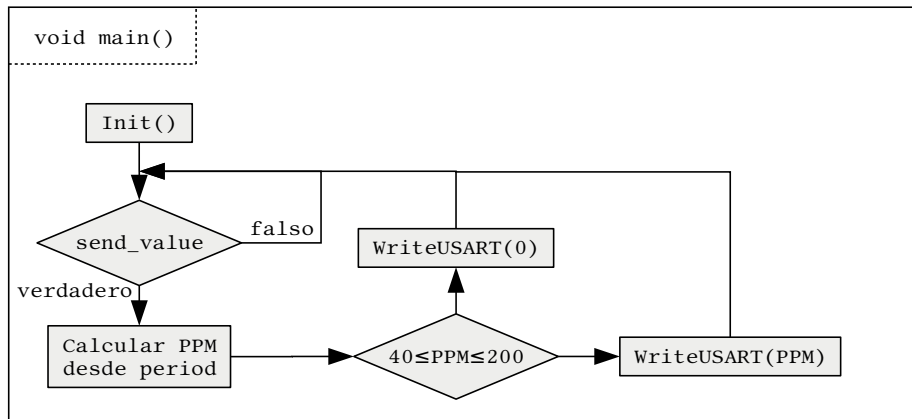
4 Resultados

Prueba de validación estática

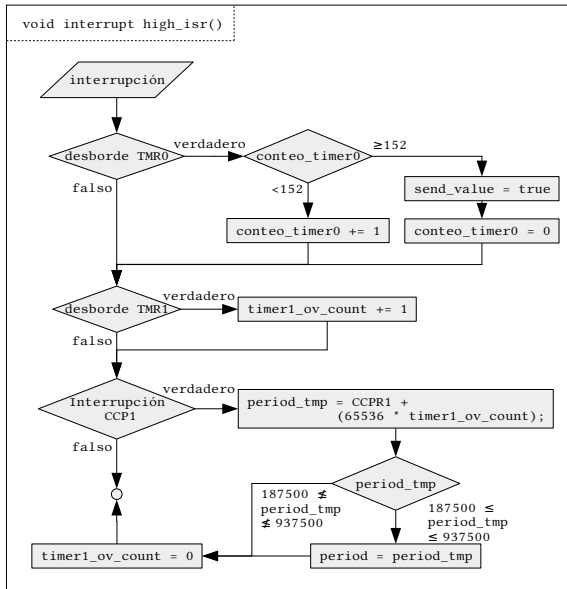
Prueba de validación dinámica

5 Conclusiones y trabajos futuros

Función principal



Manejo de interrupciones



Índice

1 Introducción

2 Estado del Arte

Fundamento teórico

Medida de las pulsaciones

Dispositivos comerciales

3 Diseño y desarrollo del sistema

Hardware

Firmware

Software

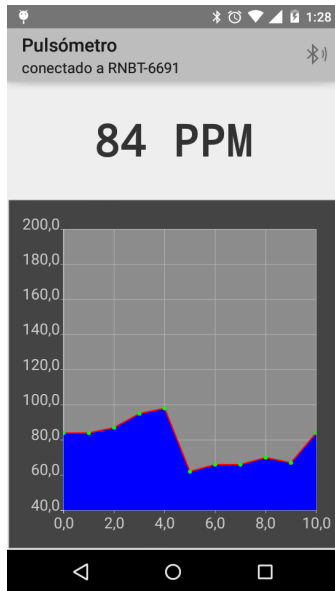
4 Resultados

Prueba de validación estática

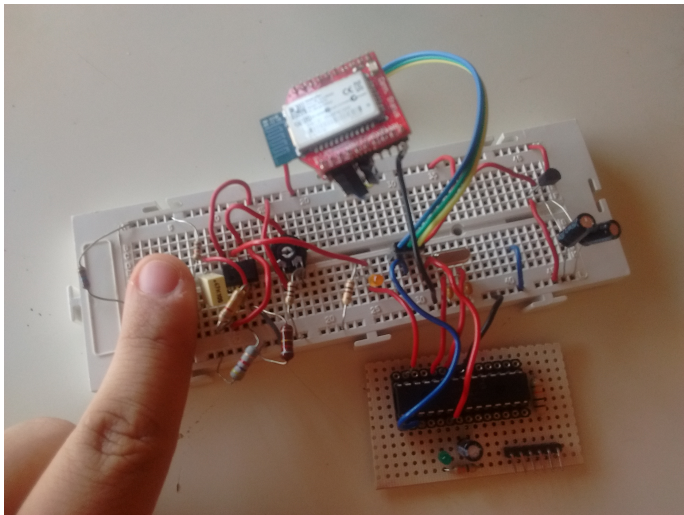
Prueba de validación dinámica

5 Conclusiones y trabajos futuros

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

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

Condiciones de test

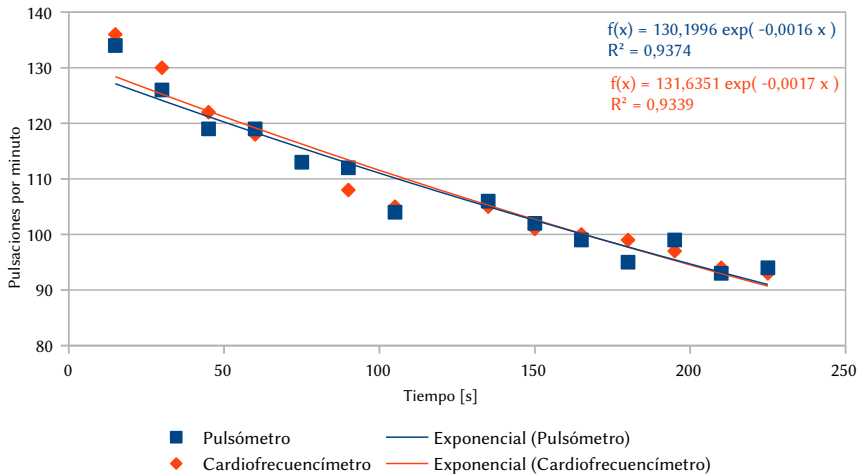
- Toma de pulsaciones durante el periodo de recuperación tras sesión de ejercicio

Condiciones de test

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

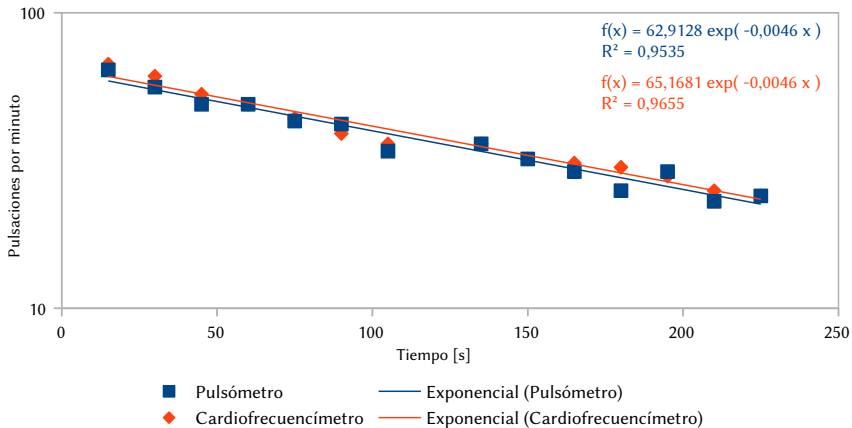
Resultados

Pulsaciones del sujeto durante el periodo de recuperación



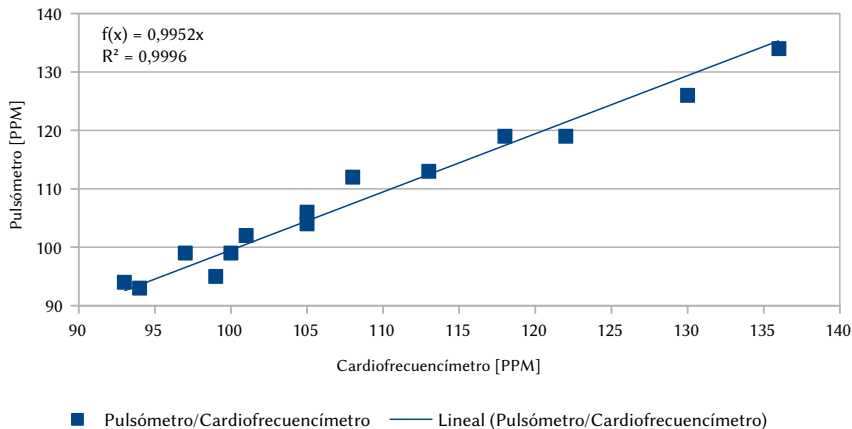
Resultados

Incremento de las pulsaciones del sujeto respecto al reposo



Resultados

Pulsómetro frente a cardiofrecuencímetro



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 correcto funcionamiento del pulsómetro

Trabajos Futuros

- Pasar del montaje experimental al producto final
- Diseñar un sistema de fijación del sensor al dedo
- Ampliar funcionalidad de la aplicación
 - Portar a otros sistema operativos
 - Más opciones de configuración y personalización

Preguntas

¡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>

Referencias I

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/>