

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de  
Telecomunicación

Construcción de laboratorio de Bioingeniería  
orientado a la Docencia.

Autor: Francisco José Sáez Mulero

Tutor: Ascensión Zafra Cabeza

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

# **Construcción de laboratorio de Bioingeniería orientado a la Docencia.**

Autor:

Francisco José Sáez Mulero

Tutor:

Ascensión Zafra Cabeza

Profesora titular

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, Septiembre 2018



Trabajo Fin de Grado: Construcción de laboratorio de Bioingeniería orientado a la Docencia.

Autor: Francisco José Sáez Mulero

Tutor: Ascensión Zafra Cabeza

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal



*A todas las personas que me han  
apoyado desde el primer día y sé  
que seguirán haciéndolo.*





# Agradecimientos

---

Escribiendo estas líneas me siento bastante orgulloso de estar cerrando con ello una etapa dura de mi vida, donde han sido muchas las horas empleadas, infinidad de sentimientos vividos y retos conseguidos.

Pero a la misma vez me siento algo nostálgico, ya que también se cierra una de las etapas, más apasionantes de mi vida. Donde he tenido la suerte de conocer grandes amigos, profesores, idiomas, países...

Nunca imaginé como aquel chico de pueblo, que jamás había abierto un ordenador antes de entrar en esta carrera, acabaría con una de las titulaciones más exigentes del abanico educativo existente. Y desde mi vana experiencia exterior a la escuela, no creo que sea cierto ese mito de que la ETSI forme mejor que otras escuelas, solo que nos enseñan a tener un alto grado de superación tras el fracaso. Algo que en el resto de nuestra vida puede que sea una de las enseñanzas más prácticas.

No obstante, referente a este trabajo fin de carrera, me siento muy afortunado por haber podido desarrollarlo. Ya que desde mi punto de vista, no hay nada más reconfortante personalmente que aplicar la tecnología a un sector que salva vidas, como es la Bioingeniería.

Y además de ello de haberlo podido hacer con Ascensión, una tutora excelente. La cual me ha apoyado y aconsejado muy gratamente. Y un equipo técnico en los laboratorios bastante bueno para desarrollar la parte docente. Sin olvidar a los alumnos, los cuales han mostrado una gran pasión y respeto por los temas tratados.

Finalmente, dejar constancia que todo esto no hubiese sido posible sin el apoyo de mi familia y amigos. Los cuales han estado presentes en cada momento duro de esta etapa.

Gracias.

# Resumen

---

Este trabajo fin de grado se centra en la creación de un laboratorio práctico orientado a las asignaturas de Bioingeniería.

Para ello se partió del estudio de las posibles aplicaciones prácticas de esta asignatura en función de los contenidos teóricos tratados. Seguidamente con esta información presente se realizó un estudio de mercado de los posibles dispositivos que cubrirían estas necesidades.

Tras una primera selección de varios posibles equipos para el laboratorio práctico, se hizo un estudio más exhaustivo de cada uno de ellos, con el fin de discernir los más óptimos para nuestro caso en cuestión.

Ya con los dispositivos en nuestro poder se pasó a diseñar los diferentes escenarios donde los alumnos harían uso de estos equipos y pondrían en práctica los conocimientos adquiridos en la asignatura. Diseñados los escenarios se pasaría al desarrollo de ellos por parte del alumnado.

Este desarrollo constaba de diferentes escenarios, con la finalidad de que los participantes pudiesen profundizar en cada uno de los temas tratados. Culminando con diversas prácticas donde cada alumno podía probar en primera persona los diferentes dispositivos obteniéndose así una serie de resultados propios de cada persona para un posterior estudio de los mismos.



# Abstract

---

This final degree project focuses on the creation of a practical laboratory focused on the subject of Bioengineering.

For this, the study of the possible practical applications of this subject was based on the theoretical contents treated. Then with this present information a market study of the possible devices that would cover these needs was made.

After a first selection of several possible equipment for the practical laboratory of the subject, a more exhaustive study of each of them was done, in order to discern the most optimal for our case in question.

With the devices in our possession, we went on to design the different scenarios where the students would use these equipment and put into practice the knowledge acquired in the subject. Once the scenarios were designed, they would be developed by the students.

This development consisted of different scenarios, with the purpose that the participants could deepen in each one of the treated subjects. Culminating with diverse practices where each student could try in the first person the different devices obtaining therefore a series of own results of each person for a later study of the same ones.





<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>x</b>
<b>Abstract</b>	<b>xii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xxix</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación	1
1.2 Situación actual	1
1.3 Objetivos	1
1.4 Metodología	2
<b>2 Base teórica docente</b>	<b>5</b>
2.1 ¿Qué es la Bioingeniería?	5
2.1.1 Aplicaciones de la bioingeniería	5
2.2 Contenido teórico docente	5
2.2.1 Biomedicina	5
2.2.2 Biomecánica	6
2.2.3 Bioelectrónica	6
2.3 Evaluación de posibles casos prácticos	7
2.3.1 Selección inicial de posibles casos prácticos	7
2.3.2 Casos prácticos seleccionados finalmente	8
<b>3 Escenarios prácticos seleccionados</b>	<b>10</b>
3.1 Electrocardiograma (ECG)	10
3.1.1 Base teórica	10
3.1.2 Adaptación a la práctica docente	11
3.1.3 Elección de posibles dispositivos de mercado	11
3.1.4 Elección final del dispositivo	14
3.2 Índice de glucosa en sangre	15
3.2.1 Base teórica	15
3.2.2 Adaptación a la práctica docente	15
3.2.3 Elección de posibles dispositivos de mercado	16
3.2.4 Elección final del dispositivo	19
<b>4 Análisis de dispositivos seleccionados</b>	<b>21</b>
4.1 Electrocardiograma: ECG PULOX PM10	21
4.1.1 Definición	21
4.1.2 Características y especificaciones técnicas	22
4.1.2.1 Ambiente de funcionamiento habitual.	22
4.1.2.2 Parámetros básicos.	22
4.1.1 Aplicación docente	22

4.2	<i>Diabetes: CONTOUR NEXT</i>	23
4.2.1	Definición	24
4.2.2	Características y especificaciones técnicas	24
4.2.3	Aplicación docente	24
<b>5</b>	<b>Escenarios prácticos docentes</b>	<b>28</b>
5.1	<i>Diseño y Organización</i>	28
5.2	<i>Escenario práctico ECG</i>	30
5.2.1	Base teórica inicial impartida	30
5.2.2	Profundizando sobre base teórica	
		31
5.2.3	Pruebas realizadas por los participantes	32
5.2.4	Posterior análisis de los resultados	34
5.3	<i>Escenario práctico Diabetes</i>	37
5.2.1	Base teórica inicial impartida	37
5.2.2	Pruebas realizadas por los participantes	38
5.2.3	Posterior análisis de los resultados	38
<b>6</b>	<b>Tratamiento estadístico de los datos obtenidos</b>	<b>41</b>
6.1	<i>Resultados obtenidos</i>	41
6.1.1	Datos del escenario: ECG	42
6.1.2	Datos del escenario: Diabetes	42
6.2	<i>Análisis estadístico de los resultados</i>	43
6.2.1	Análisis del escenario: ECG y Diabetes	43
6.2.2		
<b>7</b>	<b>Planificación</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>51</b>
	<b>Referencias</b>	<b>53</b>
	<b>Índice de Conceptos</b>	<b>55</b>
	<b>Glosario</b>	<b>57</b>
	<b>Anexo A: Manual de uso: Pulox PM10</b>	<b>59</b>
	<b>Anexo B: Manual de uso: Contour Next USB</b>	<b>62</b>
	<b>Anexo C: Instalación Software Pulox PM10</b>	<b>68</b>
	<b>Anexo D: Instalación Software Contour Next USB</b>	<b>72</b>







# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Edad rpm

Tabla 2. Sedentario, en forma y deportista.

Tabla 3. Estudio 1

Tabla 4. Estudio 2

Tabla 5. Estudio 3

Tabla 6. Presupuesto 1

Tabla 7. Presupuesto 2



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Electrocardiograma

Figura 2. ECG 101 TFT

Figura 3: Alivecor ECG

Figura 4: Qardio ECG

Figura 5: Pulox ECG

Figura 6: SD Biosensor

Figura 7: LifeScan

Figura 8: FreeStyle

Figura 9: Glucowise

Figura 10: Contour

Figura 11. Pulox PM10

Figura 12. Modos de medida ECG.

Figura 13. Contour Next USB

Figura 14. Contour inserción lanceta

Figura 15. Contour extracción muestra

Figura 16. Contour medida de muestra extraída

Figura 17. Onda eléctrica cardíaca

Figura 18. PQRST

Figura 19. Corazón

Figura 20. PQRSTU

Figura 21. Ritmo Normal

Figura 22. Ritmo Irregular

Figura 23. Ritmo irregular ejemplo

Figura 24. ECG A y B

Figura 25. ECG C y D

Figura 26. ECG E y F

Figura 27. Análisis diabetes

Figura 28. ECG 1

Figura 29. ECG 2

Figura 30. ECG 3

Figura 31. ECG 4

Figura 32. ECG 5

Figura 33. Contour 1

Figura 34. Contour 2

Figura 35. Contour 3

Figura 36. Contour 4

Figura 37. Contour 5

Figura 38. Contour 6

Figura 39. Contour 7

Figura 40. Contour 8

Figura 41. Contour 9

Figura 42. Contour 10

Figura 43. Software Pulox 1

Figura 44. Software Pulox 2

Figura 45. Software Pulox 3

Figura 46. Software Pulox 4

Figura 47. Software Contour 1

Figura 48. Software Contour 2

Figura 49. Software Contour 3

Figura 50. Software Contour 4







# 1 INTRODUCCIÓN

---

Cada vez están más presente los avances tecnológicos sobre nuestra sociedad. Vivimos en constante contacto con este hecho sin plantear un retroceso en la usabilidad de dichos avances.

Con todo ello el sector de la Bioingeniería crece a un ritmo vertiginoso ofreciendo productos tan imprescindibles para la vida cotidiana de las personas que sería impensable el desuso de ellos.

A su vez tanto la industria propiamente médica como tecnológica trabajan en paralelo para que este sector siga creciendo y llegando al mayor número de personas posibles con necesidades específicas.

## 1.1 Motivación

Actualmente vivimos en una sociedad donde cada día esta más presente la tecnología en campos como la medicina o biología. Nos encontramos entonces con la Bioingeniería como la disciplina que estudia aplicaciones propias de la ingeniería adaptadas a estos campos.

La motivación del proyecto surge de la idea de crear un laboratorio práctico docente para las asignaturas del área de la Bioingeniería impartida en los grados de Ingeniería. Se abre así la posibilidad de profundizar en una rama relativamente novedosa, con gran impacto y proyección dentro del ámbito de la ingeniería clásica, como es la Bioingeniería.

## 1.2 Situación actual

Durante este curso 2017/2018 esta asignatura ha actualizado su enfoque práctico, impartándose exitosamente todas las prácticas que se plantean en este documento.

Para ello se ha contado con un laboratorio práctico actualizado con varios dispositivos biomédicos, con los cuales se han podido realizar pruebas a los alumnos y obtener resultados reales de los mismos. Todo ello se provee apoyado de diferentes guías de utilización e información de estas prácticas a total disposición del alumnado de la asignatura.

## 1.3 Objetivos

El objetivo final de este proyecto era crear un laboratorio donde se pudiese poner en práctica los conocimientos teóricos impartidos en la asignatura.

Para ello se partiría de buscar los posibles contenidos teóricos más adecuados para su aplicación práctica, posteriormente se pasaría a diseñar este laboratorio.

Partiendo de la búsqueda de posibles dispositivos en mercado que cubrieran las necesidades docentes y la elaboración de escenarios prácticos donde el alumno pudiese hacer uso de los mismos.

Posteriormente se pasaría a realizar por parte de los participantes estas prácticas, obteniendo de ellas unos resultados personalizados de cada individuo, utilizables a posteriori para un estudio de los valores promedios obtenidos.

## **1.4 Metodología**

En primer lugar, se llevará a cabo un análisis de los contenidos teóricos más adecuados para adaptarlos a la práctica.

Una vez conocidos estos contenidos se pasará al análisis de posibles dispositivos de mercado que cubran las necesidades prácticas en cuestión para cada tema tratado.

Tras la elección final de estos, se pasará a elaborar escenarios prácticos reales donde haciendo uso de los dispositivos seleccionados se apliquen los contenidos de la asignatura.

Seguidamente se impartirán las prácticas en cuestión, donde los alumnos seguirán los escenarios planificados con la posibilidad de ser partícipes directos de las mediciones en cuestión.

Finalmente, los datos obtenidos por parte de cada participante serán estudiados, obteniendo de ellos unas aproximaciones sobre los valores presentados entre los alumnos.





## 2 BASE TEÓRICA DOCENTE

---

No podemos empezar este proyecto sin introducir previamente la base teórica docente de la que parte este proyecto. En este caso la impartida en la asignatura de Bioingeniería impartida en distintos grados de Ingeniería en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

Durante este capítulo hablaremos sobre los conceptos teóricos más relevantes en consideración con este proyecto. Al finalizar este capítulo tendremos una visión general de todo el contenido de la asignatura.

### 2.1 ¿Qué es la Bioingeniería?

Cuando hablamos de bioingeniería hacemos referencia a una de las ramas más novedosas de la ingeniería. La cual se ocupa de todos los aspectos tecnológicos relacionados de alguna manera con la medicina y la biología. Al igual que la medicina y biología, la bioingeniería también se encarga del estudio y análisis de todos los organismos vivos. A nivel molecular, celular y de aparatos y sistemas del ser humano o de cualquier otra forma de vida.

Esta nueva rama de la ingeniería era tan esperada como necesaria, debido a los avances tecnológicos en bioingeniería y medicina, los cuales requerían de profesionales capaces de comprender y aplicar los conocimientos a dispositivos diseñados y fabricados por ingenieros.

#### 2.1.1 Aplicaciones de la bioingeniería

El campo de acción de la bioingeniería es inmenso, desde aplicaciones médicas hasta medioambientales. En este apartado nos centraremos en tres potentes focos de aplicación.

- **Bioingeniería para la medicina del futuro:** el futuro de la medicina se esta enfocando a una medicina personalizada con diagnósticos portátiles, dispositivos móviles sanitarios y otra infinidad de avances tecnológicos, los cuales llevarán a una medicina más eficaz, económica y accesible.
- **Bioingeniería para terapias regenerativas:** los avances en la combinación de nuevos nanomateriales adaptables e ingeniería celular conllevan una serie de avances enfocados a la reparación y sustitución de tejidos humanos dañados, por enfermedades o envejecimiento.
- **Bioingeniería para el envejecimiento activo:** el envejecimiento de la población es un hecho muy presente en la sociedad actual. La bioingeniería esta contribuyendo a construir un futuro mejor para solventar este problema, aportando para ello tecnologías como la teleasistencia, dispositivos domiciliarios, servicios de asistencia con control remoto, etc.

### 2.2 Contenido teórico docente

La asignatura de Bioingeniería tiene como objetivo introducir a los alumnos a la Ingeniería Biomédica, poniendo más énfasis en varios campos de aplicación muy relacionados con la ingeniería clásica. Estos campos son, biomedicina, biomecánica y bioelectrónica, os cuales se desarrollan a continuación.

#### 2.2.1 Biomedicina

La biomedicina es la ciencia encargada del estudio de los aspectos biológicos de la medicina. Su objetivo con mayor alcance es la investigación de los mecanismos moleculares, bioquímicos, celulares y genéticos con origen en enfermedades humanas.

Esta investigación biomédica se centra en distintas áreas como son la inmunología, la biología molecular y

celular, la farmacología molecular, etc. Además de las aplicaciones prácticas de la bioingeniería esta también, gracias a sus investigaciones, es capaz de redefinir conceptos. Por ejemplo el concepto del gen.

Su objetivo prioritario es el desarrollo de nuevos fármacos y técnicas para ayudar al tratamiento de enfermedades. Con el fin de mejorar la vida del ser humano.

En esta primera parte de la asignatura se tratan temas con una relevación muy importante en el sector de la bioingeniería como son:

- Visión Sistemática y las TICs en Medicina
- Conceptos de Electrofisiología.
- Sistemas de control biológicos.
- Tecnologías de la información y comunicación de la biomedicina.
  - Sistemas de m-Salud.
  - Sistemas de e-Salud para prevención de enfermedades.

### 2.2.2 Biomecánica

La biomecánica es la disciplina científica, dentro del concepto de bioingeniería, encargada de estudiar la actividad de nuestro cuerpo, en circunstancias y condiciones diferentes. Además de analizar las consecuencias mecánicas que derivan de nuestra actividad, tanto en la vida cotidiana, como en actividades de otras índoles.

Para este estudio biomecánico, la biomecánica se basa en conocimientos propios de la mecánica clásica, la ingeniería, anatomía, fisiología y otras disciplinas interrelacionadas. Aplicando estas ramas del conocimiento al estudio de los movimientos del ser humano, las cargas mecánicas y las energías que se producen por dicho movimiento.

En esta segunda parte de la asignatura se abordan temas como los siguientes:

- Biomecánica del sistema musculoesquelético (SME).
- Comportamiento mecánico de los huesos.
- Comportamiento mecánico del músculo esquelético.
- Cargas y movimientos.

### 2.2.3 Bioelectrónica

La bioelectrónica se define como la parte de la biomedicina que se encarga del estudio de las señales bioeléctricas producidas por membranas celulares en el interior del cuerpo. Estas señales generalmente llevan información relevante para su medida por algún equipo médico externo. La obtención de estas señales se desempeña mediante la distribución de electrodos por diferentes partes del cuerpo.

Está relacionada principalmente con la biología y el comportamiento eléctrico de esta. Es por ello que otras ciencias colaboran con la bioelectrónica, como son la Electrónica, Robótica, Nanotecnología y Mecánica, de las cuales se adaptan los diferentes conocimientos para el desarrollo de dispositivos que contribuyan con el diagnóstico de individuos.

El campo de aplicación de esta parte de la biomedicina es muy amplio, desde nanochips implantados bajo la piel para una lectura de esa zona, hasta marcapasos inteligentes.

En esta tercera y última parte de la asignatura se tratan los siguientes puntos:

- Mecanismos de conducción eléctrica.
- Potencial Celular.

- Sistemas de captación de señales bioeléctricas.
- Sistemas de amplificación de estas señales medidas.

## 2.3 Evaluación de posibles casos prácticos

La evaluación de los posibles casos prácticos parte de la base teórica anteriormente mencionada, con el fin de aplicar el mayor número de conceptos vistos en la asignatura.

Es por ello que inicialmente se planteará realizar al menos una práctica por cada uno de los tres pilares teóricos del temario impartido.

### 2.3.1 Selección inicial de posibles casos prácticos

Partiendo de la primera parte del temario, la biomedicina en sí se propone aplicar los siguientes posibles casos prácticos:

1. Aplicaciones de **telemedicina** y **telemonitorización** extrahospitalaria en el ámbito sanitario y socio-sanitario aplicables al envejecimiento activo, saludable y autocuidado. Son aplicaciones con un gran impacto en la sociedad actual por el tratamiento de Big Data y movilidad geográfica de los mismos.
2. Aplicaciones de **m-salud** para el ciudadano de a pie. Esta área comprende dispositivos de medida aplicables a deportistas, simples instrumentos para el testeo amateur de determinadas variables corporales, como podría ser una báscula de bioimpedancia y otros dispositivos de medida corporal.
3. Por último, aunque se barajaron otras posibilidades de considerable peso, se propone la medida del **índice de glucosa en sangre**. Éste resulta ser un hecho de peso en la sociedad actual para controlar y mejorar el día a día de personas diabéticas considerando el creciente número de personas que la padecen.

Para la segunda parte de la asignatura, la biomecánica se barajaron los siguientes casos prácticos:

1. Análisis **cinemático** de determinados movimientos, teniendo en cuenta las últimas tendencias de perfeccionar la ejecución de determinados movimientos, como es el caso de los ciclistas. Un análisis cinemático de su actividad sobre la bicicleta contribuiría a una mejoría considerable de su relación con esta.
2. Por otra parte se planteó el análisis de determinadas **prótesis biomecánicas**, compuestos y fabricación de las mismas, evaluación de movimientos desarrollados y beneficio intrínseco para el paciente.
3. Por último se propuso el estudio de la **geometría digital 2D** de la Huella Plantar., consistente en un proceso de impresión, digitalización y posterior análisis de la huella en cuestión. Con el fin de mejorar la calidad de vida de personas con problemas tanto en la pronación como supinación de sus pies.

Y por último, partiendo de la base biomédica anterior nos centramos en la bioelectrónica. De la cual se propusieron los siguientes casos prácticos:

1. Estudio y mejora de un **Desfibrilador Automático Implantable (DAI)**, con el objetivo de poder aportar un carácter de telemedida y control remoto del mismo, resultando ser algo novedoso en el campo de la cardiología. Esto supondría trabajar en profundidad con un modelo real del mismo y pacientes que contasen con el mismo ya implantado.
2. Por otra parte, teniendo presente la complejidad del punto anterior. Se propone el análisis y puesta en funcionamiento de dispositivos que proporcionasen medidas del corazón. Como electrocardiogramas, los cuales nos proporcionarían una visión bastante clara del funcionamiento de este.

### **2.3.2 Casos prácticos seleccionados finalmente**

Finalmente tras barajar las posibilidades comentadas en el punto anterior y teniendo en cuenta las limitaciones existentes de equipamiento, espacio y presupuesto, los casos prácticos seleccionados para su desarrollo son:

Los casos prácticos seleccionados para su desarrollo son:

- De la rama de biomedicina se ha seleccionado la medida y análisis de los índices de glucosa en sangre.
- Y de bioelectrónica la medida y análisis de la actividad eléctrica cardíaca, mediante electrocardiogramas.

Estos dos casos prácticos se desarrollaran en los puntos siguientes del proyecto, con el objetivo de aplicar el mayor número de conocimientos posible adaptados al proyecto docente de la asignatura.







## 3 ESCENARIOS PRÁCTICOS SELECCIONADOS

En el capítulo anterior ya hemos planteado los posibles casos prácticos de interés para desarrollar durante el laboratorio práctico docente de la asignatura. Seguidamente se han nombrado los dos casos prácticos en cuestión.

En este capítulo se estudiarán en profundidad ambos casos prácticos, tanto a nivel teórico como práctico. Para intentar discernir su mejor aplicación docente.

### 3.1 Electrocardiograma (ECG)

En esta sección se explicará desde la base teórica de un electrocardiograma, su aplicación práctica docente y que dispositivos de mercado cumplirían las especificaciones requeridas para ser utilizados en la práctica.

#### 3.1.1 Base teórica

Un electrocardiograma (EKG o ECG) es un tipo de prueba bioelectrónica que proporciona una evaluación del ritmo y función cardíaca a través del carácter eléctrico del corazón.

Esta actividad eléctrica cardíaca existe gracias a unas señales que nacen del nodo sinusal (SA) de la aurícula derecha, en la entrada de la vena cava superior. Estas señales se propagan por el miocardio causando la despolarización auricular y consecuente contracción cardíaca.

Tras la contracción cardíaca el impulso pasa al nodo auriculoventricular (AV) ubicado en el lado derecho de la aurícula derecha y se distribuye por los ventrículos a través del haz de His y las fibras de Purkinje, lo cual desencadena la contracción ventricular.

Esta actividad eléctrica del corazón puede ser monitorizada mediante el uso de electrodos en contacto con la piel y un sistema receptor y procesamiento de estas señales, que en nuestro caso será el electrocardiograma.

Estos impulsos eléctricos se registran en formas de líneas y curvas sobre un una base perfectamente delimitada en secciones de milímetros. Donde se refleja en el eje horizontal tiempo transcurrido de medida y en el vertical la tensión registrada.

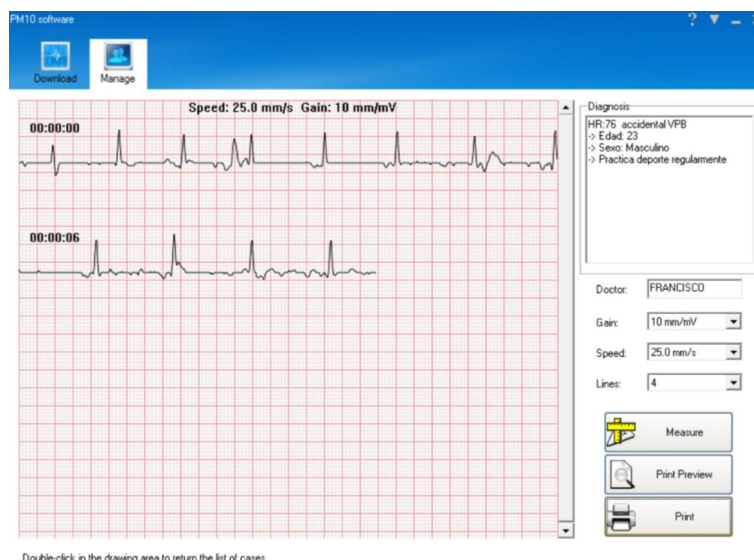


Figura 1. Electrocardiograma

### 3.1.2 Adaptación a la práctica docente

Esta prueba bioeléctrica ha sido seleccionada para su estudio en el ámbito práctico docente por su versatilidad y relevancia en el sector de la biomedicina.

Nos permite tener una imagen de nuestro sistema cardiaco con gran exactitud y de forma relativamente sencilla. Además de proporcionar un amplio abanico de escenarios docentes para su uso.

No obstante es posible encontrar dispositivos que proporcionen una lectura similar a la de un electrocardiograma profesional médico, a un precio asequible para el desempeño docente.

### 3.1.3 Elección de posibles dispositivos de mercado

La medida del registro eléctrico del corazón, conocida como electrocardiograma, desde que apareció en 1872, ha estado solo al alcance de centros hospitalarios por su elevado coste y complejidad de uso.

Pero desde hace unos años, gracias al avance de la tecnología, esta al alcance de todos. Y ya son varias las marcas tecnológicas que desarrollan sus propios electrocardiógrafos. Muchos de ellos siguen estando al alcance de muy pocos por sus precios elevados. Pero otros pocos ya están al alcance del usuario con un funcionamiento bastante intuitivo y precios asequibles.

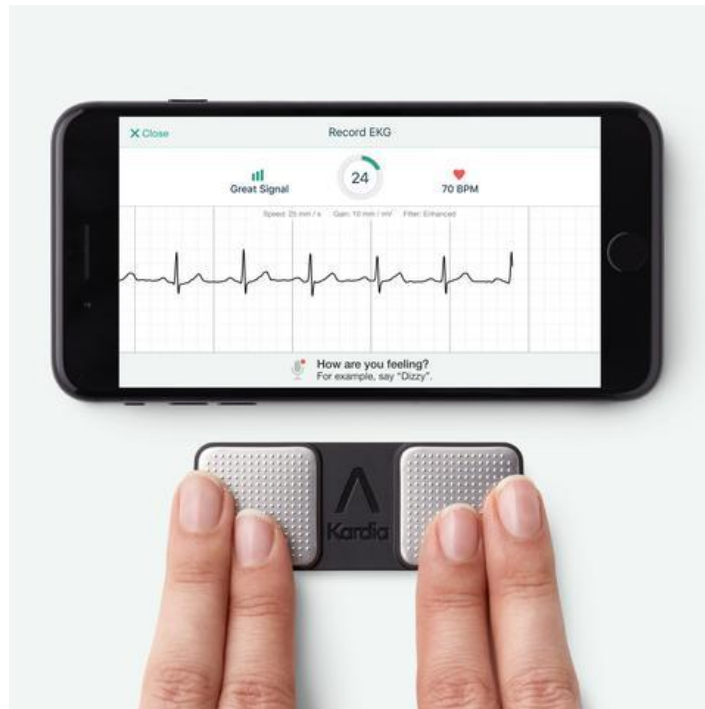
A continuación vemos los diferentes electrocardiógrafos que se han valorado para su aplicación docente:

- **ECG 101 TFT** : electrocardiógrafo portátil de 12 derivaciones. Electrodo externo. Cuenta con pantalla TFT táctil con puntero. Dispone de funcionamiento manual y automático. Impresora térmica integrada de alta resolución. Puerto USB, memoria interna para almacenamiento de datos registrados. Precio muy elevado.



*Figura2. ECG 101 TFT*

- **AliveCor, Kardia Mobile** : base con electrodos para el registro de la actividad cardiaca y sistema de conexión con aplicación para Smartphone. Intuitivo y muy novedoso. Funciones similares a las de cualquier otro ECG. Poco robusto. Precio elevado.



*Figura 3: AliveCor ECG*

- **Qardio C100-IAW** : electrodos colocados en una banda deportiva, para ser situada en el pecho del individuo. Bastante versátil y cómodo, orientado principalmente a deportistas. Precio elevado.



*Figura 4: Qardio ECG*

- **PULOX PM10 ECG** : dispositivo ECG portátil de un canal. Uso bastante intuitivo, proporcionando una primera lectura en su interfaz gráfica incorporada. A su vez cuenta con un software para computadora bastante potente, donde analizar las medidas registradas. Precio asequible y robustez para casos de pruebas.



*Figura 5: Pulox ECG*

### 3.1.4 Elección final de dispositivo

Finalmente, tras analizar los posibles dispositivos en mercado adecuados para esta práctica docente, nos decantamos por el PULOX PM10 ECG.

Es un dispositivo bastante asentado en la sociedad actual, recomendado por un gran número de especialistas del sector.

A su vez es fácil de usar por los alumnos, devuelve medidas ECG bastante claras y reutilizables para su análisis. Sin olvidar, una de sus mejores virtudes. Su software para computadora donde fácilmente podremos vincular todas las medidas realizadas, vinculadas a determinados pacientes.

Mostrando dichas medidas con diferentes vistas y con posibilidades de exportar y analizar estas. Algo bastante apropiado para poder determinar un diagnóstico tras la medida.

En un capítulo posterior, se analizará en profundidad todas las especificaciones técnicas de este dispositivo.

## 3.2 Índice de glucosa en sangre

En esta sección trataremos el segundo caso práctico propuesto, la medición y estudio del índice de glucosa en sangre. Un hecho bastante prioritario para todas aquellas personas que padecen diabetes y necesitan periódicamente tener controlado su índice de glucosa en sangre.

Es por ello, que centraremos esta práctica docente a conocer el índice de glucosa en sangre para agilizar el día a días de las personas que padecen diabetes.

### 3.2.1 Base teórica

Como ya se ha comentado, la finalidad de esta práctica es colaborar a mejorar el control de la diabetes. Esta enfermedad se define como una serie de trastornos metabólicos que incurren en unas concentraciones elevadas de glucosa en sangre de forma persistente o crónica. Ello es provocado por un defecto de producción de insulina por parte del paciente o una resistencia de esta a realizar su acción de controlar los índices de glucosa en sangre.

Este exceso de glucosa en sangre, deriva en la ya comentada diabetes, la cual tiene complicaciones tan perjudiciales como las siguientes:

- Pérdida de visión, llegando incluso a ceguera.
- Daño en riñones con deterioro funcional progresivo, con consecuente diálisis y trasplante.
- Obstrucción de vasos sanguíneos, que pueden significar la pérdida de extremidades.
- Enfermedades coronarias e infarto agudo del miocardio.
- Daño cerebral e intestinal.
- Daños en sistema nervioso periférico y autónomo. Las complicaciones más graves.

Conociendo ya las complicaciones asociadas, tenemos presente la peligrosidad de esta enfermedad. La cual tiene como principales síntomas a tener en cuenta:

1. Poliuria, excesiva emisión de orina.
2. Polifagia, aumento excesivo de apetito.
3. Polidipsia, incremento de la sed.
4. Pérdida de peso sin razón aparente.

Tras conocer los síntomas y complicaciones asociadas, mencionar que hay varios tipos de diabetes, no todas con igualdad de severidad, a continuación se mencionan ordenadas de mayor a menor peligrosidad:

1. Diabetes mellitus tipo 1, conlleva una destrucción total de células  $\beta$ , las encargadas de generar insulina. Presentada en un 5 o 10 % de los pacientes.
2. Diabetes mellitus tipo 2, generada por un defecto progresivo de la generación de insulina y un aumento de la resistencia de esta al control de la glucosa. Presentada entre el 90 y 95 % de los pacientes.
3. Diabetes gestacional, diagnosticada entre el segundo y tercer trimestre del embarazo. En muchas veces de carácter transitorio y curada en el embarazo.

### 3.2.2 Adaptación a la práctica docente

Conocida brevemente las bases teóricas de la diabetes y su peligrosidad para las personas que la padecen, se ha de destacar la necesidad inminente de control de sus niveles, con las consecuentes extracciones de muestras de sangre y posterior inyección de insulina.

Es de considerar que esta práctica docente es de gran relevancia en el sector de la bioingeniería. No solo por el hecho de conocer sus bases como enfermedad, si no por conocer en primera persona el hecho de padecer dicha

enfermedad y poder contribuir a mejorar el desempeño cotidiano en paralelo a ella.

Es por ello, la importancia de este segunda práctica docente en la asignatura y el trasfondo del que se dota.

### 3.2.3 Elección de posibles dispositivos de mercado

Partiendo del preestablecido programa diario de un diabético, el cual consta de los siguientes pasos:

1. Control periódico de sus niveles de glucosa en sangre.
2. Inyección de insulina, por consecuencias de altos índices de glucosa.
3. Dieta equilibrada.
4. Ejercicio físico.
5. Monitoreo de sus pies.
6. Medicamentos, amplia variedad dependiendo del tipo de diabetes y el paciente.

Se ha considerado que el punto más característico y determinista relevante para una práctica docente, sería la medición de los índices de glucosa. Lo cual se llevaría a cabo con un glucómetro.

Este dispositivo a priori, posteriormente veremos que hay otras posibilidades, necesita de una muestra de sangre para realizar la medición de glucosa.

Se han barajado los siguientes glucómetros:

- **SD Biosensor** : calificado por al Hospital Universitario de Zurich como el mejor glucómetro portátil de 2018. Es bastante fiable, pequeño y compacto. Con memoria interna para hasta 500 resultados de pruebas. Precio elevado, software para computadora demasiado rudimentario.



*Figura 6: SD Biosensor*



- **LifeScan OneTouch** : obtiene los resultados con bastante velocidad tras aplicar la muestra. Almacena también 500 medidas, avisando cuando restan 100 para que quedarse sin memoria. Es difícil de usar por personas mayores y precio elevado.



*Figura 7: LifeScan*

- **FreeStyle Libre** : glucómetro peculiar. Cuenta con un parche de unos 14 duración, el cual hace de lector de la muestra sanguínea y se comunica inalámbricamente con el glucómetro. No tan preciso como otros y no muy práctico para la docencia. Precio elevado.



*Figura 8: FreeStyle*

- **GlucoWise** : El único glucómetro no invasivo con mercado actual, aunque no comercializado en nuestro país. Es bastante novedoso por no necesitar una muestra de sangre para la medida. Esta es su principal peculiaridad, aunque no es tan preciso como los invasivos. Precio elevado.



*Figura 9: GlucoWise*

- **Contour Next USB** : bastante preciso, portátil y robusto para su uso en entornos docentes. Muy usado en la sociedad diabética. Cuenta con varios modos de medida, y conexión directa por USB a la computadora. La cual a su vez cuenta con un software bastante completo para analizar las medidas y llevar un seguimiento de estas. Precio asequible, aunque las lancetas, al igual que todos los glucómetros son bastante caras.



*Figura 10: Contour*

### **3.2.4 Elección final del dispositivo.**

Tras analizar los posibles glucómetros anteriores, nos decantamos por el Contour Next USB debido a su fiabilidad y amplia distribución en el mercado. Además, resulta ser especialmente adecuado para los alumnos por su software de monitorización de las medidas, el cual aporta información analizable de gran interés.

El único inconveniente que presenta es el precio elevado de sus lancetas, pero es un hecho presente por todas las compañías que desarrollan este tipo de dispositivos.

Por otro lado se tuvo en cuenta la opción del glucómetro no invasivo, el cual nos daría la posibilidad de adentrarnos en el futuro de la diabetes. Pero este aun no estaba comercializado con nuestro país y a su vez contaba con un precio muy elevado.

Finalmente, mencionar que la medición de los índices de glucosa en sangre de forma no invasiva están siendo un foto tecnológico bastante importante en el sector de la bioingeniería, actualmente en fase de desarrollo y prueba, pero con una gran proyección.

Este dispositivo seleccionado, Contour Next USB, será estudiado con mayor profundidad en un capítulo posterior.



## 4 ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS SELECCIONADOS

---

En este capítulo hablaremos de los dos dispositivos seleccionados para realizar las prácticas docentes de la asignatura. El electrocardiógrafo ECG PULOX PM10 y el glucómetro CONTOUR NEXT USB, los cuales en capítulos anteriores han sido seleccionados como los mejores candidatos docentes entre otras opciones.

En los siguientes puntos a tratar de este capítulo se hablarán de las especificaciones técnicas de cada uno de ellos, y las aplicaciones docentes con las que cuentan.

### 4.1 Electrocardiograma: ECG PULOX PM10

ECG PULOX PM10, como mencionamos en el capítulo anterior, será nuestro electrocardiógrafo utilizado en la práctica docente. A continuación será analizado para conocerlo en profundidad.



*Figura 2. Pulox PM10*

#### 4.1.1 Definición

Es un electrocardiógrafo portátil pensado para poder obtener el ECG del paciente en cualquier momento y lugar. Este dispositivo analiza, registra y muestra la curva del ECG leído y la frecuencia cardíaca del individuo.

Además cuenta con la posibilidad de volcar, toda la información obtenida en sus medidas, en un PC. Respaldo por un software propio bastante potente, con el cual podremos analizar los valores y curvas registradas.

## 4.1.2 Características y especificaciones técnicas.

A continuación hablaremos de las características técnicas, funcionamiento ideal y parámetros más relevantes de nuestro electrocardiógrafo portátil.

### 4.1.2.1 Ambiente de funcionamiento habitual.

Las principales especificaciones sobre el ambiente ideal para el correcto funcionamiento del PULOX PM10, serían:

- Temperatura: +5°C - +40°C
- Humedad relativa: 25% - 80%
- Fuente de alimentación: batería integrada de litio recargable con voltaje de 3.7V.
- Sistema Operativo para el software del PC : Windows XP y posteriores.

Mientras que para su transporte sin funcionamiento podría llegar a alcanzar valores de temperatura y humedad más extremos:

- Temperatura: -40°C - +55°C
- Humedad relativa: <95%

### 4.1.2.2 Parámetros básicos.

A continuación se especifican los parámetros técnicos de mayor índole en nuestro dispositivo:

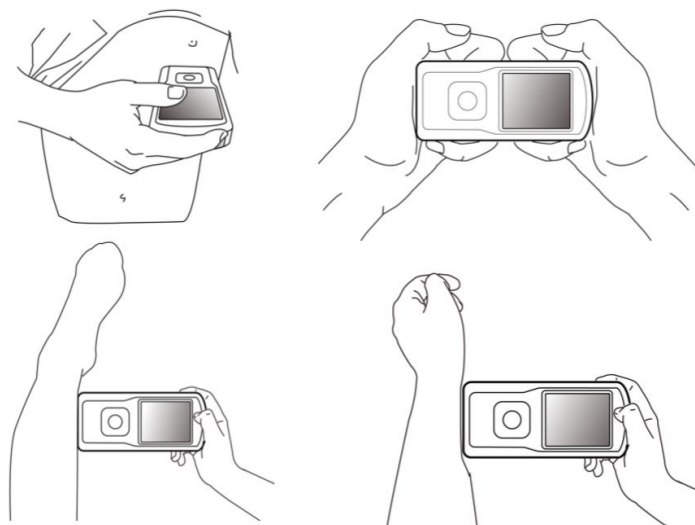
- Voltaje de calibración: 1mV  $\pm$ 5% .
- Sensibilidad: 10mm/Mv  $\pm$ 5% .
- Amplitud de frecuencia característica: Estándar: 10Hz; 1Hz – 20Hz; (+0.4Db, -3dB).
- Nivel de ruido: <30Mv .
- Rechazo al modo común (CMRR): > 60Db.
- Velocidad de escaneado: 25mm/s  $\pm$ 5% .
- Frecuencia de muestreo: 250 puntos/s.
- Rango de medición de Frecuencia Cardíaca (FC): 30lpm – 300lpm, error:  $\pm$ 1lpm o 1% .
- Tipo de protección frente a choque eléctrico: Dispositivo de alimentación interna.
- Grado de protección frente a choque eléctrico: Equipo aplicable al cuerpo de Tipo BF.
- Grado de protección frente al agua: IP22.

## 4.1.3 Aplicación docente

Partimos de que nuestro ECG PULOX PM10 proporciona varias alternativas de colocación corporal y posterior obtención de nuestro electrocardiograma:

1. Directamente sobre el pecho en la zona más cercana al corazón.
2. Entre las palmas de las manos.
3. Entre la palma de la mano derecha y parte interior de nuestro tobillo izquierdo.
4. Entre la palma de la mano derecha y la parte interior de nuestra muñeca izquierda.

Podemos apreciar lo mencionado en esta imagen:



**Figura 3. Modos de medida ECG.**

Tras la medida con el electrocardiógrafo obtendremos en la pantalla de este el valor de nuestra frecuencia cardiaca, una aproximación de la patología que se ha registrado y esta medida quedará registrada en la memoria interna de este dispositivo con fecha y hora de la misma.

Tras realizar las medidas que consideremos podemos sincronizarlas con el PC, el cual gracias al software del PULOX PM10, nos permitirá obtener una visión más amplia las medidas. Además podremos obtener las graficas de los electrocardiogramas, en un formato genérico usado por la mayoría de los médicos para su mejor estudio y posterior diagnóstico.

Por último, mencionar que este software también incorpora la posibilidad de exportar estas medidas registradas a un formato estándar de visualización de estas, con otros parámetros, como podrían ser: nombre de paciente, del doctor, características relevantes de la medida, comentarios al respecto.

## 4.2 Diabetes: CONTOUR NEXT

CONTOUR NEXT, como mencionamos anteriormente, será nuestro glucómetro utilizado para realizar nuestra práctica docente. A continuación conoceremos este dispositivo en profundidad.



**Figura 4. Contour Next USB**

### 4.2.1 Definición

Este glucómetro está diseñado para el autodiagnóstico de personas con diabetes y por profesionales sanitarios con el fin de realizar el seguimiento de las concentraciones de glucosa en sangre total venosa y capilar recién extraída.

Capaz de realizar mediciones de glucosa entre 20 mg/dL y 600 mg/Dl. Diseñado exclusivamente para diagnóstico in vitro.

### 4.2.2 Características y especificaciones técnicas

En nuestro glucómetro encontramos las siguientes especificaciones técnicas:

- Muestra para el análisis: Sangre total capilar y venosa.
- Resultados del análisis: Hace referencia a la glucosa en suero/plasma.
- Volumen de la muestra: 0,6  $\mu$ L .
- Intervalo de medición: 20 – 600 mg/Dl .
- Tiempo de cuenta atrás: 5 segundos.
- Memoria: Almacena las 200 entradas más recientes.
- Tipo de batería: Recargable no reparable de polímero de litio de 250 mAh, 3,4 v – 4,2 v (Vin 5V) .
- Vida útil del medidor/batería: 5 años.
- Corriente de carga: 300 mA.
- Intervalo de temperaturas para el almacenamiento de tiras reactivas: 0°C - 30°C.
- Intervalo de temperaturas para el almacenamiento de control normal: 9°C – 30°C.
- Intervalo de temperaturas para el funcionamiento del medidor: 5°C – 45°C.
- Humedad: 10% - 93%.
- Dimensiones: 97mm x 30mm x 16mm.
- Peso: 43 gramos.
- Salida de sonido: de 45 a 80 dBA a una distancia de 10cm.
- Compatibilidad electromagnética (CEM): cumple los requisitos especificados en la ISO 15197:2013.
- Sistemas operativos soportados por el software del PC: Windows XP y posterior, MAC OS X 10.7.1 y posteriores.

### 4.2.3 Aplicación docente

Partiendo de su diseño compacto y fácilmente usable, podemos añadir que sus software para PC nos proporciona una mayor información y por consiguiente, control de los índices de glucosa de los pacientes.

No obstante para nuestra práctica docente además del glucómetro, necesitaremos:

- Lancetas o tiras reactivas: actúan de receptor de la muestra y transvasa al glucómetro.
- Elemento de punción: para la obtención de forma controlada de la muestra.
- Y el propio glucómetro, CONTOUR NEXT.

Una vez dispongamos de estos elementos, podemos realizar la medición en cuestión. A continuación se muestran unas imágenes de una extracción modelos:

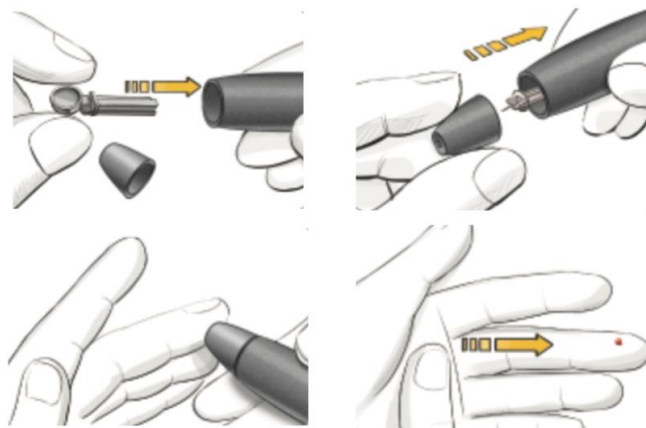


1. Inicialmente insertamos la tira reactiva en el glucómetro, este nos demandará la muestra.



*Figura 5. Contour inserción lanceta*

2. Seguidamente haciendo uso del elemento de punción extraemos la muestra.



*Figura 6. Contour extracción muestra*

3. Finalmente se aplica esta muestra a la lanceta ya insertada en el glucómetro y este la analizará. Podremos indicar ciertos parámetros complementarios al estado del paciente en el momento de la muestra, como estado alimenticio o deportivo:



*Figura 7. Contour medida de muestra extraida*

Tras la extracción y posterior análisis por parte del glucómetro, este nos dará una primera aproximación de nuestro índice de glucosa en sangre.

El cual vendrá acompañado de una mensaje, donde se indicará en que estado esta nuestro índice medido:

- Índice normal de glucosa en sangre: entre 70 mg/dL y 140 mg/dL.
- Hipoglucemia: valor inferior a 69 mg/dL.
- Hiperglucemia: valor superior a 140 mg/dL.

Finalmente podremos conectar el glucómetro al PC y hacer uso del software para su análisis más detallado. Este software nos proporciona parámetros estadísticos a partir de las medidas realizadas.





## 5 ESCENARIOS PRÁCTICOS DOCENTES

---

**E**n este capítulo nos centraremos en los dos escenarios prácticos docentes previstos para el desarrollo práctico docente de la asignatura de Bioingeniería. Cada uno de estos escenarios corresponde a los dos apartados vistos anteriormente: el control de la actividad cardiaca mediante electrocardiogramas y el estudio de la diabetes mediante el control de los índices de glucosa en sangre, haciendo uso de un glucómetro portátil.

### 5.1 Diseño y organización

El diseño y la organización de estos escenarios prácticos se asemeja a cualquier otro caso práctico de cualquier otra materia de las titulaciones. Primeramente se propusieron determinadas fechas para desarrollar estas prácticas. Tras un consenso entre alumnos y docentes se fijaron todas las sesiones en la segunda semana de marzo de 2018.

El alumnado de la asignatura fue equilibradamente distribuido entre las diferentes sesiones de esa semana y se reservaron las pertinentes aulas de los laboratorios de la escuela para llevarlas a cabo.

Previamente a esas sesiones de prácticas los alumnos contaron con la documentación a tratar en la plataforma de enseñanza virtual. Con esta información podían profundizar previamente sobre los dos temas a tratar en las sesiones y las evaluaciones posteriores a estas.

Además de la información teórica previa a las sesiones se anunció el requerimiento voluntario de alumnos en ayunas para comprobar como sus índices de glucosa variaban sin glucosa y en presencia de ella.

Una vez llegado el momento de las sesiones, en los laboratorios de la escuela y con todos los alumnos presentes, la dinámica seguida fue la siguiente:

1. Base teórica sobre un ECG y Niveles de glucosa.
2. Práctica real entre el alumnado haciendo uso del electrocardiógrafo y el glucómetro.
3. Análisis de los datos registrados y evaluación de contenidos adquiridos.

Finalmente y de forma voluntaria, el alumno podía registrar sus valores obtenidos tras las mediciones para un posterior estudio estadístico docente.

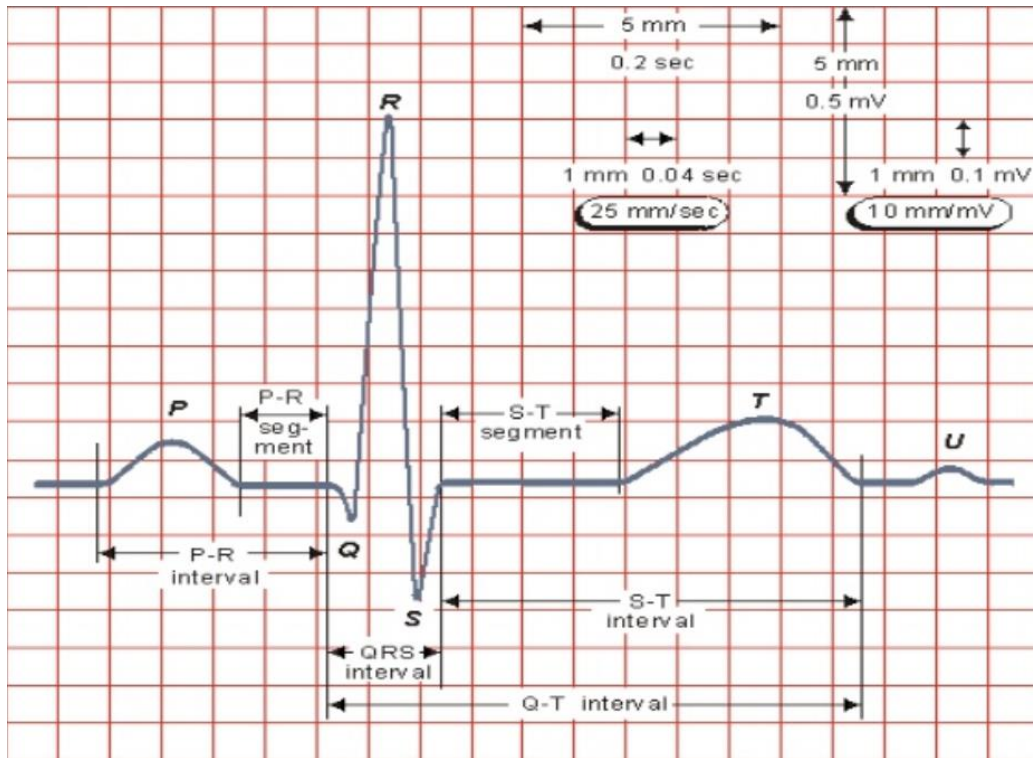
### 5.2 Escenario práctico ECG

En este primer escenario práctico se pretende conocer el comportamiento eléctrico del corazón, formas de registrar este comportamiento y analizarlo posteriormente con el fin de detectar anomalías en el sistema cardiovascular.

#### 5.2.1 Base teórica inicial impartida

Esta primera parte de la práctica tenía como objetivo dar una base teórica sobre la actividad eléctrica del corazón para beneficiar su posterior comprensión práctica.

Primeramente se mostró la gráfica teórica de la frecuencia cardiaca y como iba evolucionando esta con la contracción y relajación del mismo.



**Figura 8. Onda eléctrica cardiaca**

Seguidamente se explicó como medir e interpretar esta actividad eléctrica. Para ello partíamos de un electrocardiógrafo, en nuestro caso el Pulox PM10.

Este electrocardiógrafo muestrea la señal del electrocardiograma hasta que obtiene una gráfica de la misma fija para esa medición la cual a priori puede dar una primera aproximación del estado del corazón en cuestión.

Una vez obtenida la gráfica de la frecuencia cardiaca presentada se procede a explicar como detectar anomalías sobre esta analizando la curva presentada sobre las cuadrículas estándar del electrocardiograma. De esta forma el alumno podrá detectar las anomalías cardiacas solo con la medición del electrocardiógrafo.

Finalmente se explica como utilizar y sincronizar el software del Pulox PM10 en el ordenador. Con este software se obtendrán valores más detallados de las medidas y nos dará la posibilidad de exportar las gráficas del electrocardiogramas a formatos legibles y personalizables.

## 5.2.2 Profundizando sobre la base teórica

Partiendo de la gráfica estándar de un ECG y de las diferentes partes del corazón, vamos a estudiar sección a sección su significado y comportamiento tras un impulso electrocardiaco:

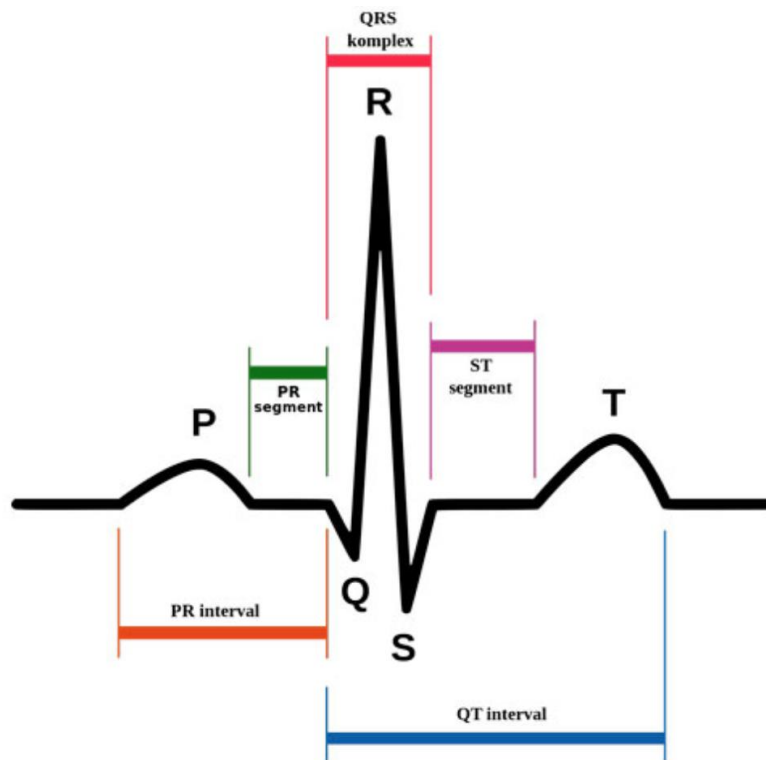


Figura 18. PQRST

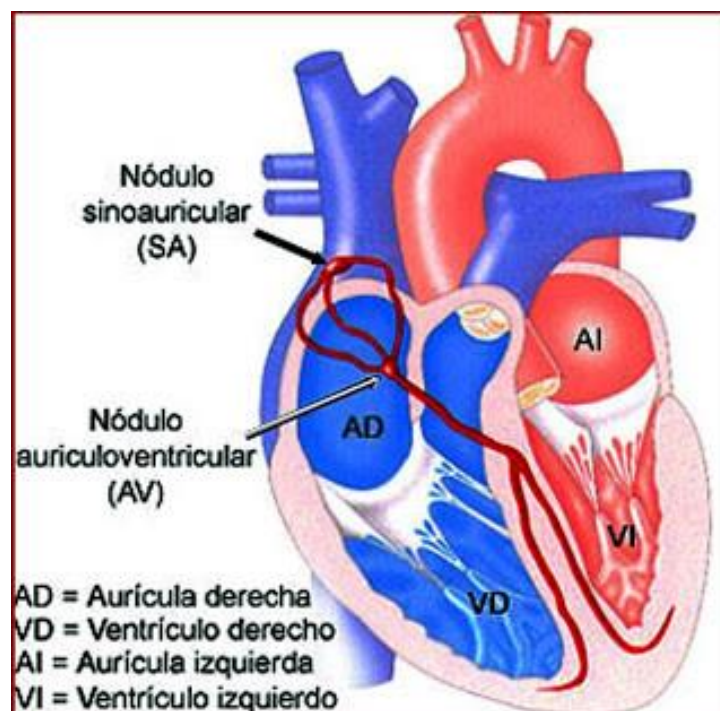


Figura 19. Corazón

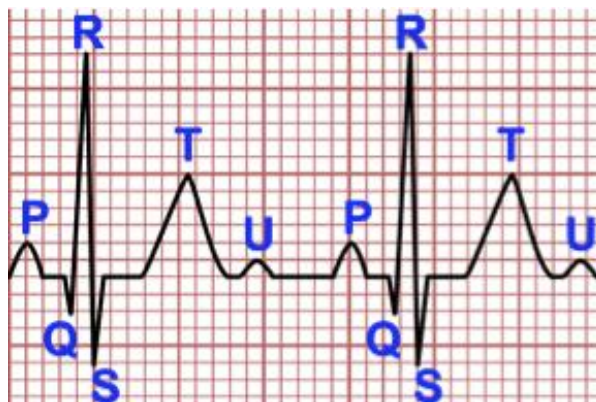
Cada sección representada se conoce como un determinado intervalo del ciclo electrocardíaco e incluye unas determinadas ondas:

1. **Onda P:** representa la prolongación desde el nodo SA y a través de las aurículas.
2. **Intervalo PR:** tiempo necesario para que el impulso se propague sobre la aurícula y el nodo AV; el impulso se detiene durante un corto periodo de tiempo.
3. **Intervalo QRS:** representa la propagación del impulso a través de los ventrículos (despolarización ventricular).
4. **Onda T:** indica la repolarización ventricular.
5. **Onda U:** no siempre representada en los ECG, como es este último, pero si en el de la sección anterior. Es una onda de origen incierto; los expertos en la materia aún desconocen a ciencia cierta su función. Se cree que podría atribuirse a la repolarización lenta de la red de Purkinje o una repolarización de los músculos papilares. Actualmente se sigue investigando posibles predicciones patológicas asociadas a ella.

Tras conocer el comportamiento de las diferentes secciones de un ECG y su relación con las diferentes partes del músculo cardíaco, pasamos a estudiar cómo obtener los valores del ECG a raíz de su gráfica. Para ellos debemos conocer que una representación gráfica normal de un ECG cuenta con 300 “cuadros grandes” por minuto. Este será el dato de partida para analizar la grafica en cuestión y obtener la frecuencia cardíaca del mismo.

Primeramente debemos diferenciar entre un ECG con ritmo cardíaco regular e irregular. Dependiendo de esto calcularemos la frecuencia de una forma u otra:

1. **Ritmo cardíaco regular:**



*Figura 20. PQRSTU*

1. Coincidencia de **RR** en frontera de cuadros grandes:

$$(No \text{ cuadros grandes entre } R \text{ y } R) / 300 = X, 1/X = no \text{ lpm}$$

2. No coincidencia de la segunda R en frontera:

$$(No \text{ cuadros grandes completos } R \text{ y } R + 0,2 * \text{pequeño}) / 300 = X, 1/X = no \text{ lpm.}$$



Ejemplo real de ritmo cardiaco normal:



Figura 21. Ritmo Normal

En esta gráfica de ECG tenemos el caso 2:

Entre la primera y la segunda R tenemos 3 cuadros grandes completos y aproximadamente 4 pequeños.

$$(3 \text{ C grandes}) + (0,2 \times 4 \text{ C pequeños}) / 300 = 0,0126667$$

$$1/0,0126667 = 79 \text{ lpm Ritmo Normal}$$

## 2. Ritmo cardiaco irregular:



Figura 22. Ritmo Irregular

Contamos el número de QRS en 30 “cuadros grandes” y efectuamos esta ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de QRS} * 10 = x \text{ lpm} .$$

Ejemplo real de ritmo cardiaco irregular:



Figura 23. Ritmo irregular ejemplo

En este caso de ritmo irregular, en 30 C grandes aparecen 11 QRS:

$$11 \text{ QRS} * 10 = 110 \text{ lpm. Ritmo Taquicardico}$$

### 5.2.3 Pruebas realizadas por los participantes

Tres pruebas básicas para apreciar como varía nuestra frecuencia cardiaca y por consiguiente la apariencia de nuestro electrocardiograma, son las siguientes:

1. **ECG de reposo:** para ello el individuo deber permanecer completamente relajado, intentando reducir al máximo su frecuencia cardiaca, simulando así un estado de reposo casi real, el cual encontraríamos en un estado de sueño profundo del individuo. De esta forma se debería obtener el valor mas bajo de la frecuencia cardiaca en cuestión.
2. **ECG de estado normal:** se realiza en cualquier momento sobre el individuo siempre que este presente un estado de actividad sin sobresaltos. Nos dará el valor promedio de su actividad cardiaca.
3. **ECG de esfuerzo:** es el electrocardiograma registrado tras la realización de alguna actividad física que conlleve una subida de las pulsaciones del mismo, con la consiguiente variación de su frecuencia cardiaca y electrocardiograma.

Tras la realización de las tres medidas por cada alumno, se pasa la información recogida por el electrocardiógrafo a ordenador para su posterior análisis de las gráficas cardiacas generadas.

### 5.2.4 Posterior análisis de los resultados

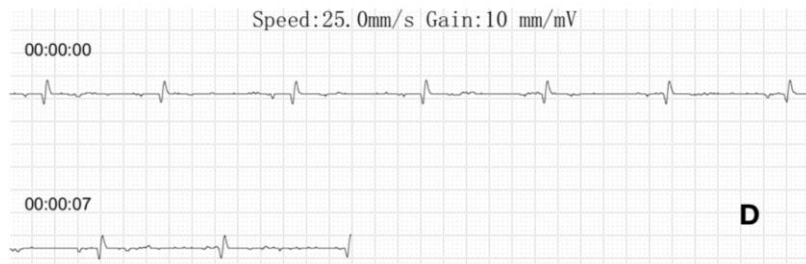
Conocidos los electrocardiogramas de cada individuo tras su medida en las tres condiciones de esfuerzo comentadas, pasamos analizar estas curvas para detectar si presentan anomalías o de lo contrario tiene una apariencia normal.

Para ello se explica como de forma gráfica aplicando unas determinadas formulas y teniendo en cuenta el fondo cuadriculado estándar del electrocardiograma podemos obtener el número de latidos por minuto de nuestro corazón y con consiguiente la anomalía que presentó en esa medida.

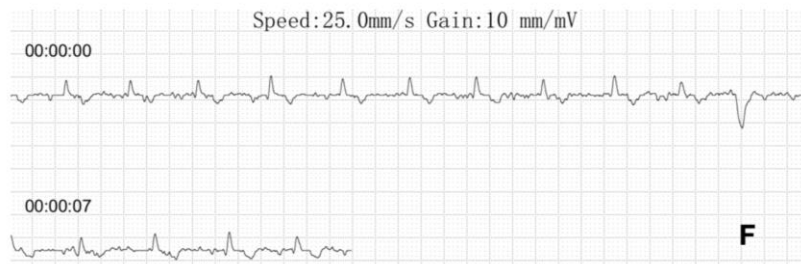
Además se proporciona 6 ondas cardiacas sin identificar para que cada alumno aplique sus destrezas analíticas de electrocardiogramas y dictamine la anomalía que presenta cada una de ellas.



*Figura 9. ECG A y B*



**Figura 10. ECG C y D**



**Figura 11. ECG E y F**

Finalmente, además de las gráficas de los ECG obtenemos la frecuencia cardiaca de cada gráfica. En el apartado anterior se explicó cómo obtenerlas a partir de las ondas registradas en el papel cuadriculado.

A continuación se muestra una tabla donde se recogen los valores promedio en función de la edad, y la actividad registrada por el individuo.

Primeramente se muestran los valores de individuos de corta edad, desde recién nacidos a niños de 8 años:

<b>Edad individuo</b>	<b>Latidos por minuto</b>
Recién nacido	120 – 170
Lactante menor	120 – 160
Lactante mayor	110 – 130
Niños de 2 a 4 años	100 – 120
Niños de 6 a 8 años	100 - 115

*Tabla 1. Edad rpm*

A continuación reflejaremos los valores de frecuencia cardiaca en adultos, en función de su actividad física registrada y el esfuerzo aplicado:

	<b>Sedentario</b>	<b>En forma</b>	<b>Deportista</b>
<b>Reposo</b>	70 – 90	60 – 80	40 – 60
<b>Esfuerzo controlado</b>	110 – 130	120 – 140	140 – 160
<b>Esfuerzo intenso</b>	130 – 150	140 – 160	160 - 200

*Tabla 2. Frecuencia cardiaca en modo Sedentario, en forma y deportista.*

Con estos valores, además de con las gráficas de los ECG, podremos diagnosticar si una persona se encuentra en un régimen normal de actividad cardiaca o por el contrario, presenta alguna anomalía apreciable a raíz de un simple electrocardiograma.

## 5.3 Escenario práctico Diabetes

En este apartado nos centraremos en analizar la enfermedad de la diabetes y su relación con los índices de glucosa.

Para ello partiremos de la introducción teórica, que veremos a continuación y posteriormente se tomarán muestras invasivas sobre algunos voluntarios.

### 5.3.1 Base teórica inicial impartida

Esta base teórica comienza con la definición de los dos términos más relevantes para comprender la diabetes mellitus, la glucosa e insulina.

La **glucosa** como agente muy peligroso en altas o muy bajas concentraciones en sangre, causando diabetes en el caso de altos índices y la **insulina** como hormona reguladora de los índices de glucosa.

Tras estas dos definiciones introducimos los principales síntomas asociados a la diabetes, algunos serían:

- Poliuria, Polifagia y Polidipsia.
  - **Poliuria:** Excreción muy abundante de orina.
  - **Polifagia:** Sensación imperiosa e incontenible de hambre que se presenta en determinadas enfermedades.
  - **Polidipsia:** Necesidad exagerada y urgente de beber, que suele ser patológica y acompaña a enfermedades como la diabetes.
- Pérdida de peso.
- Fatiga y/o cansancio.
- Complicaciones asociadas a esta enfermedad, como pérdida de visión, deterioro de órganos vitales, daños cerebrales, etc.

Seguidamente vemos la clasificación que hace la OMS en función del estado de la enfermedad. Es por ello que hace tres diferenciaciones:

1. **Tipo 1:** deficiencia absoluta de insulina. La más peligrosa, la presentan entre el 5 y 10 % de los diabéticos.
2. **Tipo 2:** deficiencia parcial de secreción de insulina y aumento de la producción de insulina. Presentada en el 90 y 95 % de los diabéticos.
3. **Gestacional:** diabetes presentada en el segundo o tercer mes de embarazo. Generalmente transitoria y curada tras el parto.

También se tratan los posibles tratamientos en función del tipo de diabetes presentada y la calidad de vida del paciente. Es de enfatizar que la dieta y ejercicio físico contribuyen a su prevención y tratamiento de forma muy activa.

Posteriormente entramos a analizar los diferentes medidores de glucosa o glucómetros de mercado, haciendo la principal diferenciación de glucómetros invasivos (más frecuentes) y los no invasivos (aun no muy extendidos pero con mucho futuro).

Y por último analizamos nuestro glucómetro, el Contour Next, con el cual realizaremos las mediciones y usaremos tanto su terminal físico como su software de análisis en el ordenador.

Este a su vez, requiere de otros dos elementos externos para las medidas, como son:

- Punzón: para la extracción de muestra sanguínea.
- Lanceta: Circuito impreso que actúa de puente entre la muestra cutánea y el glucómetro.

Cerrando la parte teórica con la explicación de cómo sincronizar las medidas tomadas con el software del ordenador para su posterior análisis extendido.

### 5.3.2 Pruebas realizadas por los participantes

En este apartado se consideró la peculiaridad del voluntariado para la toma de muestras sanguíneas ya que había que tener en cuenta su carácter invasivo y por consiguiente parcialmente doloroso.

Considerando este matiz no hubo ningún grupo que no contase con varios voluntarios para realizarse las mediciones, siendo de apreciar en estos casos el entusiasmo del alumnado por la materia.

A estos voluntarios se les pidió que igualmente de forma voluntaria acudieran en ayunas, con el fin de poder medir las variaciones de los índices de glucosa en una primera medida y posteriormente tras una ingesta de glucosa.

De esta forma cada grupo contó al menos con tres tipos de medidas:

1. Medida en ayunas: donde el voluntario acude a prácticas sin haber tomado ningún alimento, obteniendo de esta forma un índice de glucosa en sangre inferior al normalizado.
2. Medida antes de comer: sería el caso de un alumno que acude a prácticas tras haber desayunado previamente con algún tiempo considerable entre medias. Este presentará un valor de glucosa en sangre estándar, superior al de ayunas.
3. Medida después de comer: Esta medida se aplicó sobre voluntarios que habían estado comiendo alimentos ricos en glucosa, con el fin de que subieran de forma controlada sus índices de glucosa en sangre y poder ser registrados.

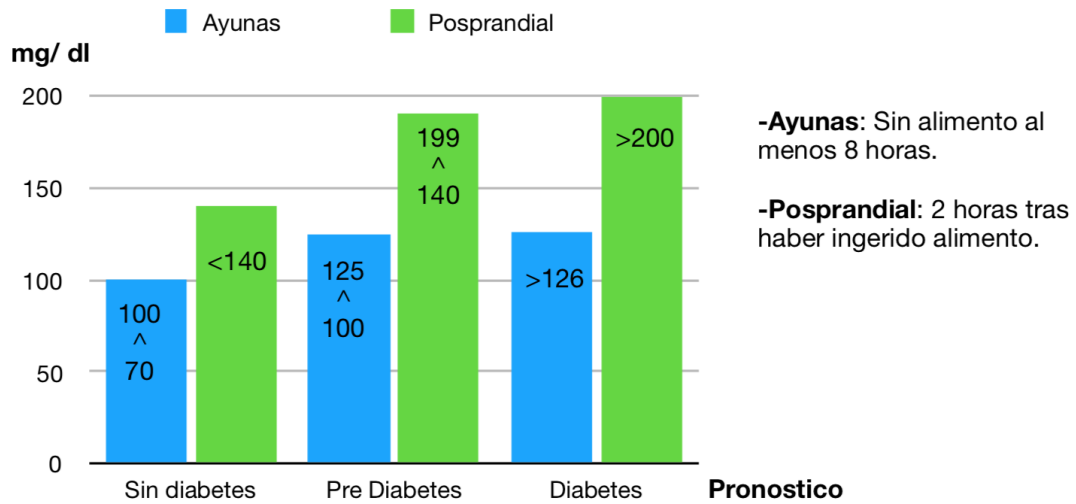
### 5.3.3 Posterior análisis de resultados

Finalmente, los datos almacenados en el glucómetro son transferidos al software del ordenador con el fin de su visualización más detallada.

De esta manera y con ayuda de unas tablas suministradas, los alumnos podían determinar en que situación se encuentra cada voluntario frente a la enfermedad:

- Sin diabetes: valores entre 70 y 140.
- Pre diabetes: valores entre 125 y 199.
- Diabetes: valores entre 126 y superiores a 200.

A continuación se muestra en una gráfica estas tres agrupaciones en función del índice de glucosa en sangre registrado.



*Figura 12. Análisis diabetes*

En esta gráfica encontramos los tres bloques anteriormente definidos:

1. **Sin diabetes:** El individuo presenta valores de glucosa en sangre entre 70 y 100 mg/dl en ayunas y nunca superiores a 140 mg/dl en estado postprandial.
2. **Pre diabetes:** El individuo presenta valores de glucosa en sangre entre 100 y 125 mg/dl en ayunas y entre 140 y 199 mg/dl en estado postprandial.
3. **Diabetes:** El individuo ya es diabético, presentado valores de glucosa en sangre mayores a 126 mg/dl en ayunas y superiores a 200 mg/dl en estado postprandial.





## 6 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Llegados a este punto entramos en detalle en una peculiaridad que tuvo lugar en las sesiones de prácticas, donde se solicitó voluntariamente, que los alumnos donasen de forma anónima sus resultados obtenidos en las pruebas e indicasen algunos matices adicionales relacionados con su estilo de vida y enfermedades padecidas.

No hubo una participación muy alta, pero obtuvimos resultados bastante representativos donde se pone en manifiesto que determinados estilos de vida contribuyen a mejorar nuestro estado cardiaco y los niveles de glucosa en sangre.

### 6.1 Resultados obtenidos

Primeramente vamos a dejar constancia de cuatro datos generales adicionales a las medidas realizadas, los cuales condicionan en gran medida el estado cardiaco y los índices de glucosa en sangre. Además de estos cuatro datos, introducimos un identificador anónimo de cada individuo para relacionar sus medidas con esta primera información.

<b>Id Sujeto</b>	<b>Edad</b>	<b>Actividad</b>	<b>Sexo</b>	<b>Observaciones</b>
1	21	Moderada	H	-
2	22	Moderada	H	-
3	21	Reducida	H	Estenosis aórtica
4	23	Alta	M	-
5	23	Reducida	H	-
6	23	Alta	H	-

*Tabla 3. Estudio 1*

A continuación mostramos los resultados de los alumnos voluntarios a partir de las pruebas del electrocardiograma y el glucómetro.

Es de gran importancia mencionar que estos primeros datos registrados podrían condicionar de forma muy directa los valores de ECG y glucosa registrados; entraremos en más detalle en este tema posteriormente.

### 6.1.1 Datos del escenario: ECG

Se parte de los datos inicialmente indicados, los cuales son de alta relevancia para esta medida. Por ejemplo, un individuo con alta actividad física tendría un músculo cardiaco más desarrollado y por consiguiente un ECG normal y frecuencias más bajas que una persona más sedentaria.

Los valores de ECG obtenidos en las tres condiciones de esfuerzo de los seis sujetos voluntarios son:

Id Sujeto	ECG en Reposo	ECG en Estado Normal	ECG en Esfuerzo
1	82	86	159
2	78	93	136
3	76	77	114
4	77	89	123
5	95	95	158
6	65	71	144

*Tabla 4. Estudio 2 de ECG*

### 6.1.2 Datos del escenario: Diabetes

Al igual que en el caso del ECG, los datos genéricos recogidos inicialmente de cada sujeto, pueden contribuir a tener unos valores de glucosa en sangre mejores, además de contribuir a la generación de insulina por parte de nuestro organismo.

Por ejemplo la actividad física y la edad van muy acompañadas para prevenir la diabetes: una persona joven, sedentaria y con mala alimentación tendría riesgos de padecer diabetes pero bastante menos probabilidad que una persona de edad avanzada, sedentaria y con una mala alimentación.

A continuación se reflejan los escasos datos de niveles de glucosa de los voluntarios, ya que se trataba de una prueba un poco delicada ya que teníamos de extraer una pequeña muestra sanguínea de forma invasiva.

Id Sujeto	Glucosa en Ayunas	Glucosa antes de comer	Glucosa después de comer
1	90	90	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	109	-
5	-	-	-
6	98	105	-

*Tabla 5. Estudio 3*

## 6.2 Análisis y pronóstico a partir de los obtenidos

En este apartado, primeramente analizaremos los datos recogidos por los alumnos tanto en el campo del electrocardiograma como la glucosa. Posteriormente haremos un pronóstico aproximado en función de los datos adicionales suministrados por parte de los voluntarios.

### 6.2.1 Análisis de los escenarios: ECG y Diabetes

Partiendo de los datos aportados por los compañeros y registrados en el apartado anterior, analizaremos en profundidad los casos del sujeto 1, 4 y 6. Ya que de ellos tenemos tanto datos del ECG como de glucosa en sangre.

Primeramente nos centramos en el **sujeto uno**:

- 21 años.
- Actividad física moderada.
- Varón.
- Sin ninguna enfermedad apreciable.
- ECG Reposo: 82 rpm.
- ECG Normal: 86 rpm.
- ECG Esfuerzo: 159 rpm.
- Glucosa en ayunas: 90 mg/dl.
- Glucosa antes de comer: 90 mg/dl.

Haciendo uso de las tablas y gráficas presentes en apartados anteriores, podemos apreciar que este adulto a pesar de realizar deporte moderado, tiene unas pulsaciones en reposo un poco elevadas. Nada alarmante teniendo en cuenta que el reposo conseguido en el laboratorio es relativo.

Por otra parte presenta unos valores de glucosa en sangre bastante buenos, quedándose a 10 mg/dl del máximo para ayunas y sin diabetes. Además en el estado postprandial, en el cual tras la ayuna se le suministró alimentos ricos en azúcares, presenta el mismo valor que en ayunas. Ello es un indicio de que su sistema libera adecuadamente insulina y es capaz de controlar satisfactoriamente la ingesta de alimentos ricos en azúcares en este caso.

Seguidamente pasamos al **sujeto cuatro**:

- 23 años.
- Alta actividad física.
- Mujer.
- Sin ninguna enfermedad apreciable.
- ECG Reposo: 77 rpm.
- ECG Normal: 89 rpm.
- ECG Esfuerzo: 123 rpm.
- Glucosa en ayunas: - mg/dl.
- Glucosa antes de comer: 109 mg/dl.

El sujeto numero cuatro se trata de una mujer adulta y deportista. Vemos claramente como su frecuencia en reposo se mantiene por debajo de las 80 rpm, reflejando así como la actividad física contribuye a unos índices de frecuencia cardiaca menores.

Por otra parte, este sujeto acudía sin estar en ayunas y un estado postprandial, por lo tanto se le aplicó solo esa medida de glucosa, obteniendo un valor de 109 mg/dl. Una cantidad bastante buena y sin peligro alguno de prediabetes, faltando más de 30 mg/dl para llegar a esta zona de pre diabetes.

Finalmente analizamos el **sujeto seis**:

- 23 años.
- Alta actividad física.
- Varón.
- Sin ninguna enfermedad apreciable.
- ECG Reposo: 65 rpm.
- ECG Normal: 71 rpm.
- ECG Esfuerzo: 144 rpm.
- Glucosa en ayunas: 98 mg/dl.
- Glucosa antes de comer: 105 mg/dl.

Finalmente, el sujeto seis, varón adulto y deportista, presenta un valor de frecuencia cardiaca en reposo muy baja, corroborando el hecho de que la actividad física contribuye a una mejore muy considerable de la actividad cardiaca.

Pero en este caso presenta un valor de glucosa en ayunas algo elevado teniendo en cuenta su actividad física y edad. Estando solo a 2 mg/dl de la zona de prediabetes, hecho que nos hace poner el foco en este individuo y recomendar un pronostico inicial de control de sus niveles de glucosa de forma más frecuente, con el fin de conocer si este valor fue solo esporádico o realmente se encuentra en un estado muy cercano a la prediabetes.

## **6.2.2 Pronostico: ECG y Diabetes**

Ya en este punto del apartado de estudio de los resultados obtenidos tras las prácticas docentes realizadas, brevemente resumiremos los pronósticos registrados a raíz de los resultados.

En la mayoría de los casos, los individuos no eran sedentarios y presentaban valores de frecuencia cardiaca y niveles de glucosa normales para sus características.

Por otra parte, hubo un gran número de participantes deportistas, los cuales registraron valores de frecuencia cardiaca bastante inferiores a los demás y en la mayoría de los casos, índices de glucosa en sangre igualmente inferiores.

Es por ello que tanto la actividad física como la dieta son dos de los principales pilares para prevenir enfermedades cardiovasculares y la diabetes.



# 7 PLANIFICACIÓN

---

La planificación de este proyecto comienza con una amplia anterioridad a la sesión práctica impartida en el mes de Marzo.

Partiendo de haber sido alumno de esta misma asignatura el curso anterior a este proyecto y del interés que despertó en mí. Surge la inquietud de poder desarrollar mi trabajo fin de carrera relacionado con esta materia. No obstante durante el verano de 2017 de forma autónoma comienzo a indagar un poco el tema de la capacidad eléctrica cardíaca y empiezo a estudiar un poco la funcionalidad y especificaciones de desfibriladores automáticos implantables (DAI).

Tras ese primer contacto teórico con la Bioingeniería y el posterior estudio. Surge la posibilidad de realizar este proyecto y poder crear de la mano de mi tutora, un laboratorio práctico. Lo cual me fascinó.

Tras la asignación hacia mi persona del proyecto, los siguientes pasos en orden cronológico que planificamos seguir fueron:

- Extracción de posibles casos prácticos relacionados con la Bioingeniería.
- Aplicación docente de los mismos.
- Búsqueda de dispositivos en mercado válidos para cumplir las especificaciones docentes impuestas.
- Estudio y adaptación de los dispositivos.
- Diseño previo de los escenarios docentes.
- Desarrollo de los escenarios en los laboratorios por parte de los alumnos.
- Análisis de los resultados obtenidos en los casos de los voluntarios.
- Elaboración de la memoria final.



# 8 PRESUPUESTO

En este capítulo reflejaremos los principales gastos registrados en este proyecto, los cuales fueron asumidos por el departamento de **Ingeniería de Sistemas y Automática de la ETSI de Sevilla**.

Reflejaremos los precios de las otras opciones en cuanto a dispositivos barajados para que consten de referencia económica.

## 8.1 Electrocardiógrafo portátil

En el caso del electrocardiograma, históricamente se han utilizado electrocardiógrafos de gran complejidad y precisión, además de precios muy elevados.

En nuestro caso se ha optado por electrocardiógrafos portátiles, ya que su uso para la docencia es sencillo, la precisión buena y el precio asequible.

A continuación se muestra una tabla comparativa de los precios de los dispositivos barajados para su uso en las prácticas docentes:

<b>Electrocardiógrafo</b>	<b>Precio de mercado (Euros)</b>
ECG 101 TFT	540,40
AliveCor, Kardia Mobile	129,80
Qardio C100-IAW	499
PULOX PM10 ECG	79,90

*Tabla 6. Presupuesto 1*

Finalmente el dispositivo seleccionado y usado en el laboratorio fue el PULOX PM10 ECG, ya que su precisión era bastante buena en función de su precio de mercado.

## 8.2 Glucómetro

En el caso del medidor de glucosa a priori se intentó comprar un medidor no invasivo, que era lo más novedoso y avanzado del mercado hasta la fecha. Pero solo se comercializaba fuera de España y su precio era muy elevado.

Entonces se tuvieron en cuenta los siguientes modelos, teniendo en cuenta que todos tenían aproximadamente las mismas características:



<b>Glucómetro</b>	<b>Precio de mercado (Euros)</b>
SD Biosensor	58,49
LifeScan OneTouch	19,69
FreeStyle Libre	147,84
GlucoWISE	No comercializado aún
Contour Next USB	27,90

*Tabla 7. Presupuesto 2*

Finalmente el dispositivo utilizado en el laboratorio práctico fue el Contour Next USB.



## 9 CONCLUSIONES

---

Finalmente, llegados a este punto y tras haber realizado este trabajo fin de carrera y habiendo finalizado mi etapa universitaria como Ingeniero en Telecomunicaciones, no creo que haya un fin más fascinante que aplicar los avances tecnológicos a intentar mejorar la vida de las personas.

Y con mejorar no me refiero a aportarle teléfonos móviles más potentes o coches inteligentes, sino aplicar la tecnología a hechos de vital importancia que consiguen salvar vidas a diario, como es el caso de la Bioingeniería.

Esta ciencia tendrá su trasfondo financiero con grandes marcas poderosas y señores ricos que solo les importe beneficios, pero con una finalidad al margen de lo económico clara: “Aplicar ingeniería a medicina y biología”, con el objetivo de solventar limitaciones médicas de precisión, investigación, desarrollo, evolución...

Es por ello, que justo ahora, si quedaba alguna duda, creo haber elegido acertadamente titulación a estudiar y trabajo fin de grado a realizar, por el mero hecho de poder contribuir, aunque sea mínimamente, a la causa del desarrollo de la bioingeniería entre los alumnos de la escuela.

Gracias.



# REFERENCIAS

---

[1] Asignatura bioingeniería :

[http://www.us.es/estudios/grados/plan\\_199/asignatura\\_1990072](http://www.us.es/estudios/grados/plan_199/asignatura_1990072)

[2] Actividad cardiaca :

[http://www.heartsite.com/html/electrical\\_activity.html](http://www.heartsite.com/html/electrical_activity.html)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia\\_card%C3%ADaca](https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_card%C3%ADaca)

<https://www.webmd.com/heart-disease/guide/how-heart-works>

<https://es.slideshare.net/AhmedAbdulwahab7/electrical-activity-of-the-heart-65402375>

[3] Glucosa en sangre y diabetes:

<https://insulclock.com/normogluccemia-niveles-normales-de-glucosa-en-sangre/>

<https://www.webmd.com/diabetes/how-sugar-affects-diabetes>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Blood\\_sugar\\_level](https://en.wikipedia.org/wiki/Blood_sugar_level)

<https://www.diabetesselfmanagement.com/blog/what-is-a-normal-blood-sugar-level/>

<https://www.webmd.com/diabetes/guide/diabetes-hyperglycemia>

<https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/diabetes/diagnosis-treatment/drc-20371451>

[4] Pulox PM10:

[https://www.pulox.de/Pulox-PM10-Mobiles-Einkanal-EKG-Geraet-Heim-EKG-Geraet\\_en](https://www.pulox.de/Pulox-PM10-Mobiles-Einkanal-EKG-Geraet-Heim-EKG-Geraet_en)

<https://www.amazon.es/PULOX-PM10-Electrocardiograma-Port%C3%A1til-Software/dp/B0123ZKICO>

[5] Contour Next USB:

<https://www.contournext.com/products/contour-next-usb/>

<https://www.amazon.es/Contorno-Bayer-Siguiente-glucosa-vigilancia/dp/B00C3MFG02>



# ÍNDICE DE CONCEPTOS

---

Principales conceptos tratados:

1. **Electrocardiograma:**  
Gráfico en el que se registran los movimientos del corazón y es obtenido por un electrocardiógrafo.
2. **Diabetes :**  
Enfermedad en la que los niveles de glucosa (azúcar) de la sangre están muy altos.
3. **Electrocardiógrafo:**  
Aparato que registra las corrientes eléctricas producidas por la actividad del corazón.
4. **Glucómetro:**  
Dispositivo medidor de glucosa en sangre.





# GLOSARIO

---

ECG: Electrocardiograma.

TICs: Tecnologías de la Información y Comunicación.

m-Salud: Salud para dispositivos móviles.

e-Salud: Uso de TICs para la salud.

SME: Sistema Musculo Esquelético.

DAI: Desfibrilador Automático Implantable.

SA: Nodo sinoauricular.

AV: Canal auriculoventricular

PC: Computadora personal.

CEM: Compatibilidad Electromagnética.

OMS: Organización mundial de la salud.



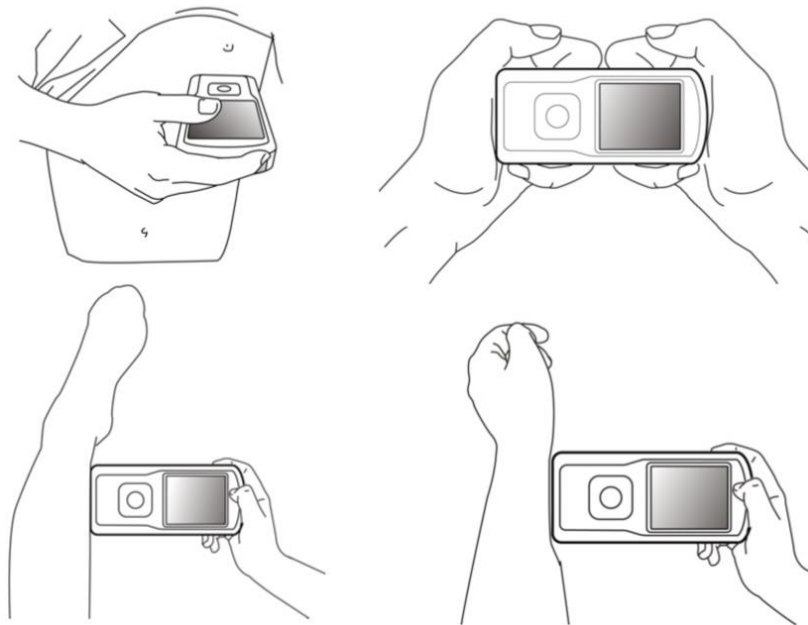
# ANEXO A: MANUAL DE USO: PULOX PM10

En este primer anexo se resume como utilizar nuestro electrocardiógrafo, el Pulox PM10. Este dispositivo, a diferencia de los electrocardiógrafos utilizados históricamente por los médicos, de gran complejidad y necesidad de un gran número de elementos añadidos, tiene un uso muy intuitivo.

Cuenta con un único botón que sirve tanto para encender si esta apagado, manteniéndolo pulsado durante unos segundos, como para interactuar con el mismo una vez encendido.

A continuación se muestran los pasos para efectuar una correcta medida de nuestro ECG:

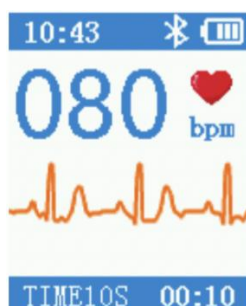
## 1. Colocación del dispositivo para su uso:



*Figura 28. ECG 1*

- Podremos realizar cuatro tipo de medidas como vemos en la imagen, tanto manos pecho, manos con manos, mano tobillo y mano muñeca.
- La forma más habitual por su discreción y fiabilidad es la medición entre ambas manos.

## 2. Muestreo del ECG:



*Figura 29. ECG 2*

- Interfaz de pre-muestreo.
- Onda aún no estabilizada.
- El ruido externo empeora la medida del ECG.

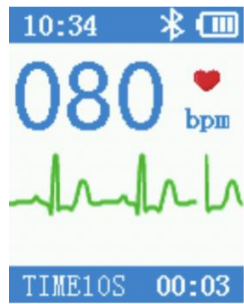


Figura 30. ECG 3

- Interfaz de muestreo normalizado.
- Onda estabilizada.
- Tras ello se obtiene inmediatamente el resultado del ECG

### 3. Resultado del ECG:

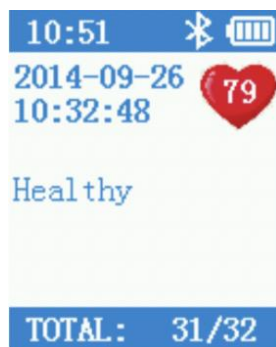


Figura 31. ECG 4

- Tras un muestreo estabilizado obtenemos el resultado del ECG.
- Una primera aproximación del estado del mismo: Healthy.
- Y la frecuencia cardiaca registrada.



Figura 32. ECG 5

- ECG en estado taquicárdico.
- Presenta una frecuencia cardiaca muy elevada.

Finalmente, una vez realizada la medida del ECG y este haya quedado registrado en el electrocardiógrafo, el siguiente paso sería sincronizarlo con el software del PC. Esta actividad se explica en el Anexo C.



# ANEXO B: MANUAL DE USO: CONTOUR NEXT

En este segundo anexo explicaremos los principales puntos para hacer uso de nuestro glucómetro, el cual a pesar de necesitar una muestra sanguínea incisiva, es de muy fácil utilización y mínimamente incómodo a la hora de la incisión.

Este dispositivo, a diferencia del electrocardiógrafo, necesita de otros dos elementos adicionales para su correcta utilización. A continuación describimos estos dos elementos:

## 1. Dispositivo de punción:



*Figura 33. Contour 1*

- Este dispositivo cuenta con pequeños punzones desechables y de un solo uso para realizar la incisión.
- Además de un regulador de intensidad punzante.

## 2. Lanceta:



*Figura 34. Contour 2*

- Útil que hace de conductor entre la muestra sanguínea y el glucómetro.
- Cuenta en un extremo con un circuito conductor legible por el glucómetro.
- Y en el otro extremo, una incisión que debe estar en contacto por la muestra sanguínea.

Una vez en posesión de estos dos elementos anteriores y el glucómetro, estamos en posición de realizar la medida. Los pasos a seguir para ellos serían:

1. Introducir la lanceta en el glucómetro:



Figura 35. Contour 3

- Introducimos la lanceta y automáticamente si no estaba encendido se encenderá el dispositivo.
- Y aparecerá el mensaje de “Aplique sangre” en pantalla.
- Tras ello podremos aplicar la muestra en el extremo de la lanceta.

2. Preparación y punción:

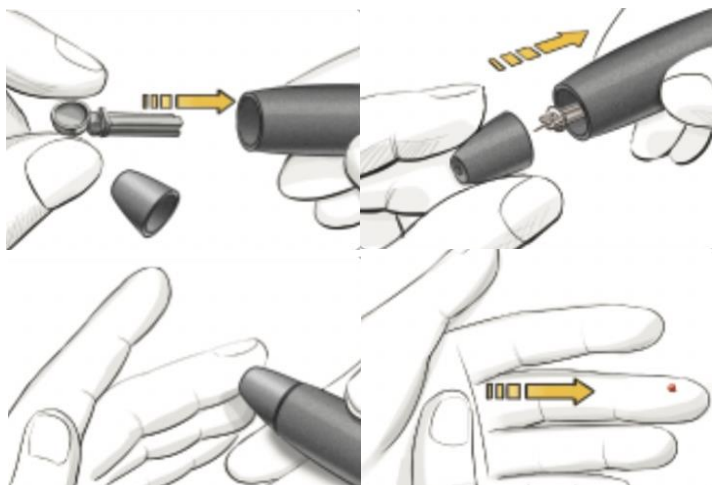


Figura 36. Contour 4

- Abrimos el elemento de punción.
- Colocamos el punzón.
- Cerramos y ajustamos la intensidad.
- Punzamos y presionamos para que salga la muestra.
- El dedo de la mano suele ser el lugar más típico para punzar.

### 3. Tipo de medida:



Figura 37. Contour 5

- Aplicada la muestra y leída por el glucómetro, nos pedirá que indiquemos que tipo de medida se esta realizando.
- Si una medida en ayunas, antes de comer o después de comer.
- Además podremos indicar si hemos realizado actividad física u otros parámetros adicionales.

### 4. Resultados de la medida:

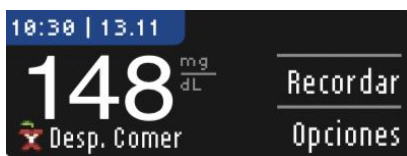


Figura 38. Contour 6

- Esta primera vista indica una medida con un resultado normal después de comer y sin anomalías.
- Esta segunda vista nos advierte que la cantidad de sangre aplicada es insuficiente y que deberíamos aplicar más cantidad.
- Esta tercera imagen es un caso de Hipoglucemia, ya que es inferior a 79 mg/dl. Aparece en naranja como símbolo de peligro.
- Por último esta vista indicaría una Hiperglucemia, ya que su valor supera los 250 mg/dl. Igualmente aparece en naranja para indicar peligro.



5. Configuración de resultados:

Tras realizar la medida, podemos configurar esta dependiendo de los hidratos ingeridos, la insulina suministrada y añadir notas.



Figura 39. Contour 7



Figura 40. Contour 8

- Si seleccionamos la configuración de los Hidratos obtendremos estas opciones.
- Cuando los ingirió.
- Que cantidad ingirió.
- Información relevante a la hora de analizar las medidas.

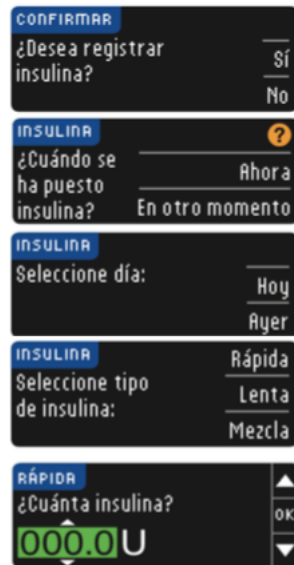


Figura 41. Contour 9

- Si seleccionamos la configuración de la insulina obtendremos.
- Cuando se aplico la dosis.
- Que cantidad.
- Tipo de insulina.
- Información igualmente relevante para analizar las medidas.

6. Análisis de resultados:

Esta será la última función del glucómetro que analizaremos, y consiste en la función tendencias del mismo. Esta opción nos permite tener información de un histórico de medidas realizadas.

Con un periodo temporal de 7, 14, 30 y 90 días como máximo.

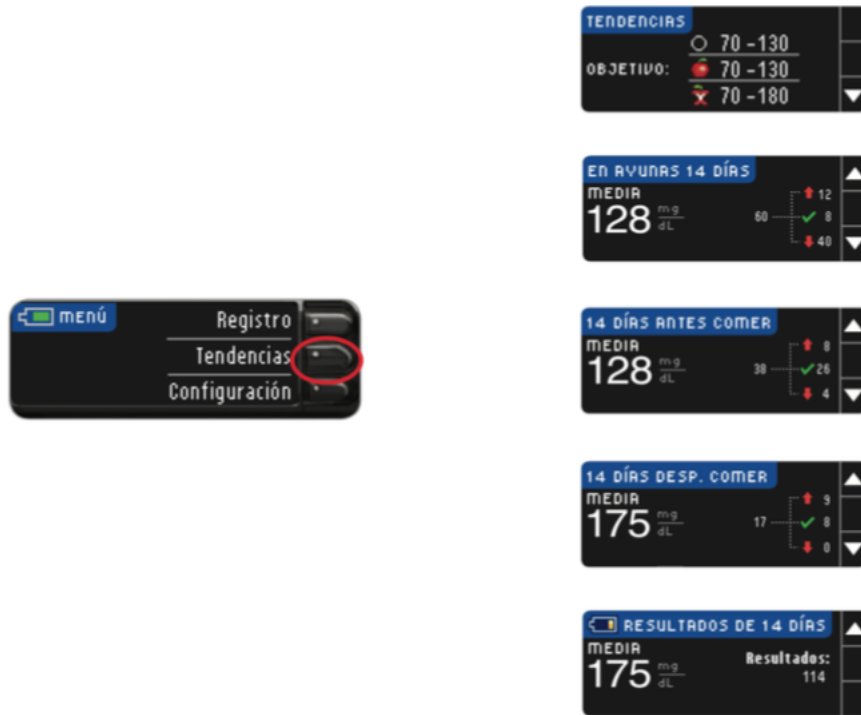


Figura 42. Contour 10

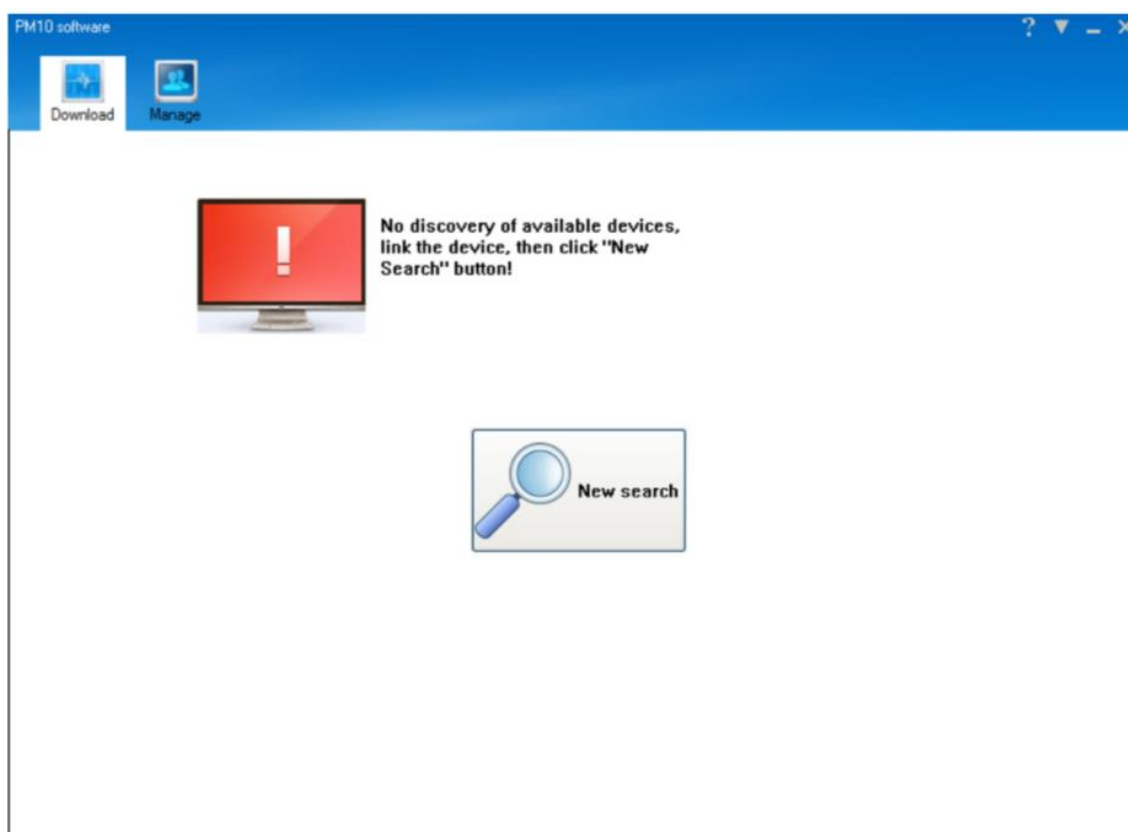


# ANEXO C: INSTALACIÓN SOFTWARE PULOX

El software para la computadora Windows, y solo este sistema operativo, del Pulox PM10 se descarga directamente desde la página web del dispositivo. A continuación se adjunta el enlace de descarga directa:

<https://www.pulox.de/downloads/pm10.exe>

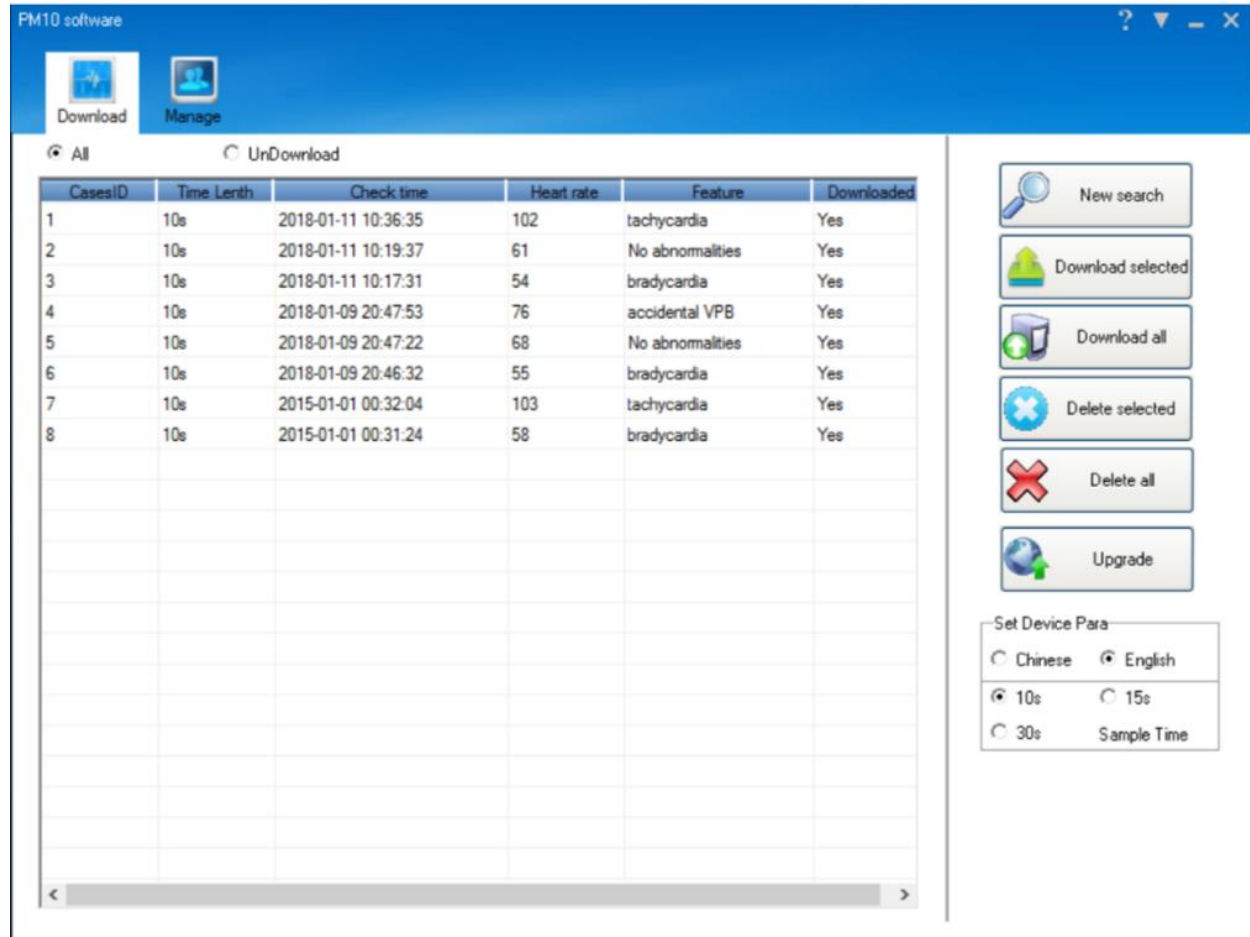
Tras descargar, la instalación es muy sencilla. Una vez instalado nos aparecerá una ventana como esta. En la cual una vez conectado el dispositivo mediante USB, deberemos hacer New Search para sincronizar las medidas.



*Figura 43. Software Pulox 1*

Una vez sincronizadas las medidas registradas en el dispositivo, nos aparecerá una vista como la mostrada en la figura 44, en la cual podremos descargar una sola medida, todas o realizar otras acciones. Si efectuamos la

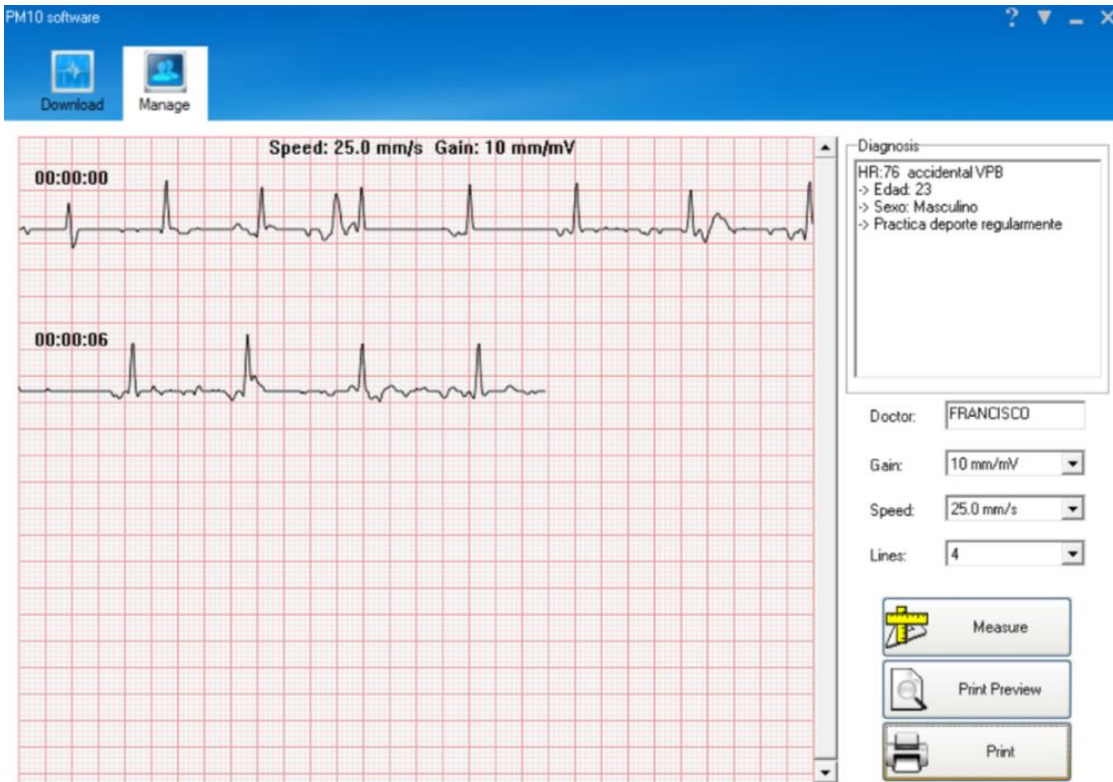
descarga de todas, estas quedaran de forma local almacenadas dentro de la aplicación software de nuestro PC, las cuales podrán ser analizadas posteriormente.



*Figura 44. Software Pulox 2*

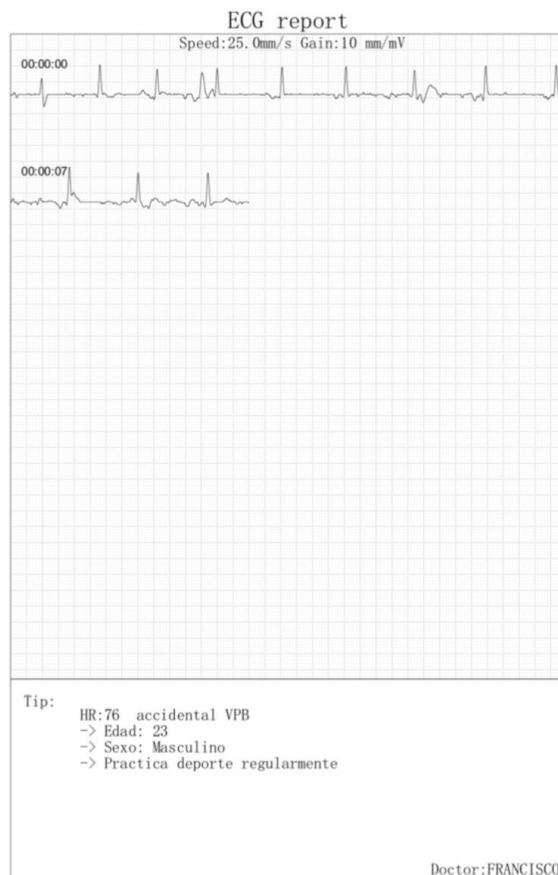
Una vez tengamos las medidas deseadas descargadas, podremos entrar a trabajar con ellas en detalle. Seleccionando una de ellas podremos ver la gráfica del ECG realizado, variar algunos parámetros de representación, personalizar esta medida en un cuadro de texto, imprimir o medir con ayudas de medida.

Finalmente esta medida, seleccionada y posiblemente editada podrá descargarse en formato PDF. En ello constarán tanto la gráfica del ECG como los datos adicionales introducidos.



Double-click in the drawing area to return the list of cases

**Figura 45. Software Pulox 3**



**Figura 46. Software Pulox 4**



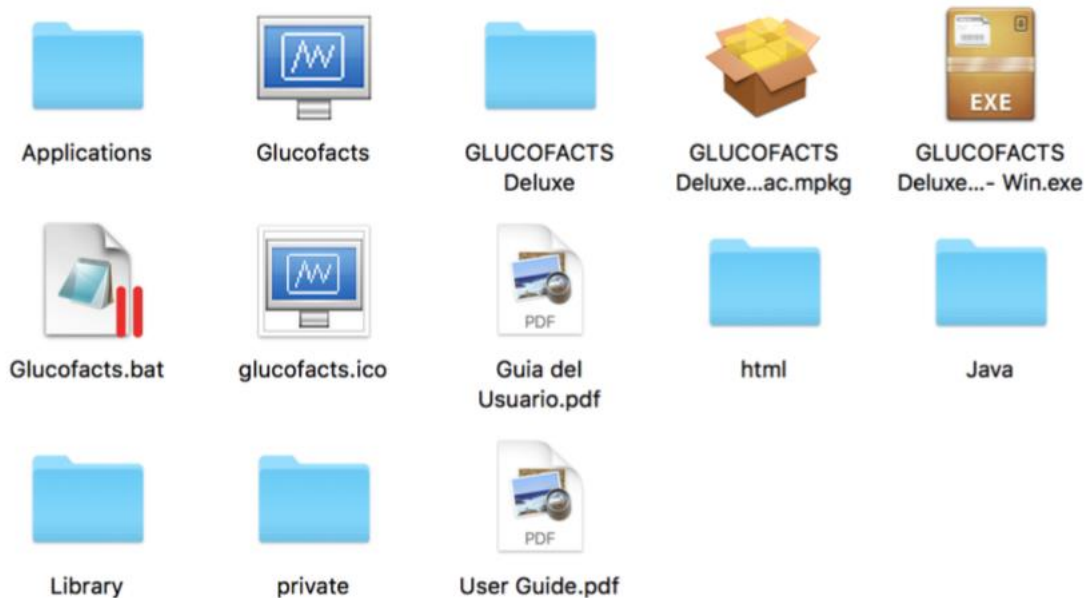




## ANEXO D: INSTALACIÓN SOFTWARE CONTOUR

El software del glucómetro no requiere de descarga externa para su instalación. El propio glucómetro al ser insertado en el ordenador trae implícito el instalador tanto para Windows como IOS.

Esta será la presencia del directorio abierto tras la conexión del glucómetro en el PC., con dos instaladores, para los dos sistemas operativos que comentamos anteriormente.



*Figura 47. Software Contour 1*

Un vez instalado, en Windows se los abrirá directamente la aplicación y en IOS tendremos que entrar en la siguiente ruta para ejecutar la aplicación: *Applications/ Bayer Health/bin/ SmartLaunch* .

A continuación se muestra la presencia que tiene la aplicación al ejecutarse en el ordenador. En esta primera vista encontramos tanto configuración, ayuda técnica, sitio web de Contour Next, impresión sencilla de las medidas o la opción más relevante para nosotros, Tendencias de seguimiento.

En esta opción encontraremos información adicional a las medidas estándar realiza con el glucómetro. Al igual que el electrocardiograma podremos configurar y personalizar estas medidas.



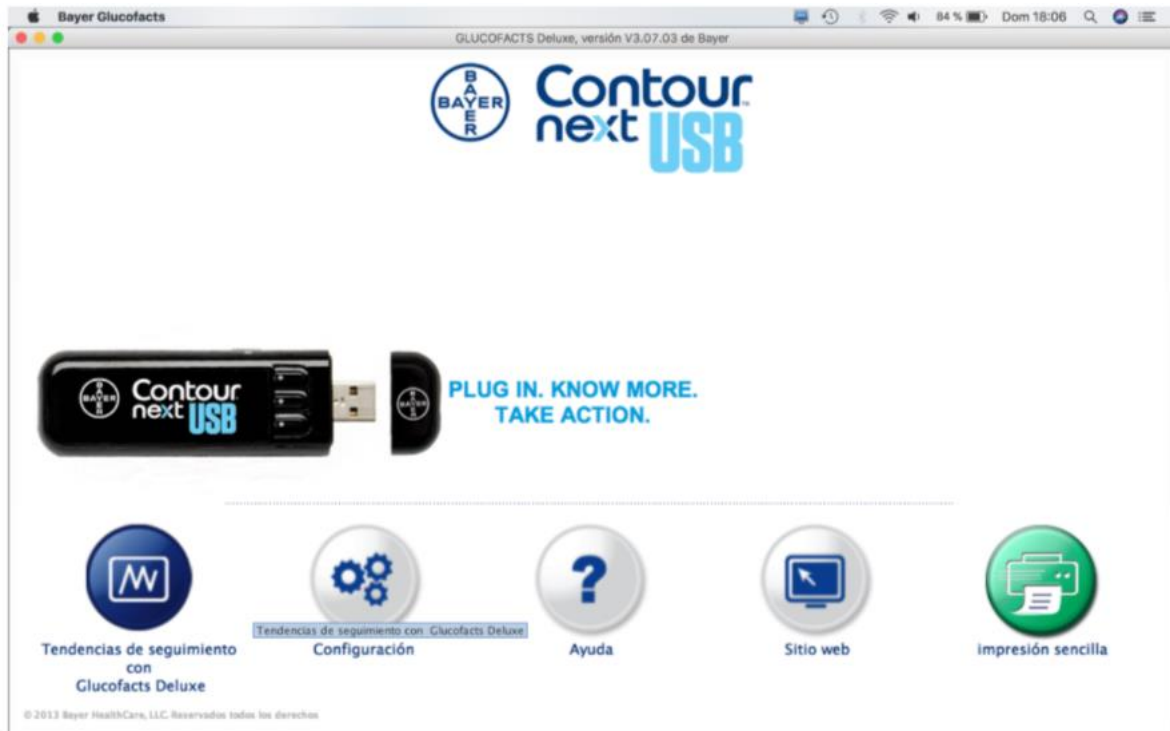


Figura 48. Software Contour 2

Dentro de tendencias encontraremos por ejemplo un registro temporal de las medidas realizadas sobre un paciente en concreto.

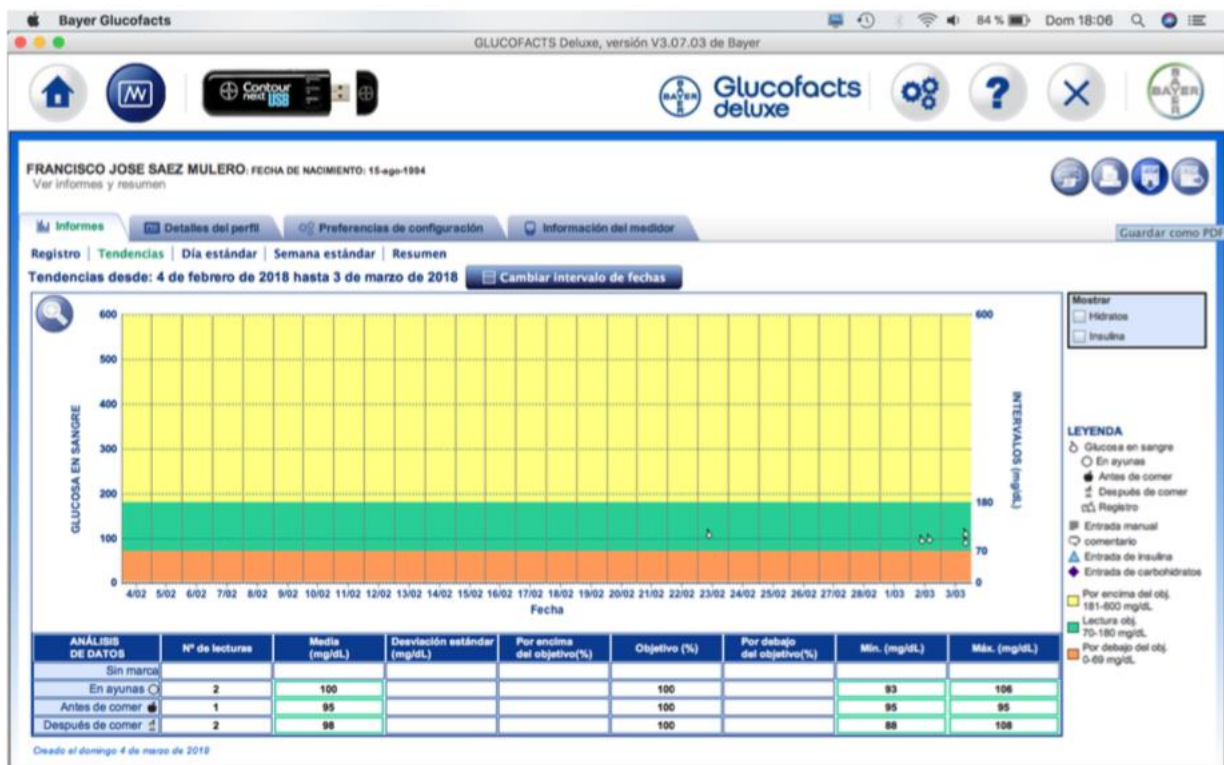


Figura 49. Software Contour 3

Y si seleccionamos medidas en concretos, podremos obtener información adicional de esa en concreto: situación alimenticia de esa medida, anotaciones registradas en la medida, indicación de peligrosidad de la medida registrada, ...

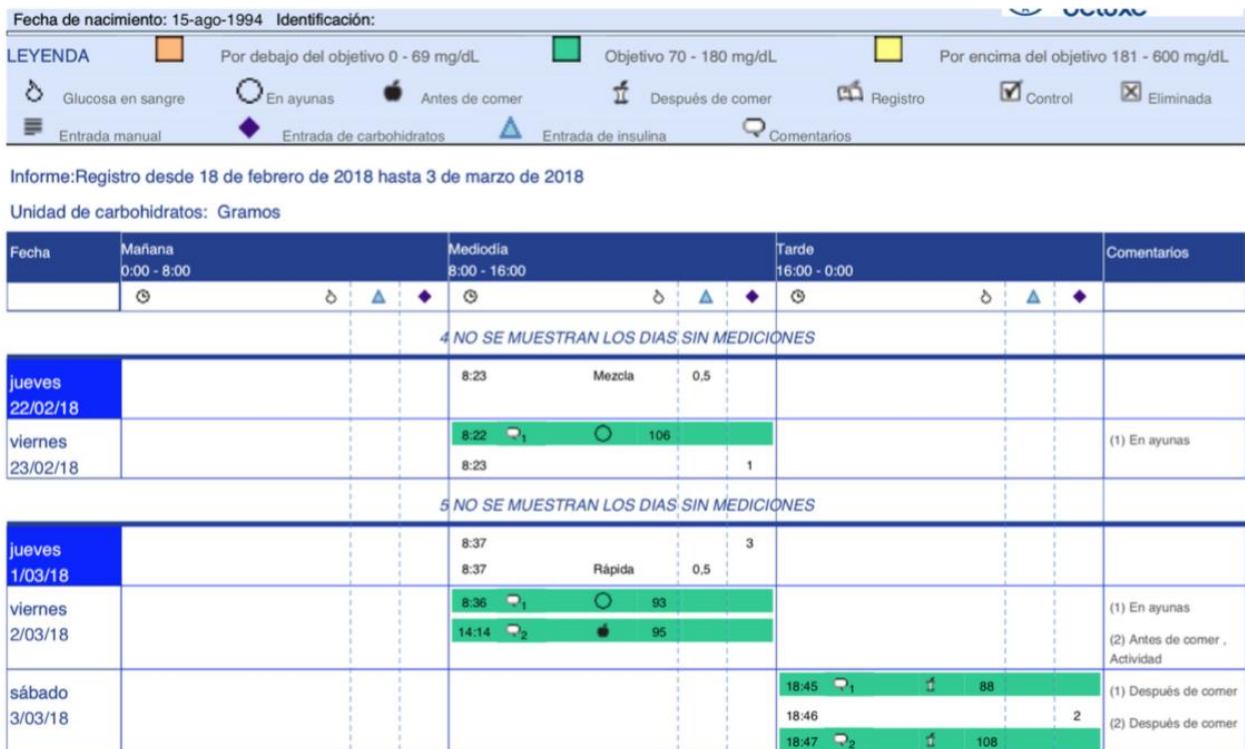


Figura 50. Software Contour 4

Al igual que el electrocardiograma, con este software también tendremos la posibilidad de exportar las medidas en formatos estándar.