

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



**Grado en Ingeniería de Tecnologías y
Servicios de Telecomunicación**

TRABAJO FIN DE GRADO

**Análisis de Datos de Acelerometría para
Determinar Niveles de Actividad Física**

Ángel Luis Flórez Parra
Tutor: Jorge E. López de Vergara Méndez

MAYO 2015

Análisis de Datos de Acelerometría para Determinar Niveles de Actividad Física

AUTOR: Ángel Luis Flórez Parra

TUTOR: Jorge E. López de Vergara Méndez

High Performance Computing and Networking Research Group Dpto. de Tecnología

Electrónica y de las Comunicaciones

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Mayo de 2015

Resumen — En la actualidad estamos sufriendo un “boom” en la tecnología aplicada a la salud y al deporte. Comienzan a emerger nuevas aplicaciones software y hardware que tratan de mejorar muchos aspectos de nuestras vidas, entre ellas, una mayoría basada en la monitorización de la actividad física.

Este enorme crecimiento y evolución es debido al interés médico y científico que deriva de la actividad física, la profesionalización de las disciplinas deportivas a través de la monitorización y por último el gran interés personal en conocer nuestros límites y nuestros propios registros.

Por todos estos motivos se desarrollan cada vez más sistemas y Apps que nos aportan información sobre la actividad física que hemos realizado, como por ejemplo el control del pulso en tiempo real, el cálculo de distancias recorridas, la monitorización del sueño y otras muchas. Entre ellas nos centraremos en las utilizadas para la diferenciación o detección de distintas actividades mediante el uso de acelerómetros, sensores que detectan movimientos al llevarlos incorporados. Gracias a estos sensores, se convierte en una tecnología muy accesible para casi todos los públicos ya que hoy en día todos los *SmartPhones* integran un acelerómetro.

Esta demanda hace que el control y seguimiento de la actividad física tengan que perfeccionarse para buscar una solución óptima y precisa. Para resolver este problema es necesario desarrollar numerosos algoritmos que analicen las señales procedentes de estos dispositivos.

De todo ello surge este Trabajo de Fin de Grado, cuyo objetivo principal ha sido analizar las señales de estos sensores y poder distinguir tanto el nivel de actividad física de un sujeto como especificar qué actividad básica está realizando. Para llegar a estas metas, en el transcurso del presente trabajo se han estudiado distintos métodos y se han realizado numerosas pruebas.

Finalmente, el sistema desarrollado se basa en el tratamiento de la señal de acelerometría y la extracción de sus características para su posterior análisis y comparación mediante métodos de distancias estadísticas.

Palabras clave — Actividad física, sensor, acelerómetro, monitorización, niveles, extracción de características, FFT, distancia Euclídea.

Abstract — Currently we are suffering a "boom" in technology applied to health and sport. New software and hardware applications are appearing that treat to improve many aspects from our lives, many of them are based on physical activity monitoring.

This huge growth and evolution is due to medical and scientist interest derived from physical activity, the professionalization of sports disciplines through human monitoring and finally, the great personal interest in knowing our limits as well as our own records.

For all this reasons, a great number of applications have been developed to provide us information about our physical activity. For example, Apps ranging from the control pulse in real time, calculating distances, monitoring sleep and many others. Among them, we will focus on differentiation or detection of various activities using accelerometers, sensors that detect movements when they are incorporated into daily life. Thanks to these sensors, it becomes a very accessible technology for nearly all public since today all SmartPhones integrate an accelerometer.

This demand makes the control and monitoring of physical activity have to be refined to an optimum and accurate solution. To solve this problem many algorithms that analyze the signals from these devices need to be developed.

Therefore this Final Degree Thesis arises, whose main aim has been to analyze signals from these sensors and to be able to distinguish both the level of physical activity and specify which basic daily activity is being performed. In order to achieve these goals, in the course of this thesis we have studied different methods and there have been numerous tests.

Finally, the developed system is based on treating the accelerometer signal and extracting its features for further analysis and comparison using statistical distances methods.

Key words — Physical activity, sensor, accelerometer, monitoring, levels, feature extraction, FFT, Euclidean distance.

Agradecimientos

Tras un año de duro trabajo y muchas horas dedicadas a este Trabajo de Fin de Grado, he de echar la vista atrás y darme cuenta de que llegar esta meta, que es presentar este proyecto y así acabar este Grado, no ha sido solo un trabajo mío.

Para comenzar, me gustaría destacar el rol fundamental que ha tenido mi tutor Jorge E. López de Vergara. Propulsor de este proyecto. Gracias por brindarme la oportunidad de participar en él y por la ayuda que he recibido en todo este tiempo. También agradecer la aportación de los compañeros de Educación Física a este proyecto.

Hubiese sido imposible llegar hasta aquí sin una de las personas más importantes en mi vida, si no la que más. Mi madre. Gracias a ti Marisa, porque son muchos años ocupándote de mí, preocupándote de todo. Ayudándome en cada mínimo detalle en el que pudieras ayudarme. La de horas que has dedicado para que yo pueda llegar hasta aquí... eso solo lo sabemos tú y yo. No te puedes imaginar lo agradecido que estaré siempre por ello.

Gracias a mi hermano Félix por todo lo que me ha enseñado, desde que era un enano y por supuesto, a Pilar.

A mi padre, sé que esto es una ilusión para ti, espero que la ilusión se convierta en salud.

Tras esto, me gustaría agradecer a mi compañera de vida, Beatriz, en todos estos años siempre has estado ahí. No lo dejes de estar nunca. Esto también es tuyo.

Me gustaría destacar el papel esencial que ha tenido toda la gente maravillosa que he conocido en estos años de carrera. Por cada risa, por cada viaje, por cada ayuda que me habéis prestado y por todos los momentos vividos y por vivir juntos. En especial: Sergio, Tito, Dani, Raúl, Nacho, Xander, Alfredo, Roi, Pecas, Marta V., Elena, Andrea, Marta M. y Bárbara.

Por último he de agradecer a mis amigos de siempre su paciencia y su lealtad.

Gracias a todos.

Ángel Luis Flórez Parra

Mayo de 2015

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE GRADO	2
1.3. FASES DE REALIZACIÓN	2
1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	4
2. ESTADO DEL ARTE	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. MÉTODOS Y DISPOSITIVOS DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y MONITORIZACIÓN	5
2.3. ACELERÓMETROS: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	6
2.4. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES DE LOS ACELERÓMETROS Y COMPARACIÓN ENTRE ELLAS.....	8
2.5. CONCLUSIONES	11
3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	13
3.1. INTRODUCCIÓN	13
3.2. ELEMENTOS NECESARIOS.....	13
3.3. ANÁLISIS DE REQUISITOS	14
3.4. CONCLUSIONES	16
4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	17
4.1. INTRODUCCIÓN	17
4.2. DIAGRAMAS DEL DISEÑO	17
4.3. PROCESADO DE ARCHIVOS.....	18
4.4. SISTEMA DE ENTRENAMIENTO (SE)	20
4.5. VISUALIZAR Y DETECTAR NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA	20
4.6. FILTRADO DE LA SEÑAL A COMPARAR	23
4.7. ENVENTANADO Y EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL A COMPARAR	25
4.8. SISTEMA DE COMPARACIONES	28
4.9. PRIMEROS RESULTADOS Y DECISOR DE EJE DE ANÁLISIS	29
4.10. CONCLUSIONES.....	34
5. VALIDACIÓN	35
5.1. INTRODUCCIÓN	35
5.2. EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN.....	35
5.3. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO	36

5.4.	CONCLUSIONES	41
6.	CASO DE ESTUDIO: SUJETOS ADOLESCENTES.....	43
6.1.	INTRODUCCIÓN	43
6.2.	ADQUISICIÓN DE LOS DATOS	43
6.3.	RESULTADOS DEL PROGRAMA	43
6.4.	RELACIÓN CON EL IMC	45
6.5.	RELACIÓN CON EL SEXO	47
6.6.	CONCLUSIONES	49
7.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	51
7.1.	CONCLUSIONES	51
7.2.	TRABAJO FUTURO	52
	REFERENCIAS.....	53
	Anexo I. Hojas de Validación	I
	Anexo II. Otros experimentos	XIII
	Anexo III. Tablas IMC.....	XVII
	Anexo IV. Comparación por sexos	XIX

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Gantt.....	3
Figura 2. Sensor empleado: GT3X ActiGraph y orientación de sus ejes [1]	7
Figura 3. Distribución de los ejes en el cuerpo humano[18].....	7
Figura 4. Diagrama básico de desarrollo	17
Figura 5. Diagrama de desarrollo ampliado	18
Figura 6. Niveles y Actividades para el Eje 1	21
Figura 7. Niveles y Actividades para el Eje 2	22
Figura 8. Niveles y Actividades para el Eje 3	22
Figura 9. Ventana Kaiser en tiempo y frecuencia.....	26
Figura 10. Ejemplo de Suavizado.....	26
Figura 11. Precisión VS Nº componentes FFT [8]	27
Figura 12. Componentes DC para distintas actividades	32
Figura 13. Porcentajes de las distintas AF obtenidos del estudio.....	44
Figura 14. Histograma % Sedentarismo del conjunto de sujetos.....	44
Figura 15. Histograma % Caminar del conjunto de sujetos	44
Figura 16. Histograma % Escaleras del conjunto de sujetos.....	45
Figura 17. Histograma % Correr del conjunto de sujetos.....	45
Figura 18. Histograma % Trotar del conjunto de sujetos.....	45
Figura 19. Porcentaje de Sedentarismo en función al IMC. Agrupado	46
Figura 20. Porcentaje de Sedentarismo en función al IMC. Individual	46
Figura 21. Porcentaje de AF en función al IMC. Individual	47
Figura 22. Porcentaje de AF en función al IMC. Agrupado	47
Figura 23. Porcentaje de Sedentarismo en función al Sexo. Agrupado	48
Figura 24. Porcentaje de Sedentarismo en función al Sexo. Individual	48
Figura 25. Porcentaje de AF en función al Sexo. Agrupado	48
Figura 26. Porcentaje de AF en función al Sexo. Individual	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Precisión (%) usando Wavelets [8]	9
Tabla 2. Precisión (%) con las características de Tiempo y Frecuencia [8]	11
Tabla 3. Características de los sujetos del SE	14
Tabla 4. Campos a extraer de los ficheros.....	19
Tabla 5. Resultados del análisis del SE - Eje 1.....	30
Tabla 6. Resultados del análisis del SE - Eje 2.....	30
Tabla 7. Resultados del análisis del SE - Eje 3.....	31
Tabla 8. Resultados del análisis del SE - Con Decisor de Ejes.....	34
Tabla 9. Datos de los Sujetos de Validación	36
Tabla 10. Ejemplo de cálculo de Errores	38
Tabla 11. Parámetros calculados del Sujeto 1.....	39
Tabla 12. Parámetros calculados del Sujeto 2.....	40
Tabla 13. Parámetros calculados de los Sujetos 3 y 4	40

GLOSARIO

TFG	<i>Trabajo de fin de grado</i>
BBDD	<i>Base de datos</i>
AF	<i>Actividad física</i>
AXIS	<i>Eje</i>
DT/SD	<i>Desviación típica/Desviación estándar</i>
DFT	<i>Transformada Discreta de Fourier</i>
FFT	<i>Transformada Rápida de Fourier</i>
SE	<i>Sistema de Entrenamiento</i>
DE	<i>Distancia Euclidea</i>
DC	<i>Corriente Continua</i>
EB	<i>Error de Borrado</i>
EI	<i>Error de Inserción</i>
IMC	<i>Índice de masa corporal</i>

1. Introducción

1.1. MOTIVACIÓN

La tecnología ha avanzado sustancialmente en los últimos 25 años y con ella lo ha hecho la medicina y el control y seguimiento de enfermedades, así como su posible relación con el sedentarismo y la actividad física. Con la tendencia hacia una vida más sedentaria, ha crecido el interés en la relación existente entre los niveles de actividad física y los problemas comunes de salud, como pueden ser las enfermedades cardiovasculares, diabetes, osteoporosis, etc.

El gran afán en conocer los datos procedentes de la actividad física de las personas ha derivado en una expansión en las técnicas que monitorizan, vigilan o siguen la evolución de los movimientos. De aquí emana el propósito de este proyecto.

Con los avances más recientes en la tecnología de sensores, se ha hecho posible recopilar y almacenar datos de aceleración tanto de segmentos individuales del cuerpo así como del mismo entero. Sin embargo, estas plataformas no son sencillas de implementar, ya que necesitan algoritmos que sean capaces de interpretar los datos extraídos en el contexto de cada actividad.

Como veremos en el estado del arte de esta memoria, existen diversos métodos para resolver este problema en lo que respecta a dispositivos y algoritmos que realizan el seguimiento que se ha comentado. Sin embargo, no todos son iguales de efectivos.

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) se centrará en el uso de acelerómetros triaxiales para obtener datos concretos de la actividad que se está realizando en un preciso momento. De esta manera, se puede estimar también cómo de sedentaria es una persona a través de sus niveles de actividad.

La idea se desarrolla en el ámbito de un proyecto financiado por el Campus de Excelencia Internacional UAM+CSIC, titulado “*Implementación de Modelos Computacionales Masivamente Paralelos*”. En dicho proyecto se han definido distintos ámbitos científicos de aplicación del procesado de datos (tales como Redes de Ordenadores, Radiofrecuencia, Física, Medicina o Educación Física). En concreto, en la actividad en la que se ha desarrollado este TFG han trabajado de manera conjunta el grupo de investigación HPCN (de la Escuela Politécnica Superior, en la Universidad Autónoma de Madrid) con el *Physical Activity and Quality of Life Research Group* del Departamento de Educación Física (de la Facultad de Formación del Profesorado, de la Universidad Autónoma de Madrid).

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Se pueden definir a grandes rasgos cuáles son los principales objetivos marcados para llegar a madurar este TFG:

- ❖ El *principal objetivo* de este proyecto ha sido desarrollar un algoritmo que sea capaz de distinguir entre actividades físicas ordinarias como pueden ser estar sentado o inactivo, caminar, subir o bajar escaleras, trotar y correr.
- ❖ Por otro lado, también se ha tenido como propósito de este trabajo determinar el nivel de actividad física de los distintos sujetos basándonos en los datos extraídos de la señal del sensor.
- ❖ Como objetivo final, se ha llevado a cabo un estudio real con la aplicación sobre la actividad física de un conjunto grande de sujetos jóvenes. Obteniendo así los porcentajes de sedentarismo y de cada actividad para todos ellos.

Para poder llegar a estas metas, la aplicación desarrollada será capaz de analizar las señales que provienen de acelerómetros (sensores). Estos dispositivos se llevan incorporados mientras se realiza la actividad diaria. Tras esto, se extraen los datos después de haberlos llevado puestos y se procede a su análisis en *MATLAB*.

Para terminar, cabe destacar que la idea principal de éste TFG podría evolucionar en trabajos futuros, como por ejemplo crear una aplicación capaz de obtener información a tiempo real de la actividad realizada.

1.3. FASES DE REALIZACIÓN

Para llegar al resultado final obtenido, reflejado en los capítulos siguientes, se han seguido un conjunto de tareas, según se listan a continuación:

- ❖ **Documentación.** Para comenzar, la primera fase ha consistido en documentarse acerca del funcionamiento de los acelerómetros: qué miden, cómo extraer sus datos y cómo manejarlos. A continuación se ha seguido recabando información acerca de los distintos métodos de comparación de señales.
- ❖ **Análisis.** Una vez realizada la fase previa de documentación, se han realizado una serie de análisis sobre la respuesta de los acelerómetros en diferentes sujetos, viendo así las señales generadas por los mismos y se han planteado los distintos métodos posibles para analizarlas.
- ❖ **Desarrollo.** Habiendo finalizado las etapas anteriores se ha procedido a realizar la fase más compleja del proyecto, desarrollar un algoritmo que sea capaz de diferenciar entre distintas actividades humanas básicas. Se ha partido desde la

gestión y procesado de archivos, siendo la tarea más básica, y finalmente, tras pasar por distintas fases se han obtenido unos resultados visibles e interpretables. Todo ello ha sido implementado en lenguaje *Matlab*.

- ❖ **Validación.** Tras haber desarrollado la aplicación, era necesario validarla, es decir, realizar las comprobaciones oportunas para verificar la bondad del sistema creado.
- ❖ **Aplicación real.** Una vez se comprobó el correcto funcionamiento del sistema, se utilizó para estudiar el comportamiento de un conjunto de sujetos.
- ❖ **Redacción de la memoria.** Para terminar, se ha redactado esta memoria en la que se detalla todo el proceso llevado a cabo durante el desarrollo de este TFG.

Se muestra a continuación el diagrama de Gantt con las fases mencionadas y la tabla con la fecha de inicio y la duración de cada fase en días:

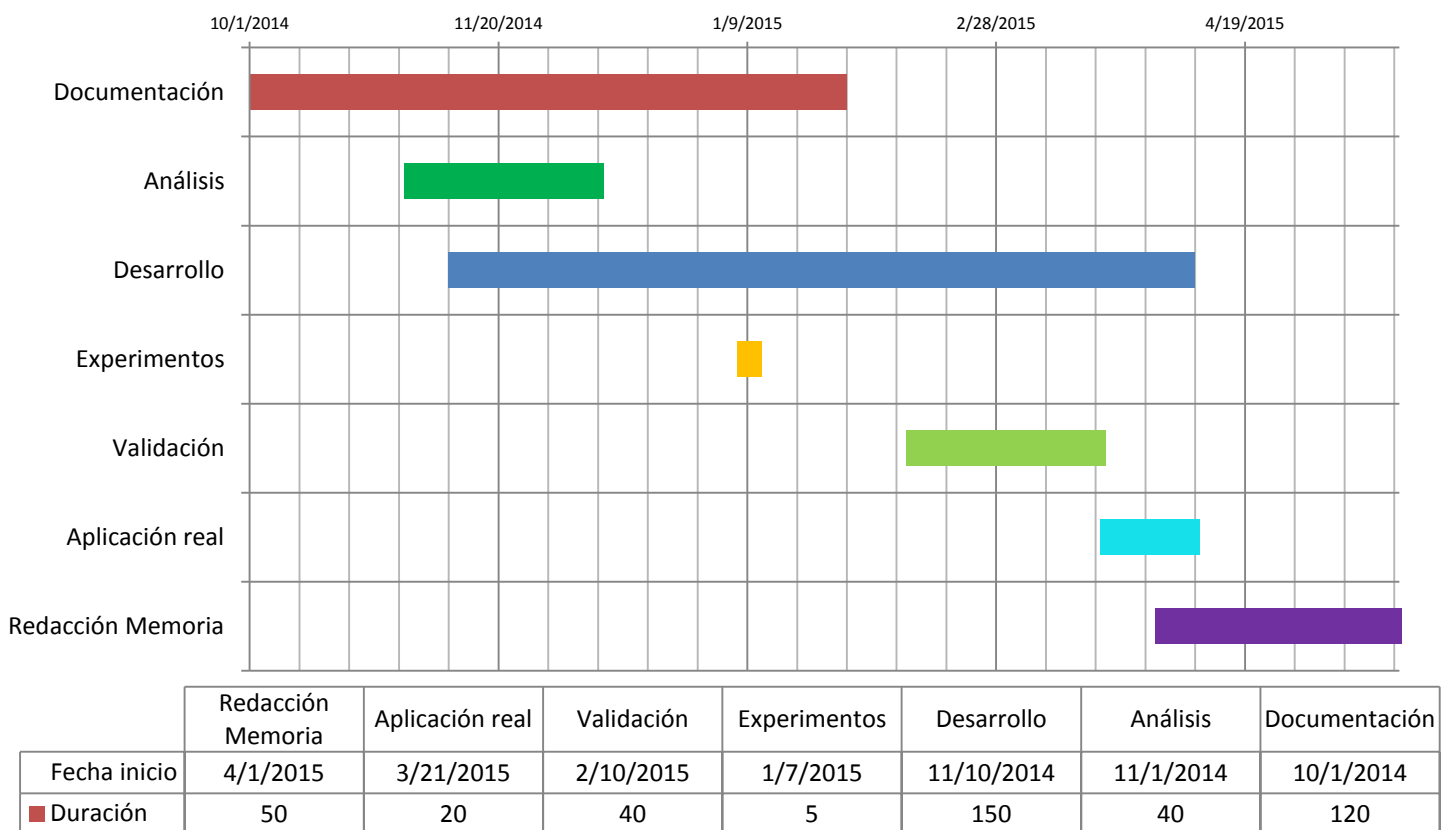


Figura 1.1 Diagrama de Gantt

1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

En éste último punto del primer capítulo se explica cómo estará organizada la memoria. Estará dividida en siete capítulos e incluirá una serie de anexos finales:

Capítulo 1. Introducción.

En este primer capítulo hemos visto una introducción a lo que será este Trabajo de Fin de Grado, sus motivaciones, objetivos y sus fases de realización.

Capítulo 2. Estado del arte.

En el siguiente capítulo se realizará una exposición del Estado del Arte actual, en el que estará la base técnica sobre la que se sustenta dicho escrito. Veremos un repaso de las distintas técnicas relacionadas con el análisis y comparación de señales así como la comparación de los distintos sensores que podrían ser usados para la monitorización de actividades humanas.

Capítulo 3. Análisis del problema.

Tras el estado del arte, podremos analizar el problema a tratar: qué queremos conseguir y cuáles son los requisitos necesarios para resolverlo.

Capítulo 4. Diseño e implementación.

Una vez se ha llegado a la definición de lo que se quiere conseguir. En el cuarto capítulo, se explicará cómo hemos desarrollado el método para conseguirlo. Se seguirá en pasos detallados cómo se ha realizado.

Capítulo 5. Validación.

El quinto capítulo será de validación, en él se pondrá a prueba a la aplicación con diferentes sujetos y se evaluará su funcionamiento.

Capítulo 6. Caso de estudio: sujetos adolescentes.

Tras comprobar que el sistema funciona podremos ver una aplicación real en el capítulo 6. Se procederá a realizar pruebas a un conjunto grande de sujetos para ver cómo se comportan a lo largo de una semana.

Capítulo 7. Conclusiones y trabajo futuro.

Por último, se discutirá sobre cómo ha sido la realización de este TFG, ha dónde se ha llegado y cómo ha influido en el ámbito personal. También se comentarán las posibles líneas de trabajo futuro en éste ámbito.

Anexos

Se añadirán al final de esta memoria varios anexos en los que se mostrarán contenidos adicionales a los capítulos, complementando también la información de algunos de ellos.

2. Estado del arte

2.1. INTRODUCCIÓN

Dados los objetivos y motivos de este TFG resulta de gran interés estudiar los campos que están relacionados con él y así comprender mejor qué se busca y poder enfocar el desarrollo del sistema de manera adecuada. Por tanto, este capítulo se va a realizar un análisis y clasificación de los distintos métodos de detección de movimiento y monitorización que podemos encontrar. Veremos también un estudio de los distintos dispositivos de acelerometría existentes en el mercado y la información que proporcionan. Por último, se abordarán también los diferentes métodos que podrán ser útiles para comparar señales.

2.2. MÉTODOS Y DISPOSITIVOS DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y MONITORIZACIÓN

La detección continua de movimiento del individuo o monitorización del mismo requiere la incorporación de algún dispositivo a la vida diaria del sujeto. Para ello se han desarrollado diversos sistemas basados en sensores. Estos artefactos han de ser portátiles, poco pesados y de un tamaño preferiblemente pequeño, de manera que al llevarlos puestos no interfieran en el desarrollo de las tareas diarias de una persona. De acuerdo con esto, se han desarrollado varios mecanismos que alcanzan a estos fines. Se presentan a continuación, de manera breve, algunos tipos de sensores, también llamados “*Body-Fixed Sensors*” [2]:

- ❖ **Goniómetro.** El sensor opera en el supuesto de que las superficies de fijación se mueven con respecto a la línea media del segmento de la extremidad a los que están unidos y por lo tanto, mide el cambio angular real en la articulación.
- ❖ **Sensor de presión de pie.** Los sensores de presión o interruptores de pie van unidos a la suela y son utilizado para monitorizar parámetros temporales durante la locomoción. Esta técnica basada en materiales resistivos generalmente presenta resultados satisfactorios para la búsqueda de las diferentes fases del movimiento durante la marcha normal (golpe de talón, apoyo, caminar de puntillas, etc.).
- ❖ **Acelerómetro.** Este tipo de dispositivos será tratado exclusivamente en el apartado siguiente.
- ❖ **Giroscopio.** Los giroscopios utilizan un elemento mecánico vibratorio para detectar la velocidad angular. Todos los giroscopios vibratorios están basados en la transferencia de energía entre dos modos de vibración. El uso de giroscopios para la captura de movimiento humano es todavía nuevo y está en desarrollo, aunque los giroscopios pueden considerarse una herramienta prometedora en

este campo. En realidad, el movimiento humano se compone principalmente de rotaciones alrededor de las articulaciones. A diferencia del acelerómetro, no hay influencia de la aceleración de la gravedad en la señal medida. El giroscopio se puede unir a cualquier parte de cualquier organismo segmento siempre que su eje sea paralelo al eje medido.

- ❖ **Sensor cinemático.** Los acelerómetros y giroscopios tienen características complementarias. Un acelerómetro proporciona tanto un derivado de velocidad angular y un ángulo de inclinación durante el reposo, mientras que un giroscopio calcula la derivada de un ángulo. La combinación de un giroscopio y de dos acelerómetros proporcionará un sensor cinemático útil para estimar la cinemática 2D (plano sagital o frontal) de un segmento del cuerpo.

2.3. ACELERÓMETROS: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Dentro de los distintos dispositivos vistos en el apartado anterior, este TFG se centrará en el uso de los acelerómetros, ya que este será el método elegido para recoger los datos de los distintos sujetos.

Un acelerómetro es cualquier dispositivo que mide aceleraciones. De la misma forma, la medida de la vibración resulta muy parecida a la de la aceleración ya que la presencia de movimientos vibratorios supone aceleraciones cambiantes cuyo aspecto es similar al del movimiento inicial. Podemos clasificarlos en 3 tipos [5], [6]:

1. **Acelerómetros mecánicos:** son los acelerómetros más simples. Se construyen uniendo una masa a un dinamómetro cuyo eje está en la misma dirección que la aceleración que se desea medir.
2. **Acelerómetros piezoeléctricos:** estos se basan en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada. Este dispositivo junto con los circuitos eléctricos asociados se puede usar para la medida de velocidad y desplazamiento además de la determinación de formas de onda y frecuencia.
Los acelerómetros piezoeléctricos permiten medir la aceleración en una, dos o tres dimensiones, esto es, en tres direcciones del espacio ortonormales. Esta característica permite medir la inclinación de un cuerpo, puesto que es posible determinar con el acelerómetro la componente de la aceleración provocada por la gravedad que actúa sobre el cuerpo.

Cuando se van a medir aceleraciones constantes no tiene sentido el uso de dispositivos piezoeléctricos puesto que no responden bien ante solicitudes constantes.

3. **Otros acelerómetros:** otros tipos de acelerómetro pueden ser los de *Condensador*, que miden el cambio de capacidad eléctrica de un condensador. O como los de *Efecto Hall*, que utilizan una masa sísmica donde se coloca un imán y un sensor de efecto Hall que detecta cambios en el campo magnético.

Actualmente es posible construir acelerómetros de tres ejes (x, y, z) en un sólo chip de silicio, incluyendo en el mismo la parte electrónica que se encarga de transmitir las señales (por USB o WiFi). Es el caso del que se utilizará para este Trabajo de Fin de Grado, el cual se describe a continuación:

Se ha seleccionado el dispositivo **GT3X** de **Actigraph**, que tiene las siguientes funcionalidades: sensor de aceleración triaxial, sensor de luz, inclinómetro, frecuencia de muestreo programable, resistente al agua, e interfaz USB de alta velocidad. De estos datos, los que serán de interés para abordar el problema estudiado en este TFG serán únicamente los datos de aceleración de los 3 ejes [1]:

- ❖ Datos de Aceleración del eje vertical o longitudinal (*Axis 1*).
- ❖ Datos de Aceleración del eje horizontal o anteroposterior (*Axis 2*).
- ❖ Datos de Aceleración del eje perpendicular o transversal (*Axis 3*).



Figura 2. Sensor empleado: GT3X ActiGraph y orientación de sus ejes [1].

Para una mejor comprensión se muestra a continuación la distribución de los tres ejes en el cuerpo humano:

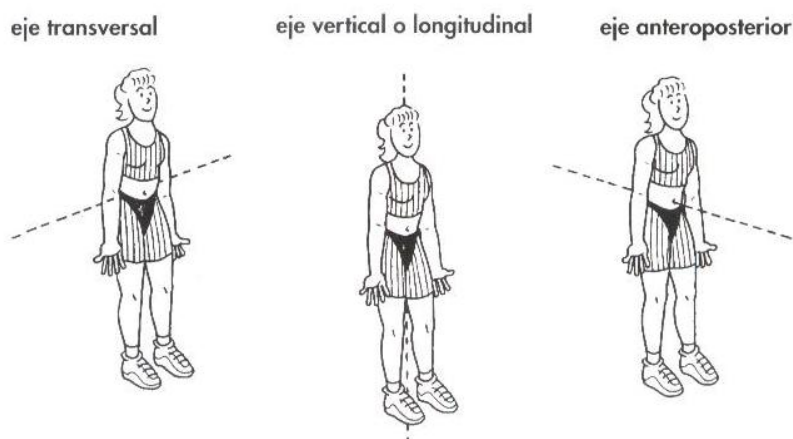


Figura 3. Distribución de los ejes en el cuerpo humano [18]

2.4. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES DE LOS ACELERÓMETROS Y COMPARACIÓN ENTRE ELLAS

Es necesario establecer un método para poder modelar las señales procedentes de los sensores y así compararlas entre sí. En éste apartado se verán distintos procedimientos para realizar el análisis necesario para comparar señales y extraer sus características principales (“*Feature extraction*”) [8]. El primer método que se evaluará será la extracción de características mediante la Transformada Wavelet.

2.4.1 Transformada Wavelet

Con la transformada Wavelet la señal original se descompone en una serie de coeficientes que llevan tanto información temporal como información espectral de la señal en cuestión. A partir de estos coeficientes, es posible identificar instancias temporales localizadas dónde hay un cambio en las características de frecuencia de la señal original [7].

$$Xwt(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) * \varphi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt$$

Dónde:

- $Xwt(\tau, s)$: Señales producidas al aplicar la wavelet.
- s : factor de escala.
- τ : factor de traslación.
- $x(t)$: señal de entrada.
- φ : Wavelet madre.

Este concepto ha sido aplicado con éxito a señales de acelerometría para identificar puntos en la señal en los cuales el sujeto cambia de una actividad a otra. [8]. Veamos ahora un caso de estudio del porcentaje de precisión al tratar de comparar diferentes actividades con señales de acelerómetros.

En la siguiente tabla (*Tabla 1*) podemos apreciar la precisión (%) usando Diferentes Wavelets (Daubechies [DB2, DB3, DB4, DB5]) para el análisis de tres actividades diferentes y para distintas ubicaciones de los acelerómetros (cintura, muslo, tobillo y sus combinaciones).

Tabla 1. Precisión (%) para el problema de clasificación de tres actividades (Caminar, Ascenso y Descenso de escaleras) usando Wavelets [8]

	Daubechies 3 (6 features)	Daubechies 5 (2 features)	Daubechies 2 (2 features)	Daubechies 5 (33 features)	Daubechies 4 (3 features)	Suma de los cuadrados	Suma absoluta
Cintura	60	56	67	68	43	69	72
Muslo	62	60	50	65	56	71	74
Tobillo	69	66	54	69	42	74	81
Cintura y muslo	71	67	72	83	59	82	88
Cintura y tobillo	74	74	72	84	55	79	89
Muslo y tobillo	85	82	61	92	62	91	92
Todos	85	85	73	95	65	93	95

Una vez estudiada la precisión basando el sistema en Wavelets, a continuación se desarrollan otras formas de extraer características de la señal basándose en aspectos temporales y frecuenciales.

2.4.2 Características en el dominio del tiempo y la frecuencia

En el campo del tratamiento de señales se trabaja habitualmente con propiedades de la señal que se basan tanto en el dominio temporal como en el dominio frecuencial. Algunas de las más útiles que se pueden extraer en estos dominios son:

1. Media, desviación estándar y otros parámetros estadísticos.

- **Media:** también conocida como “promedio” o “valor esperado”. La media de conjunto de datos sólo indica el centro de la distribución de los datos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$$

\bar{x} : Media muestral

n : Tamaño de la muestra

x_i : I-ésimo valor del conjunto de datos.

- **Varianza:** es la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores y su media, dividida entre el número de elementos para eliminar la dependencia del tamaño de la muestra.

$$s^2 = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

- **Desviación estándar (SD):** a la raíz cuadrada positiva de la varianza se denomina desviación estándar o desviación típica.
- **Mediana:** en el ámbito de la estadística, la mediana representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.
- **Moda:** la moda es el valor que más se repite del conjunto de datos. Posee dos ventajas: no requiere de cálculos complejos para su determinación, solo de conteo, y se puede determinar tanto para datos cualitativos como para datos cuantitativos.

2. *Frecuencia fundamental.*

Suele estar referida simplemente como la frecuencia más baja de repetición de una onda periódica. Esta frecuencia marcará el periodo de la señal. Se suele obtener a través de la autocorrelación de la señal.

3. *Energía espectral.*

La Densidad Espectral de Potencia (DEP) de una señal puede proporcionar información importante acerca de cómo se distribuye la energía en el espectro de la señal

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |X(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df ,$$

Dónde $|X(f)|^2$ es la Densidad espectral de energía.

4. *Valor medio de alterna y de continua (mean AC and mean DC).*

La componente continua (DC) de una señal es el primer coeficiente de su DFT, es decir, $X_w[0]$.

5. *Magnitud de las primeras componentes de la FFT.*

La transformada rápida de Fourier (FFT) evalúa la transformada DFT de una manera más rápida. Los coeficientes de la DFT se pueden obtener mediante:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn} \quad , \quad 0 \leq k \leq N - 1 \quad \text{siendo} \quad W_N = e^{-j2\pi/N}$$

Veamos de nuevo un caso de estudio de la precisión al tratar de distinguir diferentes actividades de señales de acelerometría. Podemos ver la precisión (%) usando varias características temporales y frecuenciales para tres actividades diferentes y para distintas ubicaciones de los acelerómetros en el cuerpo.

Tabla 2. Precisión (%) para el problema de clasificación de tres actividades (Caminar, Ascenso y Descenso de escaleras) con las características de Tiempo y Frecuencia [8]

	Media y SD	Múltiples estadísticas	AC y DC medios	Frecuencia Fundament	Energía	Magnitud FFT
Cintura	69	70	66	77	67	77
Muslo	76	80	90	56	63	91
Tobillo	89	85	93	74	68	97
Cintura y muslo	88	85	93	57	85	90
Cintura y tobillo	95	92	94	83	83	98
Muslo y tobillo	95	93	98	73	94	98
Todos	95	93	97	80	95	98

Cómo podemos observar, los resultados que arroja la extracción de este tipo de características son mejores que los obtenidos usando la Transformada Wavelet. Dentro de este tipo de características, los mejores resultados se obtienen usando la magnitud de los primeros coeficientes de la FFT (como se puede observar rodeado en rojo en la Tabla 2).

2.4.3 Relación entre señales y características

Por último enumeraremos algunos métodos que nos facilitan el cálculo de una medida de comparación entre señales y de la distancia entre las características extraídas en ellas, viendo así la posible relación existente entre patrones:

- ❖ Correlación cruzada.
- ❖ Covarianza.
- ❖ Distancia Euclídea.

2.5. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha repasado el estado del arte actual, viendo en él los diferentes métodos para monitorizar la actividad de las personas y los distintos dispositivos existentes. A partir de ahora el estudio se centrará en el método basado en el uso de acelerómetros.

También se ha proporcionado una visión somera sobre los distintos acelerómetros que pueden ser usados para el fin anterior. El acelerómetro que se ha utilizado en este estudio es el acelerómetro triaxial GT3X y su colocación ha sido en la cintura.

Por último, se ha visto tras analizar varios estudios [8], que a la hora de clasificar diferentes actividades dinámicas ejecutadas por diferentes sujetos, aunque la transformada *Wavelet* puede ser usada para caracterizar señales no estacionarias como las de los acelerómetros, no llegan a la misma precisión que la extracción de *características basadas en el dominio de la frecuencia*. Por tanto, este último será el método empleado en este TFG.

3. Análisis del problema

3.1. INTRODUCCIÓN

Después de tratar los primeros capítulos de esta memoria en los que se ha podido introducir el trabajo realizado en este TFG y se ha podido analizar el estado del arte actual, se procede a examinar que elementos tangibles e intangibles son indispensables para lograr los objetivos de este trabajo, mencionados en el *Capítulo 1, Apartado 2*.

En éste tercer capítulo se planteará qué tipo de aplicación necesitamos para llevar a cabo éste TFG y para ello, se enumerarán los requisitos cuyo cumplimiento es fundamental. En primer lugar se indica que elementos son necesarios antes de comenzar a desarrollar el código que implementará el algoritmo. A continuación se detallará también lo que la aplicación deberá cumplir de manera funcional y no funcional.

3.2. ELEMENTOS NECESARIOS

Antes de comenzar, es necesario disponer de ciertos materiales de trabajo que serán fundamentales en las diferentes fases del proyecto.

Lo primero que se necesita es **disponer de los dispositivos** de acelerometría “GT3X” de Actigraph ya mencionados.

Para comenzar a desarrollar el sistema que será capaz de distinguir entre distintas actividades, se ha de **definir qué actividades básicas se quieren poder detectar**. Se han seleccionado cinco actividades básicas, ordenadas según nivel de actividad: ‘Sentado o Inactivo’, ‘Caminar’, ‘Subir o bajar escaleras’, ‘Trotar’ y ‘Correr’.

Una vez definidas estas actividades, es necesario recoger muestras de las mismas a través de los acelerómetros y así **crear una base de datos accesible que se usará como sistema de entrenamiento**, tal y como se verá en el capítulo siguiente (*Capítulo 4, Apartado 4*).

Para ello se reúne un conjunto de diez sujetos que, siguiendo unos patrones definidos, realizarán las cinco actividades propuestas. Esto se lleva a cabo de manera continuada, cada actividad tendrá una duración de dos minutos y entre ellas habrá intervalos de descanso de dos minutos para que así las actividades sean claramente diferenciables a la hora de aislarlas cuando sean extraídas.

Se adjunta la tabla de datos de los sujetos empleados para crear este Sistema de entrenamiento:

Tabla 3. Características de los sujetos del SE

SUJETO	ACELEROMETRO	SEXO	EDAD	HORA DE COMIENZO	HORA FINALIZACIÓN
1	93	MUJER	32	15:19:00	+15 minutos
2	101	MUJER	25	11:44:14	+15 minutos
3	102	MUJER	22	11:44:00	+15 minutos
4	111	HOMBRE	22	15:16:06	+15 minutos
5	117	MUJER	23	13:18:00	+15 minutos
6	121	HOMBRE	23	15:16:06	+15 minutos
7	129	HOMBRE	20	13:18:00	+15 minutos
8	136	HOMBRE	22	12:05:38	+15 minutos
9	137	MUJER	24	11:21:38	+15 minutos
10	148	HOMBRE	21	13:18:00	+15 minutos

La bondad o la precisión del sistema de detección de actividades dependerán en gran medida del número de sujetos utilizados (y de la variación de sus rasgos) para crear el sistema de entrenamiento. Al disponer de un reducido número de sujetos y teniendo poca variación de características de los mismos, se estima que la precisión del sistema empeorará al analizar sujetos que se alejen de estas características. Para desarrollar un sistema más preciso en un futuro, bastaría con recoger una gran Base de Datos como Sistema de Entrenamiento que contenga datos de cientos e incluso miles de sujetos con distintas características fisiológicas: Edad, Sexo, Peso-Altura (IMC). De esta manera, tendríamos una población segmentada que proporcionaría un rango suficiente para comparar con más precisión. No obstante, la construcción de esta gran Base de Datos queda fuera del alcance de este TFG.

También será necesario monitorizar a otros sujetos distintos a los anteriores durante periodos de tiempo más largos y así disponer de datos que sean útiles cuando llegue la hora de probar el sistema: todo esto se abordará en el *Capítulo 5, Validación*.

Para terminar, el último elemento necesario será una base de datos más o menos grande con datos de sujetos para dar un uso real a la aplicación y así estudiar el comportamiento de un conjunto amplio de personas. Este caso será abordado en el *Capítulo 6*.

3.3. ANÁLISIS DE REQUISITOS

A continuación se mostrará una lista de los requisitos que nos imponemos para realizar la aplicación. Se hará una división entre requisitos funcionales y no funcionales, para que se vea de manera clara cuales son los aspectos que se abarcan en nuestra solución.

3.3.1 Requisitos funcionales

En esta sección se explicarán las metas funcionales que buscaremos en nuestra aplicación. Algunos de ellos serán bloques o módulos fundamentales del sistema final. El sistema ha de ser capaz de:

- **Tratar y procesar archivos.** Al desarrollarse la aplicación en lenguaje Matlab, será necesario poder usar los archivos que proporcionan los acelerómetros (en formato “.Csv” de MicrosoftExcel) en dicho lenguaje. Por ello será importante el procesado de archivos, ya que se trabajará con vectores, matrices y otros elementos matemáticos, esto requerirá un tratamiento cuidadoso de los datos al extraerlos del archivo original.
- **Filtrar archivos.** Esta primera funcionalidad elemental del sistema se puede definir como eliminar los datos no válidos para el análisis. En el capítulo siguiente se definirá el concepto de “no válido” y los criterios de filtrado usados.
- **Extraer características de las señales y compararlas.** A través de algunos de los métodos planteados en el *Estado del Arte* de esta memoria se encontrará un procedimiento efectivo que cumpla con éxito este requisito.
- **Determinar cada actividad realizada.** Una vez obtenidas las propiedades de la señal, el sistema ha de ser capaz de devolver un producto visible e interpretable, es decir, ha de poder mostrar cada resultado de actividad detectada independientemente de los demás, pudiendo ver así los detalles para cada resultado: fecha, hora y actividad detectada en ese tramo temporal.
- **Obtener datos representativos.** La gran cantidad de datos al analizar una base con los datos de la monitorización de muchos sujetos hace que sea una tarea difícil ver de manera independiente cada actividad localizada por la aplicación. Se requerirá por tanto, que la aplicación exporte algunos parámetros de carácter informativo acerca del análisis como por ejemplo, los porcentajes de cada actividad de un sujeto a lo largo de un periodo de tiempo, histogramas de actividades, porcentajes conjuntos, etc.

El cómo se han conseguido todas estas funcionalidades se verá en el capítulo siguiente, que tratará con detalle la implementación de cada una de ellas.

3.3.2 Requisitos no funcionales

Se trata de otros aspectos que nuestra aplicación debe cumplir, pero que no se contemplan como objetivos funcionales. Deben cumplirse para conseguir un funcionamiento óptimo dentro de los límites de la aplicación. En nuestro caso buscaremos:

- **Orden:** es primordial el tener un código bien estructurado, y así poder hacer las modificaciones pertinentes a medida que avanza el proyecto y una sencilla obtención de resultados, para que sean fáciles de interpretar.
- **Robustez:** se trata de conseguir que el programa sea sumamente eficiente y más que apto para desempeñar las tareas a las que está destinado.
- **Validez de resultados:** para ello se ha dedicado un capítulo entero de esta memoria (*Capítulo 5, Validación*), para poder comprobar cómo de fiable es el sistema.
- **Facilidad de uso:** a pesar de estar desarrollada la aplicación en lenguaje MATLAB, se incluirán algunas funcionalidades de interfaz muy básico con el objetivo de poder solicitar con mayor comodidad lo que se quiere a medida que avanza el proyecto.

3.4. CONCLUSIONES:

En este tercer capítulo se han definido los elementos necesarios para poder llevar a cabo el TFG, se ha visto que es básico disponer de cierto material (acelerómetros y sus datos) y a continuación se ha separado en partes los requisitos que se deben cumplir para así poder atajar los problemas de manera más comprensible y tener una visión más específica de cada funcionalidad.

En el próximo capítulo podremos notar cómo se desarrolla la aplicación y cómo va tomando forma. Podremos ir viendo algunos resultados obtenidos y comprender también que las funcionalidades descritas en este capítulo se van adquiriendo.

4. Diseño e implementación

4.1. INTRODUCCIÓN

Este cuarto capítulo del TFG será el más extenso y tendrá el rol más importante de todo el proyecto ya que explicará paso a paso cómo se ha desarrollado el sistema. En capítulos anteriores se vieron los requisitos necesarios que se han de cumplir. Ahora, para entender las distintas fases del proceso, éste se dividirá en bloques.

4.2. DIAGRAMAS DEL DISEÑO

Para comenzar se muestra un diagrama general con los bloques a grandes rasgos del sistema. Más tarde irá aumentando el grado de detalle del diagrama:



Figura 4. Diagrama básico de desarrollo

Gracias al diagrama de la Figura 4 podemos ver cómo se interconectan los distintos elementos mencionados. Se pueden distinguir en **azul** los archivos procedentes de los acelerómetros, que han de ser procesados previamente antes de acceder a los siguientes bloques. En **amarillo**, dos bloques que cumplirán un papel muy importante: la creación de un sistema de entrenamiento, que será la base de las comparaciones para el reconocimiento y en segundo lugar, el bloque que realiza el procesamiento previo y filtrado de los archivos a analizar. Por último, las salidas de los dos bloques anteriores serán la entrada de un último bloque, en **rojo**, denotado como “*Reconocimiento de Actividades*” el cual desglosaremos en varios a continuación.

Tras comprender este esquema básico de funcionamiento, se va a extender el diseño a un diagrama más complejo (Figura 5) en el que aparecen la mayoría de fases para llegar al reconocimiento.

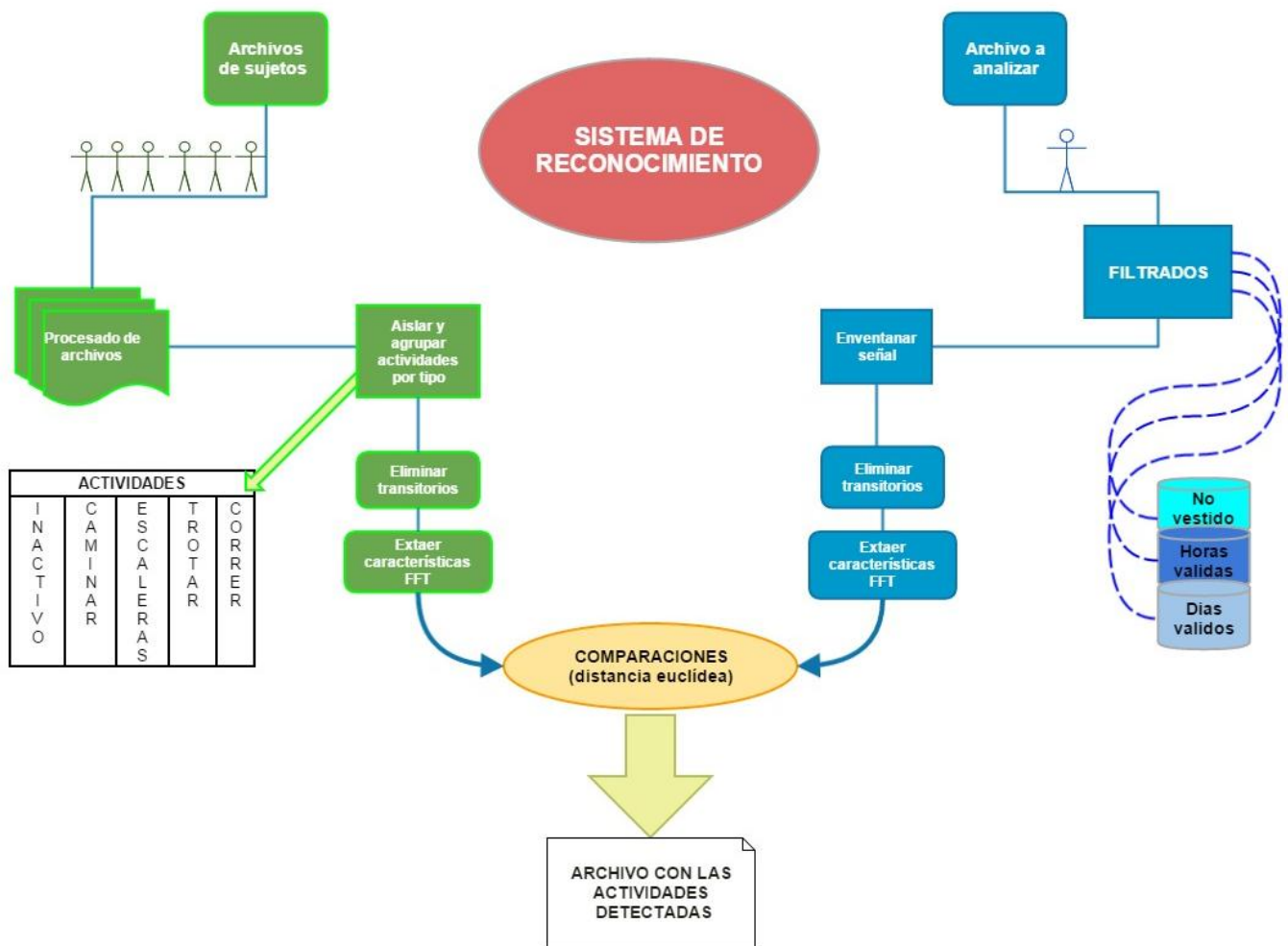


Figura 5. Diagrama de desarrollo ampliado

Podemos observar, ahora en **verde**, los elementos relativos a la creación del sistema de entrenamiento ya mencionado, y en **azul**, los bloques relativos al camino que recorrerá una señal a analizar hasta que llega a ser comparada con el sistema de entrenamiento. En este capítulo primero se abordarán todos los bloques respectivos al procesado de ficheros y a la creación del sistema de entrenamiento. A continuación todas las fases por las que ha de pasar un archivo que se quiere analizar hasta llegar a las comparaciones, para terminar así llegando a la obtención de un archivo con las actividades detectadas y algunas estadísticas de los resultados.

4.3. PROCESADO DE ARCHIVOS

Como se comentó en el capítulo anterior, uno de los requisitos fundamentales es el correcto procesamiento de los archivos como paso previo a desarrollar el programa. Antes de nada es necesario observar los ficheros para ver los datos que contienen y así determinar cuáles hay que extraer. Las señales proporcionadas ya han sido muestreadas, teniendo una muestra temporal cada dos segundos, por tanto no es necesaria la aplicación de un filtro antialiasing previo al muestreo, pues los datos proporcionados ya han sido muestreados.

Los datos que incluyen estos ficheros son: fecha, hora, valor en “*Counts*” de los tres ejes del acelerómetro, sensor de luz, inclinómetro y vector magnitud de los 3 ejes. Se ha determinado que los datos relevantes únicamente son los datos temporales y los valores de los tres ejes. Veamos un ejemplo de los datos que sería necesario extraer:

Tabla 4. Campos a extraer de los ficheros

Date	Time	Axis1	Axis2	Axis3
10/23/2014	10:05:18	0	0	0
10/23/2014	10:05:20	0	0	0
10/23/2014	10:05:22	133	117	78
10/23/2014	10:05:24	70	166	32
10/23/2014	10:05:26	64	84	36
10/23/2014	10:05:28	98	45	22
10/23/2014	10:05:30	117	96	24
10/23/2014	10:05:32	37	85	13
10/23/2014	10:05:34	17	2	0
10/23/2014	10:05:36	3	0	2
10/23/2014	10:05:38	67	55	10
10/23/2014	10:05:18	0	0	0
10/23/2014	10:05:20	0	0	0

Se van a realizar una serie de funciones que se ocuparán de ello.

La primera función, llamada “*ProcesadoArchivos*” será la que se ocupe de procesar los ficheros: se le pasará un directorio, en él estarán los archivos en formato “.Csv”. Esta función se ocupará de crear una lista de todos los archivos en este formato y guardarlos sus datos en un *cell* para que sean accesibles. Almacenará únicamente los campos mencionados anteriormente (fechas, horas y datos axiales).

El guardado de los archivos en un *cell* se hará únicamente para los archivos que formarán posteriormente el sistema de entrenamiento (ya que son pocos archivos) y así poder pasárselos a otras funciones que desarrollarán este sistema. Cuando se proceda al análisis de una gran base de datos de archivos, en su procesado no se guardarán todos los datos de todos los archivos en un *cell*, sino que el procesado se hará fichero a fichero, liberando memoria tras el procesado de cada uno de ellos. En caso contrario trabajaríamos con millones de datos almacenados, teniendo una gran carga computacional al acceder a ellos.

4.4. SISTEMA DE ENTRENAMIENTO (SE)

En este apartado comenzaremos definiendo qué es un sistema de entrenamiento para a continuación, explicar las funciones que lo implementan y ver los resultados de su creación.

Llamamos sistema de entrenamiento a un conjunto de datos ordenados y diferenciados por clases que servirá de base y referencia para catalogar el resto de datos de entrada al sistema, es decir, los datos que se quieren clasificar.

En el entorno de este TFG, para poder crear un sistema de entrenamiento será necesario recopilar información de los cinco patrones de actividad que se quieren clasificar. Se recuerda que estos cinco patrones son, ordenados por nivel de actividad: ‘Sentado/Inactivo’, ‘Caminar’, ‘Subir o bajar escaleras’, ‘Trotar’ y ‘Correr’. Para ello, como se introdujo en el capítulo anterior (*Apartado 3.2*), se reúne un conjunto de diez individuos (*Tabla 3*) que realizarán las cinco actividades de manera continuada, cada actividad tendrá una duración de dos minutos y entre ellas, se introducen intervalos de descanso de dos minutos para que así las actividades sean claramente diferenciables.

Tras realizar el experimento con estos diez sujetos y volcar los datos del mismo en Matlab con la función “*ProcesadoArchivos*”, el siguiente paso es separar las actividades y almacenarlas por clases. Se han desarrollado dos funciones para la creación del SE que desempeñan este cometido:

- Función “*SeparaActividades*”: esta función usará las horas de comienzo para separar las cinco actividades de un archivo. Como el objetivo es crear el sistema de entrenamiento, solo interesan los datos relativos a los tres ejes, ahora los datos temporales como fechas y horas se descartan.
- Función “*ActividadesAgrupadas*”: esta función recibe la salida de “*ProcesadoArchivos*” con todos los datos de los ficheros. Sabiendo cómo se han realizado las actividades (la duración y el orden) basta con pasarle a esta función un “.Csv” con las horas de comienzo de cada individuo. Para cada uno de ellos se llamará a la función “*SeparaActividades*” y finalmente se devolverá un *cell* de tamaño 10 para cada actividad (hay 10 sujetos), quedando así 5 *cells*.

Finalmente habremos conseguido una BBDD accesible para comparar y clasificar datos de actividad física. Será nuestro Sistema de Entrenamiento.

4.5. VISUALIZAR Y DETECTAR NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA

Una vez separadas y agrupadas las distintas actividades por patrones, es importante visualizarlas y comprender en qué rangos o niveles se encuentra cada una de ellas.

Se definió como objetivo secundario del TFG ser capaz de diferenciar en diferentes

niveles de actividad física (AF). Tras haber tratado y procesado los archivos y antes de comenzar a implementar el sistema de reconocimiento de patrones se procede a visualizar las señales de los 10 sujetos del sistema de entrenamiento y establecer una diferenciación entre 4 niveles de AF: **Sedentaria, Ligera, Moderada y Vigorosa**. Esto será de gran ayuda a la hora de comprender en que rangos está contenida cada actividad y así abordar mejor la cuestión a tratar.

Se definen por tanto los puntos de corte de intensidad de AF que segmentan en los 4 niveles mencionados para el eje vertical del acelerómetro:

4.5.1 Puntos de Corte para determinar Niveles de Intensidad

- Sedentarismo (valor por defecto ≤ 99 counts por minuto).
- Actividad Física Ligera (100-1999 counts por minuto).
- Actividad Física Moderada (2000-3999 counts por minuto).
- Actividad Física Vigorosa (Valor por defecto ≥ 4000 counts por minuto).

Se procede a mostrar varias gráficas en los diferentes ejes del acelerómetro (Eje 1, Eje 2, Eje 3) de las actividades del Sistema de Entrenamiento y separando los niveles de AF en distintos colores.

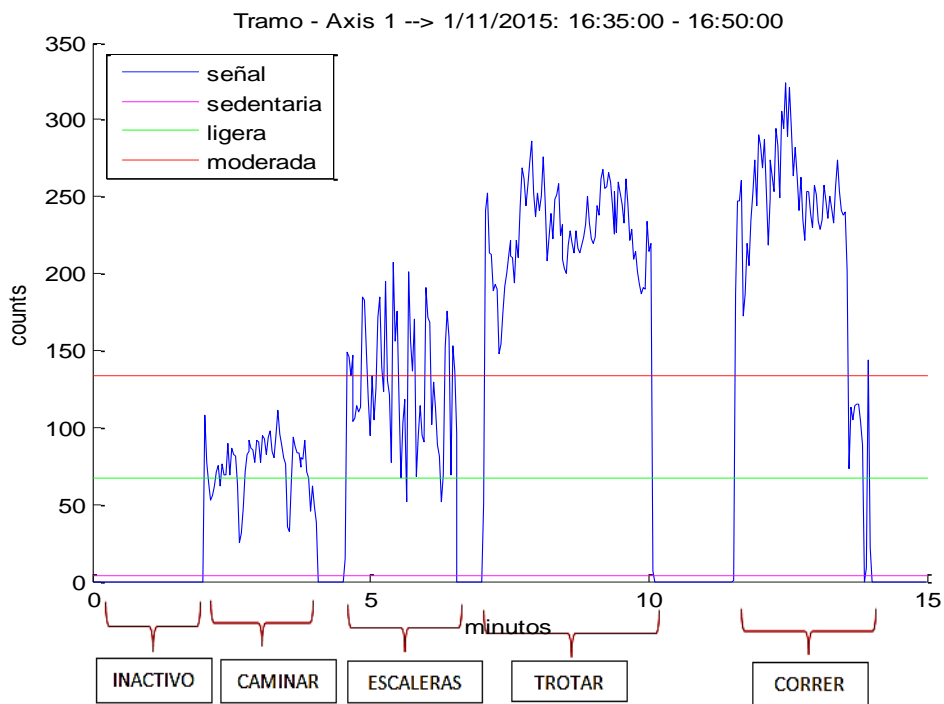


Figura 6. Niveles y Actividades para el Eje 1

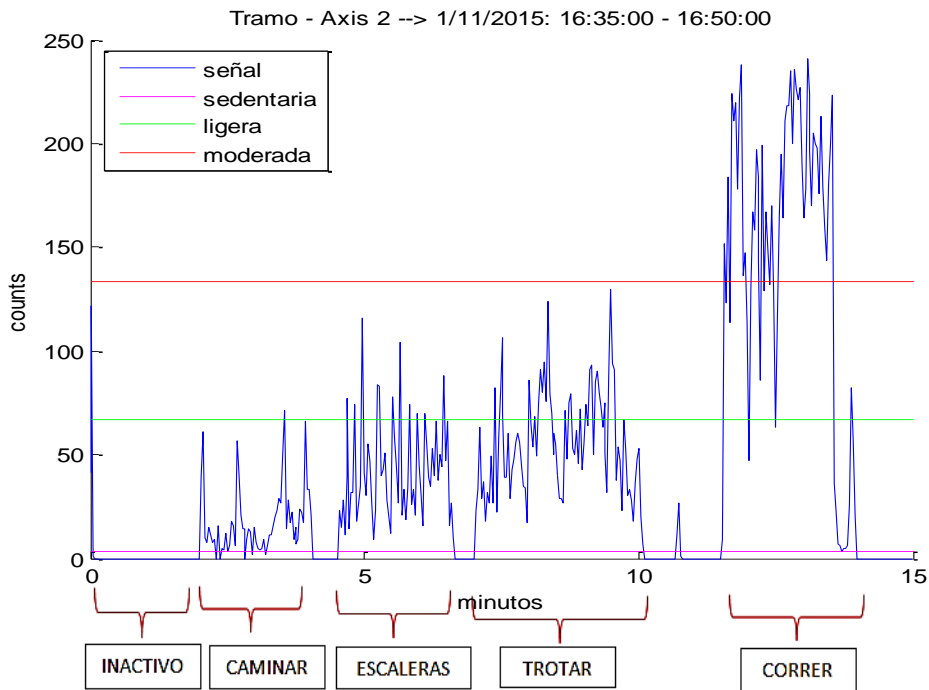


Figura 7. Niveles y Actividades para el Eje 2

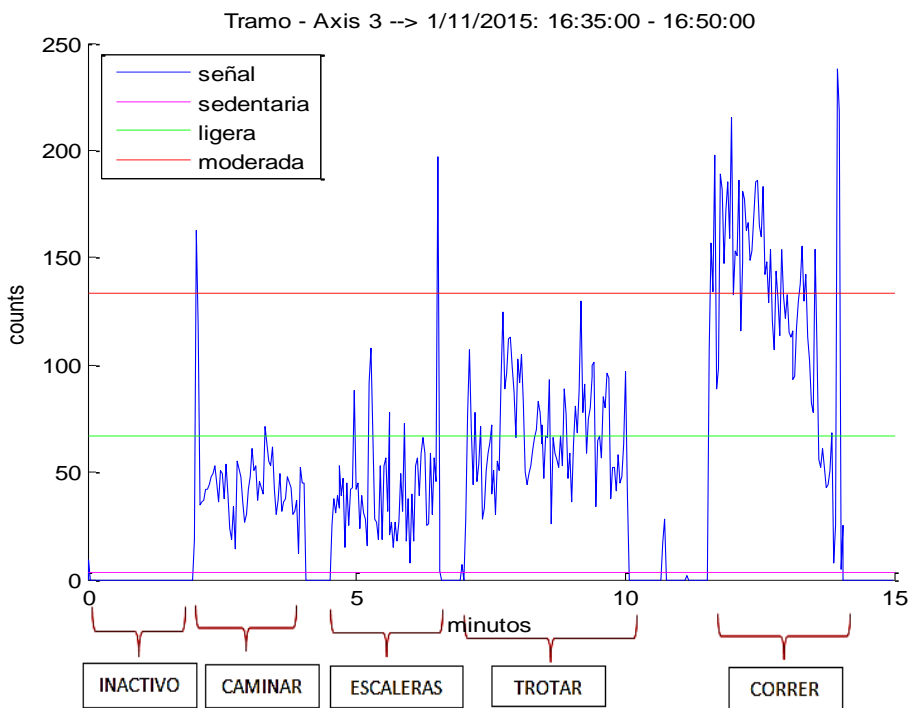


Figura 8. Niveles y Actividades para el Eje 3

Podemos apreciar las distintas actividades en azul y sus niveles: por debajo de la línea rosa se considerará actividad *sedentaria*, por debajo de la línea verde: actividad *ligera*, por debajo de la línea roja: actividad *moderada* y por encima de ésta: actividad *vigorosa*. Vemos que estos criterios de segmentación se cumplen solo para el eje vertical (Eje 1). Por ejemplo, este criterio está considerando en el eje 2 que trotar y escaleras son actividades ligeras, lo que no es correcto.

Las representaciones son muy útiles a la hora de ubicar cada patrón en distintos los rangos de AF y también para visualizar la forma de onda de alguna actividad y compararlas con las demás. Por ejemplo, se puede apreciar que en la actividad Escaleras (ver representación Eje 1, *Figura 6*) existe una gran variación temporal, habiendo una gran distancia entre sus máximos y sus mínimos.

También es apreciable (ocurre en la mayoría de sujetos) que no existe apenas diferencia de niveles entre las actividades trotar y correr en el eje vertical. Se verá más tarde que usando este eje para la comparación, será imposible distinguirlos entre sí. Por tanto habrá que desarrollar un método que involucre a otro eje (u otros) y así poder distinguir estos dos patrones. Podemos apreciar en el eje 2 que aquí sí existe una diferencia bastante considerable en cuanto a nivel de AF entre trotar y correr, ocurre lo mismo en el Eje 3.

Ya disponiendo del sistema de entrenamiento, en los siguientes apartados se abordará el tratamiento de la señal a analizar, comenzando por los filtrados y siguiendo por la extracción de características.

4.6. FILTRADO DE LA SEÑAL A COMPARAR

Cuando se quiere analizar un archivo con una gran cantidad de datos, se ha de tener en cuenta de que se trata de un sensor que se lleva puesto (“*wearable sensor*”) y que muchas veces el propio sujeto se lo quitará para descansar, dormir, u otras actividades. Por tanto, gran parte de los datos existentes en el archivo no serán de utilidad a la hora de realizar el análisis (serán datos a ‘0’). De la necesidad de eliminar ciertos datos, surgen los filtrados.

Podemos distinguir tres tipos de filtrados a implementar, ordenados de granularidad más fina a más gruesa. También será el orden en el que se apliquen los filtros, según se indica en [10]:

1. **Filtrado de tiempo no vestido:** el primer tipo de filtrado que se aplicará a los datos tratará de borrar los datos capturados mientras el acelerómetro no se llevaba puesto. Es difícil definir cuándo se ha llevado realmente puesto y cuando no. Si existe un gran número de ceros consecutivos adquiridos en el eje vertical del sensor, esto nos puede dar una idea de que el movimiento del sujeto en ese tramo temporal ha sido nulo, probablemente habiéndose quitado el sensor. Al llevarlo puesto, a pesar de que existe la posibilidad de haber un gran número de ceros consecutivos, siempre existe algún espurio capturado entre ellos.
2. **Obtención de horas válidas:** el objetivo de este apartado es, partiendo de la frecuencia de muestreo del sensor y el número de datos que han quedado tras el filtrado anterior, obtener el número de horas válidas en un día. Estableciendo un

criterio particular de número de horas mínimas por día, será posible segmentar entre días válidos y no válidos.

3. **Filtrado de días no válidos:** habiendo seguido el orden de las fases mencionadas solo queda, basándose en la fase anterior, decidir si los días obtenidos (válidos) son suficientes para realizar un buen estudio del sujeto en cuestión. De nuevo se segmentará entre archivo válido o no válido.

A la hora de ejecutar estos filtrados, es necesario que se establezcan unos parámetros que sean ajustables por el usuario y que funcionen como argumentos de entrada a la función que realiza todos los filtrados. Serán tres los parámetros definibles, por defecto funcionarán con los siguientes valores [10]:

1. **Tiempo no vestido:** se ha acordado que tras *60 minutos* consecutivos de inactividad, es decir, 60 minutos de ceros en los valores del eje vertical (Eje 1) se eliminen todos los ceros consecutivos. Si apareciese algún valor espurio entre esos ceros, los datos no serían eliminados ya que querría decir que el acelerómetro está puesto y se ha realizado algún movimiento.
2. **Horas válidas:** tras eliminar los datos capturados mientras no se llevaba puesto el acelerómetro, se procede a contar cuántas horas han quedado “válidas” en ese día. Se ha definido que a partir de *10 horas* útiles de datos en un solo día, el día será válido.
3. **Días válidos:** por último solo queda contar cuantos días son válidos de todos los datos iniciales. Suponiendo un análisis semanal (7 días llevando el sensor), el parámetro días válidos se fijará en *3 días*. Si hubiera menos días válidos el archivo no será examinado y se descartará.

Los filtrados se suelen aplicar para realizar estudios de una Base de Datos en la que los sujetos han llevado el sensor puesto en torno a una semana. Así, los filtrados no se aplicarán en el caso de estudiar un solo día de actividad o actividades muy concretas (en periodos temporales cortos). Por ejemplo: en el caso de querer examinar uno de los archivos de los sujetos de entrenamiento, que realizan solamente dos minutos de cada actividad, no tendría sentido aplicar criterios de filtrados de horas y días.

Se han implementado una serie de funciones en Matlab que llevan a cabo todas las funcionalidades mencionadas en este apartado y además incluyen otras nuevas:

- Separar los datos por fechas y exportar así cada uno de los días filtrados válidos en un elemento de un *Cell*, de manera que los datos axiales de los diferentes días sean accesibles por separado.
- Además de extraer los datos correspondientes a los ejes, el sistema seleccionará

sus fechas y horas asociadas y las adjuntará a un *Cell* de fechas y a otro de horas, separándolos por días igual que en el caso anterior. De esta manera también tendremos más accesibles los datos temporales.

Las funciones que realizan esto son: “*Filtrados3axis.m*”, “*FiltradoNoVestido3axis.m*” y “*CuentaCeros.m*”. Su código y su descripción, así como el resto de código *Matlab* del proyecto estarán disponibles bajo demanda.

4.7. ENVENTANADO Y EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL A COMPARAR

Tras los filtrados, ahora toca preparar los datos para las comparaciones con el sistema de entrenamiento. Son varios los pasos siguientes a realizar. Como se vio en el diagrama de la introducción (*Figura 5*), habrá que enventanar la señal, eliminar sus transitorios y por último, extraer sus características.

1. **Enventanado de la señal:** al disponer normalmente de una señal temporal de varias horas, resulta imposible extraer una sola actividad de un periodo de tiempo tan largo. Lo que busca la aplicación es ser capaz de extraer un resultado de patrón de actividad cada pocos minutos, por tanto será necesario “trocear” la señal que queremos analizar y así poder ver las características y los resultados a corto plazo, analizando individualmente cada tramo. Este método al que se ha recurrido se denomina enventanado de la señal, que consiste en la aplicación (multiplicación) sobre la señal de acelerometría completa de una función limitada en el tiempo (ventana), lo que produce una nueva señal, cuyo valor fuera del intervalo definido por la ventana es nulo. Lo que es equivalente a la convolución del espectro deseado de la señal con la transformada de Fourier de la ventana correspondiente [13].

Podemos expresar esto como: $\mathbf{x}(n) = \mathbf{s}(n) \times \mathbf{w}(m - n)$.

Siendo $s(n)$ la señal original (de larga duración), $w(n)$ la ventana temporal aplicada y $x(n)$ la trama de señal enventanada, que valdrá cero fuera del intervalo $n \in [m - N + 1, m]$, siendo N la duración en muestras de la ventana aplicada.

Disponiendo de los datos del sistema de entrenamiento en los que las distintas AF tienen una duración de dos minutos (60 muestras), se ha decidido que la duración de las ventanas sea la misma. $N=60$. No son demasiado cortas, ya que tendríamos muy pocas muestras, y no son tampoco muy largas para así poder detectar actividades de corta duración. Por tanto, se recorrerá la señal a analizar de forma progresiva seleccionando para el estudio tramos de 60 muestras consecutivas.

2. **Eliminación de transitorios / suavizado:** al eventanar la señal se ha de notar que suele presentar picos espurios o transitorios, especialmente en los extremos de la ventana, pudiendo haber seleccionado el final de una actividad con el comienzo de otra, lo que podría generar confusión en el análisis posterior, arrojando resultados inciertos. Para mitigar este problema, la solución elegida pasa por suavizar los extremos de la ventana, dando así más importancia a las muestras centrales de la misma. Basta con usar un tipo de ventana cuya ponderación sea decreciente en los extremos, es decir, que suavice la señal (ponderación tipo coseno alzado). Entre las más usadas se encuentran la *Hanning*, la *Hamming*, la *Gaussiana*, la *Blackman* y la *Káiser*. Se ha elegido la ventana *Káiser* $N=60$; $\beta=1$. Se muestra la ventana mencionada en el dominio del tiempo y de la frecuencia:

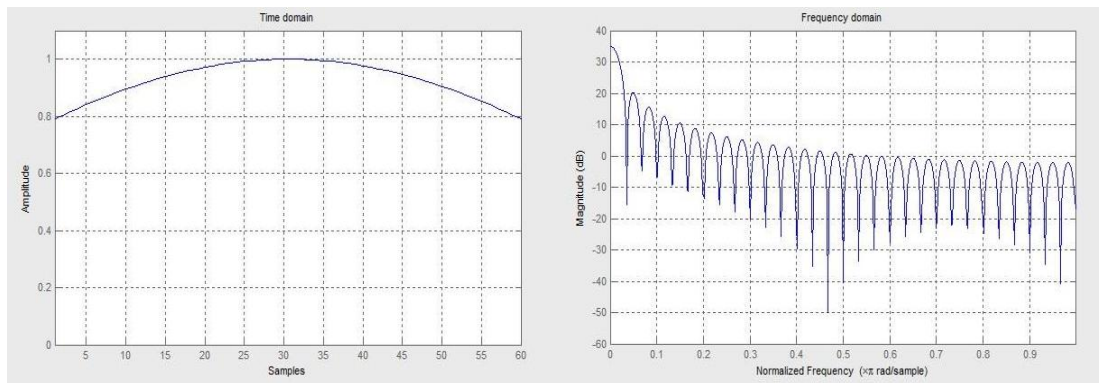


Figura 9. Ventana Kaiser en tiempo y frecuencia

Veamos un ejemplo de la aplicación de la ventana *Káiser* para suavizar una señal (en este caso se trata de una señal de Trotar). Como se aprecia, aparecen dos espurios al comienzo y al final de esta señal, tras la aplicación de la ventana, se han suavizado considerablemente.

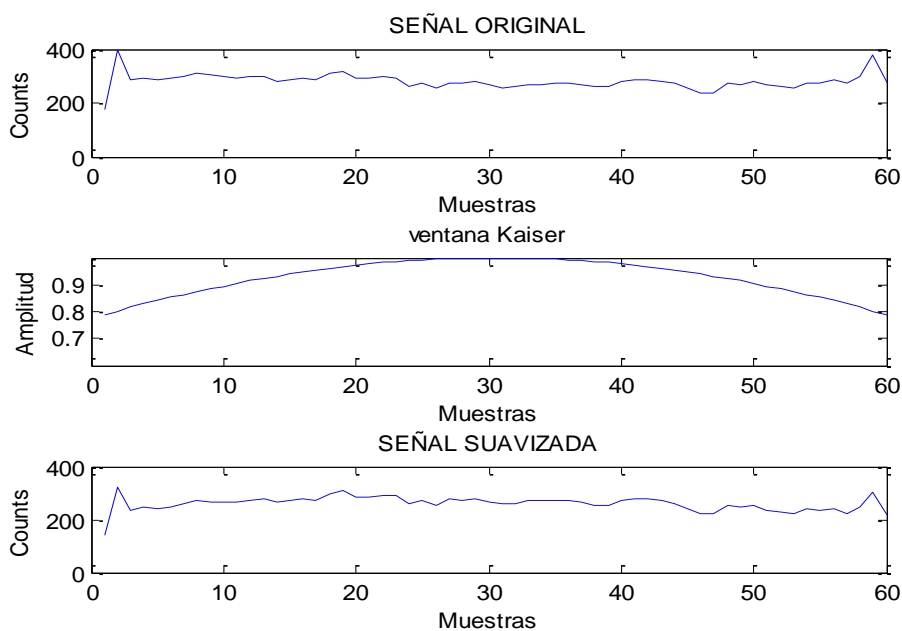


Figura 10. Ejemplo de suavizado

3. **Solapamiento entre ventanas:** por otro lado, se debe considerar también el efecto de ponderación temporal, puesto que con las ventanas tipo coseno alzado, las muestras de los extremos de la ventana quedan minimizadas frente a las muestras de la zona central de la ventana. Para compensar este efecto, se suelen tomar ventanas temporales solapadas, en las que las muestras de los extremos de una ventana sean las centrales en ventanas consecutivas.

Por tanto, el método implementado recorrerá la señal a estudiar de manera secuencial, seleccionando tramos consecutivos con solapamiento entre ellos y aplicándole a cada una de ellas una ventana *Kaiser* que ayudará a suavizar estos segmentos para su posterior extracción de características.

4. **Extracción de características mediante FFT:** en el *Capítulo 2, Estado del Arte*, se plantearon los distintos métodos para llevar a cabo la extracción de características de señales. Se vio que el más efectivo y preciso en casos de estudio de patrones para señales de acelerometría era la extracción de componentes de la FFT.

Una vez elegido el método, la duda reside en cuántos coeficientes de la FFT se han de seleccionar para un análisis efectivo. Se evaluará la precisión variando el número de coeficientes utilizados en dos casos: para diferenciar 3 actividades y para diferenciar 8 actividades.

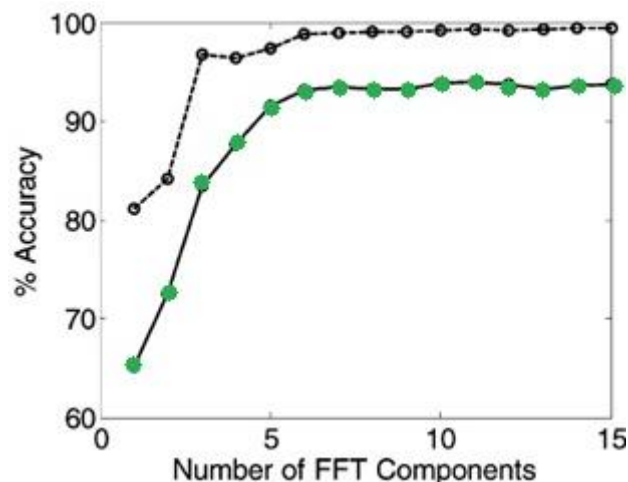


Figura 11. Precisión VS N° componentes FFT. [8]

En la figura anterior se puede ver que usando los primeros **5-6 coeficientes de la FFT**, tanto para el caso de diferenciación de tres actividades (línea discontinua con puntos negros), como para el caso de diferenciación de ocho actividades (línea continua con puntos verdes), llegamos al máximo de la precisión (*% Accuracy*).

Necesitaremos las componentes FFT de cada uno de los tres ejes, porque como vimos en el *punto 4.4* de este mismo capítulo, todas ellas pueden ser necesarias. Siendo fundamental poder elegir el eje de análisis en función de los niveles de AF ya que aún no se ha determinado qué eje se utilizará para el procesado y así poder distinguir

actividades muy similares como son Trotar y Correr. Este tema se abordará posteriormente en este mismo capítulo.

Podemos ver detallado el código que calcula la transformada rápida de Fourier y selecciona sus 5 primeras componentes para los tres ejes es:

```
Xenventanada_fft=abs(fft(Xenventanada));  
Xenventanada_fft=Xenventanada_fft(1:5,:);
```

Disponiendo de los coeficientes FFT, en el siguiente punto se llegará a la etapa final del proceso, comparando algunas señales con el Sistema de Entrenamiento usando el método desarrollado y así sacando algunos resultados que ayudarán a determinar con que ejes debemos analizar cada actividad.

4.8. SISTEMA DE COMPARACIONES

Para poder establecer una comparación basada en características, es esencial que los datos “modelo” es decir, los datos contenidos en el Sistema de Entrenamiento también sean sometidos a la extracción de las mismas componentes que la señal a analizar. Se realizará exactamente igual a como se describió en el apartado anterior, primero se suavizarán los datos con una ventana *Káiser* y luego se obtendrán las primeras cinco componentes de su FFT (de todos sus ejes). En este caso no es necesario realizar ningún tipo de selección de tramas (enventanado) ya que cada elemento del SE se definió con una longitud de 60 muestras [Ver apartado 4.3, Sistema de Entrenamiento].

Tras tener todas las características extraídas y disponibles, se pasa a generar un decisor basado en la Distancia Euclídea (DE), método que nos aporta información de la similitud de dos vectores, se podrá calcular de manera muy sencilla:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{p=i}^k (x_{ip} - x_{jp})^2}$$

Para comprender mejor este decisor se ha dividido en una serie de fases muy simples que acaban arrojando un resultado de patrón de AF:

- 1- Cálculo de la Distancia Euclídea entre las componentes de la ventana extraída (señal a reconocer) y las componentes de todas las señales del SE, por tanto para cada trama se calcularán 50 distancias (5 actividades x 10 sujetos completos del SE).

- 2- Las distancias calculadas se agruparán en vectores, generando un vector por clase o tipo de actividad, por tanto habrá 5 vectores (Vector distancias Inactivo, Vector distancias Caminar, Vector distancias Escaleras, Vector distancias Trotar y Vector distancias Correr). Cada vector contendrá diez elementos, que serán las distancias Euclideas del tramo a analizar con la actividad prototipo de los 10 sujetos patrón.
- 3- Suma de todas las distancias en cada vector, quedando el total de distancias contra una actividad. Por tanto, habrá un único valor por patrón o AF, es decir, cinco distancias acumuladas.
- 4- Solo queda elegir la distancia mínima entre esas cinco, que será la que determinará finalmente que actividad física estaba realizando el sujeto de análisis en ese momento, pudiendo imprimir por pantalla el resultado de manera legible.

Este método se extenderá posteriormente a una interfaz básica que solicitará al usuario cada cuánto tiempo quiere un resultado, por defecto este tiempo será de dos minutos. El motivo es que para un tramo de la señal completa, por ejemplo, tres minutos de la misma, al haber solapamiento entre ventanas, éstas compartirán muestras, devolviendo muchos resultados, iguales o diferentes entre ellos aunque las ventanas sean muy cercanas temporalmente entre sí, por lo que se han de unificar los resultados de las ventanas en uno solo en el intervalo solicitado por el usuario. Es importante seleccionar qué resultado mostraremos al usuario si se tienen decenas de ellos. Se mostrará al usuario la actividad más repetida entre los resultados de todas las ventanas de ese tramo temporal elegido. En caso de empate mostrará la que tenga un nivel más alto de actividad física. Por ejemplo, si empatasen *Caminar* y *Trotar*, se mostraría *Trotar*.

Todas estas funcionalidades descritas en los *Apartados 4.7* y *4.8* están implementadas en una sola función llamada “*SistemaComparaciones*”. La función recibirá los datos triaxiales de un día a analizar y los datos temporales asociados a ellos y devolverá un vector con todos los resultados calculados.

Siguiendo el ejemplo de tres minutos, un producto del análisis podría ser el siguiente:

“*Actividad detectada 15:30:00 - 15:33:00 = CAMINAR*”
“*Actividad detectada 15:33:00 - 15:36:00 = INACTIVO*”
“*Actividad detectada 15:36:00 - 15:39:00 = INACTIVO*”

4.9. PRIMEROS RESULTADOS Y DECISOR DE EJE DE ANÁLISIS

Para realizar las primeras pruebas que comprueben el buen funcionamiento de lo implementado hasta ahora, se introducirá una serie de datos de prueba. Para asegurar

que este conjunto corresponde puramente a las AF buscadas, usaremos las actividades del SE.

Separando las distintas actividades del SE y definiéndolas como un conjunto de **TEST** que se use como datos de entrada al análisis, se prueba el sistema y se comprueba su eficacia. Se probará utilizando como base de la comparación sólo los datos del “Eje 1”, luego los del “Eje 2” y por último los del “Eje 3”. Podremos ver los resultados y los porcentajes de acierto para cada actividad con cada eje. Se pueden ver en forma de tabla, denotando como **ACIERTO** o **ERROR** cada clasificación generada.

EJE 1 (VERTICAL o LONGITUDINAL)

Tabla 5. Resultados análisis del SE - Eje 1

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
2	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
3	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR
4	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
5	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ERROR
6	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
7	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
8	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
9	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
10	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	100 %	90 %	90 %	0 %

EJE 2 (HORIZONTAL o ANTEROPOSTERIOR)

Tabla 6. Resultados análisis del SE - Eje 2

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO
2	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
3	ACIERTO	ERROR	ERROR	ERROR	ACIERTO
4	ACIERTO	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR
5	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
6	ACIERTO	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR
7	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO	ERROR
8	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO
9	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
10	ACIERTO	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	40 %	0 %	40 %	60 %

EJE 3 (PERPENDICULAR o TRANSVERSAL)

Tabla 7. Resultados análisis del SE - Eje 3

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
2	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ERROR
3	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO
4	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR
5	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO
6	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
7	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
8	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ERROR	ERROR
9	ACIERTO	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR
10	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ERROR

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	80 %	50 %	30 %	40 %

Al calcular todos estos porcentajes se ha eliminado del conjunto del SE el archivo que se está usando como test ya que si no se estaría realizando una comparación sesgada (porque se estaría comparando consigo mismo) y bajaría así la distancia total de esa actividad, aumentando falsamente el porcentaje de acierto de algunos resultados. Así, por ejemplo, si usamos como **Test** el fichero de Trotar del sujeto 4 del SE, antes de ejecutar el análisis, este archivo quedará eliminado del SE para que no se llegue a comparar consigo mismo.

Después de haber obtenido los porcentajes de acierto para los tres casos mencionados, se pueden sacar algunas conclusiones:

1. La detección de los patrones “Sentado/Inactivo”, “Caminar”, “Escaleras” y “Trotar” presenta un buen funcionamiento utilizando como base de la comparación el eje vertical o Eje 1. Empeora sustancialmente cuando se usan los otros dos ejes para la detección.
2. La identificación del patrón “Correr” no funciona con el eje vertical (Eje 1), lo que ocurre es que detecta estos casos como si se tratara de “Trotar”. Al utilizar el Eje 3 (transversal) mejora un poco el acierto para este patrón y finalmente usando el Eje 2 vuelve a mejorar llegando hasta un 60% de precisión.

Tal y como se comentó anteriormente en esta memoria, se preveía que el sistema iba necesitar los datos de varios de los ejes del archivo a analizar para poder llevar a cabo la distinción de los cinco patrones. Por tanto, se hace necesario desarrollar un método que sea capaz de seleccionar que eje se usará para emprender el análisis. Se creará un decisor que se base en alguna característica de la señal a identificar para elegir, según esta, que eje se ha de usar.

Con los resultados obtenidos, solo necesitamos que use otro eje, el horizontal (Eje 2) en el caso de que la señal se parezca a la de “Correr” ya que con las demás AF tiene una

precisión alta usando exclusivamente el Eje 1. Por tanto, se ha de encontrar la característica que diferencie esta AF con las demás y basar el decisor en ella.

Basándonos en los niveles de AF, se podría extraer una posible característica diferenciadora, esta podría ser la media de la señal a analizar. Vimos en las gráficas del *punto 4.4* que para el eje horizontal, se apreciaba una clara diferencia entre los niveles de correr y el resto de actividades, por tanto, la media en este eje podría ser un identificador de en qué niveles se encuentra el tramo que inspeccionamos.

No obstante, se presenta otra opción: tras contemplar numerosas gráficas de los distintos patrones en frecuencia, se ha observado que existe una gran diferencia entre las componentes de continua (**DC**) de la señal en el eje horizontal para las distintas actividades a detectar, es decir, la primera componente de la DFT de cada señal. Lo que puede ser una característica a emplear en el decisor de eje.

Comparando ambos métodos, se ha decidido emplear la característica extraída en frecuencia, DC, ya que ha dado mejores resultados que la media en el Eje 2.

Una vez decidida la característica se ha de fijar un **Umbral** en el que se basará el selector para decidir el eje a usar. Para ello es necesario estudiar estas componentes DC para todas las AF de los sujetos del SE y ver en qué rangos se encuentran. Veamos por ejemplo las componentes DC para todas las actividades de los sujetos 1 y 9 del Sistema de Entrenamiento.

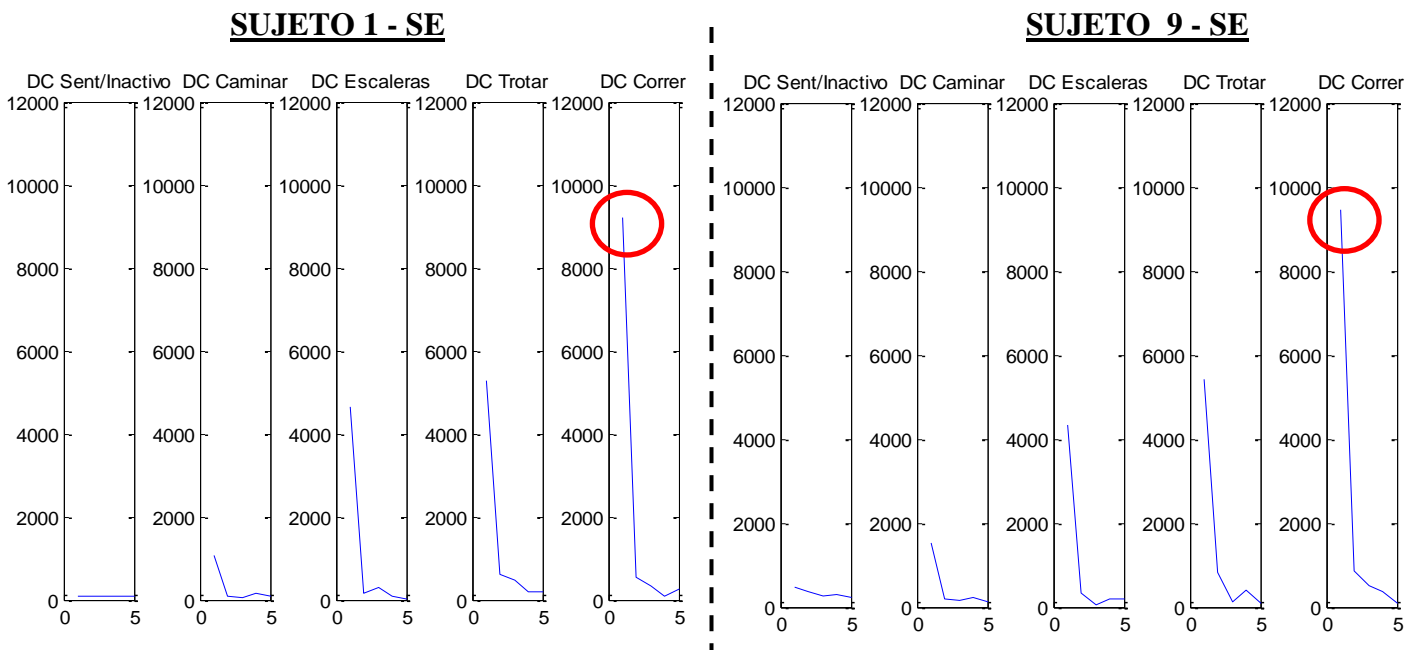


Figura 12. Componentes DC para distintas actividades

Se cumple para la mayoría sujetos esta ordenación ascendente de componentes DC. En general: “ $DC_{Inactivo} < DC_{Caminar} < DC_{Escaleras} < DC_{Trotar} < DC_{Correr}$ ”.

Los rangos de amplitud en los que se encuentran las DC de *Trotar* y *Correr* serán los datos que se emplearán para la posterior definición del Umbral buscado. Podemos ver que la mayoría de las componentes de *Trotar* se encuentran por debajo de 6000, aunque hay casos en las que son superiores, solapándose con los rangos de las componentes de *Correr*, que se encuentran normalmente por encima de 6500, llegando muchos de ellos a superar los 10.000.

Por ello, un Umbral lógico podría ser de 7000, siendo este el límite entre la DC de *Trotar* y comienzo la DC de *Correr*, aunque también podría ser superior. La decisión de este valor afectará a las actividades que puedan alcanzarlo, es decir a *Correr*, *Trotar* y *Escaleras*, variando el porcentaje de acierto en función de su elección. Veamos tres casos de cómo afecta este valor a la precisión:

1. Umbral DC = 6000.

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	100 %	70 %	80 %	60 %

2. Umbral DC = 7000.

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	100 %	80 %	80 %	60 %

3. Umbral DC = 8000.

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	100 %	80 %	80 %	50 %

Observando estos resultados, finalmente se ha decidido que el valor de *UmbralDC* sea 7000 ya que presenta buenos porcentajes de acierto.

Resumiendo, el decisor funcionará de la siguiente manera: si la primera componente de la FFT del eje anteroposterior de ese tramo es superior a un Umbral definido se usará el Eje 2 para extraer las características y realizar las comparaciones. En cambio, si la primera componente de la FFT de la señal (del Eje 2) fuera menor que el umbral usaríamos para el análisis el Eje 1 (los datos que provienen de este eje).

Veamos por último una tabla como las anteriores en la que se ha usado como Test todo el SE, pero esta vez se ha incorporado ya el decisor automático de eje:

CON EL SELECTOR DE EJES (UmbralDC=7000)

Tabla 8. Resultados análisis del SE - Con Decisor de Ejes

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO
2	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
3	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO
4	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
5	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
6	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
7	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
8	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
9	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
10	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	100 %	80 %	80 %	60 %

Las primeras pruebas con el conjunto de Test empleado han sido satisfactorias, presentando buenos porcentajes de acierto a pesar de algunos errores, finalmente se ha conseguido la detección de *Correr* empleando varios ejes para el análisis. Es importante destacar que los errores que se muestran en esta tabla son errores bastante lógicos, ya que no difieren en gran medida de la realidad, por ejemplo, en los errores de *Escaleras* el sistema ha detectado *Caminar* (al subir o bajar escaleras está implícito caminar) y en los de *Correr* ha detectado *Trotar* (actividades muy similares).

4.10. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha descrito, partiendo desde cero, el proceso completo para desarrollar una aplicación que es capaz de analizar secuencialmente un archivo de acelerometría y detectar en él cinco hasta patrones de actividad física distintos. El proceso se ha dividido en bloques, y cada uno de ellos cumple un papel esencial para llegar al objetivo final.

Después se ha definido un conjunto de Test basado en archivos conocidos (conjunto de ficheros del Sistema de Entrenamiento) para realizar los primeros experimentos. Tras ver que han sido satisfactorios, en el capítulo siguiente se extenderán las pruebas, usando esta vez datos capturados a través de la monitorización de la vida real de varias personas y así tratar de asegurar que este sistema se podrá emplear para estudiar situaciones reales.

Partiendo de los estudios realizados en este capítulo, en el [ANEXO IV] se extenderán los mismos y se probará a detectar las actividades basando el sistema en el sexo del sujeto de análisis, comprobando así si existen mejoras incorporando este parámetro.

5. Validación

5.1. INTRODUCCIÓN

Una vez desarrollada la aplicación y comprobado su funcionamiento con algunas pruebas básicas, vamos a extender las pruebas con el objetivo de asegurar la veracidad del sistema y así poder validar su uso. Se realizarán una serie de experimentos con acelerómetros incorporándolos en la vida diaria, tras esto se introducirán los datos al sistema implementado y se verá si realmente arroja resultados reales. Finalmente, se extraerán varios parámetros con los que se medirá la precisión, la cantidad de AF y se verá dónde presenta más fallos el programa.

5.2. EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN

Este segundo apartado del capítulo cinco se dividirá en varios puntos explicando cómo se validará el sistema. La validación se basará en un experimento que se detalla a continuación:

- ❖ Se dispone de cuatro acelerómetros triaxiales GT3X, y con ellos se va a monitorizar a cuatro sujetos distintos durante varios días. El objetivo es que desempeñen una vida completamente normal, sin tener en cuenta que tienen el acelerómetro puesto, es decir, que realicen las mismas actividades que harían un día cualquiera.
- ❖ Tras haber capturado los datos hemos de ser capaces de entregarlos al sistema y que éste nos aporte una serie de resultados que sean comprensibles. Podría retornar resultados erróneos y no lo sabríamos. Por tanto, a la hora de validar el sistema, el experimento se basará en que cada sujeto llevará un “diario” de actividades. En él apuntará la actividad realizada y el intervalo temporal en el que la realiza. Tras ser analizados los datos, tendremos una manera de corroborar si nos están dando una información correcta, así validando el funcionamiento del sistema, o por el contrario nos aportan información errónea, lo que supondría que la aplicación no está bien implementada para casos reales.
- ❖ Se han seleccionado sujetos de distintas características (sexo, edad, peso, altura) para el experimento de validación, así se podrá ver si para algún caso funciona mejor que para otro. Los cuatro sujetos seleccionados tienen las siguientes características:

Tabla 9. Datos de los Sujetos de Validación

SUJETO	NÚMERO DISPOSITIVO	SEXO	EDAD	PESO (Kg)	ALTURA (Cm)
1	101	HOMBRE	22	69	173
2	148	MUJER	22	53	167
3	107	MUJER	58	55	153
4	138	HOMBRE	36	74	168

- ❖ Se ha de reseñar que los individuos deben seguir una serie de normas a la hora de apuntar las distintas AF que realizan a lo largo del día. Así las comparaciones de lo que han escrito los sujetos con los resultados del sistema tras el análisis se podrán realizar de una manera ordenada y fácil. Se ha creado un guión con todas las normas experimento y al comienzo de la monitorización será entregado a los sujetos. Podremos encontrar esta hoja de normas así como todos los diarios de los cuatro sujetos en los anexos de esta memoria [ANEXO I]. No obstante, se detallan a continuación algunas de las normas más importantes:
 - El acelerómetro solamente ha de quitarse cuando se vaya a mojar y a la hora de dormir.
 - Se deben apuntar todas las actividades realizadas a lo largo del día, escribiendo también su intervalo horario y clasificándolas entre los cinco patrones definidos. En caso de no saber en qué patrón encuadrar la actividad que se está realizando. Poner simplemente la actividad. Ejemplo: cocinar.
 - Apuntar solamente actividades de duración mayor a un minuto.
- ❖ Por último, aparte de realizar los experimentos de la vida diaria de estos cuatro sujetos, también se ha efectuado otro par de experimentos secundarios o “extra”, incluidos en el [ANEXO II] de la memoria. En el primero de ellos se ha dispuesto de cinco sujetos que harán las cinco AF propuestas en distintos intervalos de tiempo y en distintas superficies para su posterior análisis por la aplicación. En el segundo experimento “extra”, se ha monitorizado a cuatro sujetos durante el desarrollo de un partido de baloncesto.

5.3. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

A continuación, tras haber capturado los datos de estos cuatro sujetos mencionados en el apartado anterior (Tabla 9), se procede a su análisis con la aplicación y al cálculo de los porcentajes de precisión y error, pero previamente es necesario tener en cuenta algunas consideraciones:

La precisión final del sistema para cada individuo dependerá en gran medida de lo que el sujeto haya escrito, es decir, dependerá de varios factores: lo que cada uno considere

como AF, la dedicación y el grado de detalle o exactitud que haya tenido este sujeto a la hora de ir anotando todo lo que hacía.

Por ejemplo, el sujeto puede considerar que está caminando y en realidad está efectuando a un desplazamiento muy suave y lento por casa. En este caso nuestro sistema probablemente estará detectando que está *Inactivo* ya que lo comparará con el SE en el que *Caminar* es una actividad continuada y bastante activa. Ocurre lo mismo para *Correr*, algunos sujetos pueden considerar que están corriendo pero realmente puede ser que estén solamente *Trotando*. Consecuentemente, se ha de tener especial cuidado a la hora de interpretar los datos escritos por estos sujetos.

Habiendo considerado esto, lanzaremos los ficheros de los diferentes sujetos al programa, después éste los filtrará para eliminar los datos no deseados, mostrará los datos útiles, y tras seleccionar el día que se quiere analizar entre los posibles días válidos, devolverá, en intervalos temporales ajustables por el usuario (por defecto será un resultado cada dos minutos), las actividades que ha localizado. Podemos ver a continuación una salida real de la consola de Matlab efectuando el análisis del día tres del sujeto 1 del experimento de validación:

SALIDA POR CONSOLA TRAS FILTRADOS Y DETECCIÓN DE ACTIVIDADES:

```
Introducir el número de acelerómetro a analizar: 101
Fecha y hora en que comienza a coger datos: 1/8/2015 a las 14:00:00
Fecha y hora en que finaliza de coger datos: 1/12/2015 a las 13:59:58
*** REALIZANDO FILTRADOS...ESPERE...***
***FILTRADOS COMPLETADOS***
Nº DIAS CON ACELEROMETRO PUESTO = 4
Nº DIAS FILTRADOS VÁLIDOS = 3
Introducir el día a analizar {1,2,..}: 3
Introducir cada cuanto tiempo quiere un resultado (minutos): 2
*****
1/10/2015~14:00:00-->1/10/2015~14:02:00
-ACTIVIDAD DETECTADA: SENTADO O INACTIVO
*****
1/10/2015~14:02:00-->1/10/2015~14:04:00
-ACTIVIDAD DETECTADA: SENTADO O INACTIVO
*****
...
*****
1/10/2015~15:38:00-->1/10/2015~15:40:00
-ACTIVIDAD DETECTADA: ESCALERAS
*****
1/10/2015~15:40:00-->1/10/2015~15:42:00
-ACTIVIDAD DETECTADA: ESCALERAS
*****
1/10/2015~15:42:00-->1/10/2015~15:44:00
-ACTIVIDAD DETECTADA: CAMINAR
```

Por cada resultado que se muestre, se guardará en un vector cada actividad detectada denotándolas en un rango de [1,5], correspondiendo cada número a un patrón de AF, como se muestra a continuación:

- 1=Sentado/Inactivo (S);
- 2=Caminar (K).
- 3=Escaleras (E).
- 4=Trotar (T).
- 5=Correr(C).

Para comparar este vector de resultados con los datos escritos por el sujeto solo queda crear otro vector, también en un rango de [1,5], que lleve los datos reales de los “diarios” de los sujetos y así poder llevar a cabo la comparación entre ambos vectores, que dará lugar a los porcentajes de precisión y error. Para ello se introducirán manualmente los datos, teniendo en cuenta que muchas actividades anotadas pueden introducir error si no están definidas claramente por el individuo que las realizó.

Pongamos un ejemplo: está anotado “Actividad en casa” en un intervalo de 53 minutos. Al analizar este tramo, las actividades halladas podrán incluir los patrones *Inactivo/Sentado* y *Caminar*, pero nunca *Escaleras*, *Trotar* o *Correr*. Por tanto, ¿cuál de las dos detectadas será la correcta? La respuesta es que ambas son correctas ya que el sujeto puede haber realizado ambas AF en ese intervalo.

Se creará manualmente también, un vector binario [0,1] “*VectorVariación*” que defina si una actividad en un tramo temporal puede presentar una pequeña variación o no, es decir, en este ejemplo, que cualquier resultado arrojado por el sistema como “1” o “2” (*Sentado/Inactivo* o *Caminar*) en ese intervalo temporal sea correcto. En cambio, si arrojase otro resultado (3, 4 o 5), sería erróneo. En el ejemplo propuesto, por consiguiente, deberíamos activar el bit de variación.

Se muestra, en otro ejemplo, una tabla con los distintos vectores mencionados con el propósito de una mejor comprensión de la función que desempeña cada uno en la validación:

Tabla 10. Ejemplo de Cálculo de Errores

VALORES EN EL INTERVALO TEMPORAL	VECTOR
222222222222222222222222222222111111111111111111113333	AF INDIVIDUO(real)
2211122222111222111122222211111112222111111113333	AF DETECTADA
1111111111111111111111111111100000000000000000000000000	VARIACIÓN
00011110000000000000	ERRORES

Acto seguido se procede a calcular la precisión del sistema con los resultados obtenidos (se podrán encontrar junto con los diarios de los sujetos en el [ANEXO I]). Este cálculo se realizará individualmente cada día válido de cada persona. Tras los filtrados el sujeto 1 y el 2 presentan tres días válidos de actividad, el sujeto 3 presenta dos días válidos y el 4 un solo día válido.

Además de los porcentajes de acierto y error, se definen dos parámetros con los que mediremos el error: el **error de borrado (EB)** y el **error de inserción (EI)** para cada patrón. Se considerará error de borrado cuando una actividad es detectada mal, es decir, es “borrada” por otra (Ejemplo: se considera EB-K si la actividad real era *Caminar* pero

ha sido detectado *Sentado/Inactivo*, borrando la actividad original). A su vez, el error de inserción, que estará asociado con el de borrado, se definirá como la inclusión de un tipo de actividad dónde no corresponde (mismo ejemplo: se considera EI-S si la actividad original era *Caminar* pero ha insertado *Sentado/Inactivo* en su lugar). Estando así relacionados los errores de borrado con los de inserción:

$$\sum_{k=1}^N EB_k = \sum_{k=1}^N EI_k$$

A continuación se presenta una tabla por cada sujeto de validación incluyendo en ellas todos los parámetros obtenidos con el programa y que se están empleando para estudiar la validación del sistema. Se incorporan también los porcentajes de cada AF en cada día válido de cada sujeto.

Tabla 11. Parámetros del Sujeto 1 - 3 días válidos

PARÁMETRO(%)	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	PROMEDIO
ACIERTO	95.38	91.35	89.72	92.15
ERROR	4.62	8.65	10.28	7.85
Inactividad	88.68	95.68	87.30	90.55
Caminar	10.5	4.05	9.52	8.03
Escaleras	0.27	0.27	3.17	1.24
Trotar	0.54	0	0	0.178
Correr	0	0	0	0
EB-S	0.82	0.27	1.37	0.82
EB-K	3.53	8.38	8.56	6.82
EB-E	0	0	0	0
EB-T	0.27	0	0.34	0.20
EB-C	0	0	0	0
EI-S	3.8	8.1	8.9	6.94
EI-K	0.823	0.27	1.37	0.821
EI-E	0	0.27	0	0.09
EI-T	0	0	0	0
EI-C	0	0	0	0

Tabla 12. Parámetros del Sujeto 2 - 3 días válidos

PARÁMETRO(%)	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	PROMEDIO
ACIERTO	97.05	93.28	95.67	95.33
ERROR	2.95	6.72	4.34	4.67
Inactividad	89.81	94.53	91.89	92.07
Caminar	7.51	5.22	6.60	6.45
Escaleras	2.14	0.25	1.50	1.23
Trotar	0	0	0	0
Correr	0.54	0	0	0.18
EB-S	0.8	1.99	0.67	1.15
EB-K	1.07	4.73	3.67	3.16
EB-E	1.07	0	0	0.36
EB-T	0	0	0	0
EB-C	0	0	0	0
EI-S	1.88	4.48	3.67	3.34
EI-K	1.07	1.99	0.67	1.24
EI-E	0	0.25	0	0.08
EI-T	0	0	0	0
EI-C	0	0	0	0

Tabla 13. Parámetros del Sujeto 3 - 2 días válidos

Parámetros del Sujeto 4 - 1 día válido

PARÁMETRO(%)	DÍA 1	DÍA 2	PROMEDIO	DÍA 1
ACIERTO	92.27	96.27	94.27	98.33
ERROR	7.73	3.73	5.73	1.67
Inactividad	79.47	89.80	84.63	90
Caminar	20.53	9.70	15.11	8.06
Escaleras	0	0.50	0.25	1.67
Trotar	0	0	0	0
Correr	0	0	0	0.28
EB-S	2.4	0	1.2	0
EB-K	5.33	3.73	4.53	1.02
EB-E	0	0	0	0.65
EB-T	0	0	0	0
EB-C	0	0	0	0
EI-S	5.33	3.23	4.28	1.11
EI-K	2.4	0	1.2	0.56
EI-E	0	0.50	0.25	0
EI-T	0	0	0	0
EI-C	0	0	0	0

5.4. CONCLUSIONES

Finalmente se ha podido comprobar el buen funcionamiento del sistema, lo que era el verdadero objetivo de este capítulo. Se han obtenido porcentajes de acierto superiores al 90% en la mayoría de los casos, lo que supone que, en general, el sistema está listo para su uso en casos reales de estudio de la AF de las personas.

Con los errores de inserción y borrado hemos visto que los mayores problemas residen en la inserción de resultados de *Inactividad*, siendo estos los errores más comunes junto con el borrado de *Caminar*. Aun así estos errores presentan porcentajes poco significativos.

La actividad física diaria de estos sujetos no ha sido excesivamente activa, no habiendo realizado abundantes actividades vigorosas como trotar y correr. Por ello, se ha decidido incorporar en los anexos de este TFG dos experimentos adicionales en los que los sujetos monitorizados alcanzarán niveles altos de AF y nos servirá de nuevo para validar el buen funcionamiento del sistema también para estas AF. [ANEXO I, Ejecución de los patrones y Partido de baloncesto].

Antes de cerrar este capítulo es importante hacer una consideración acerca de la veracidad del sistema implementado. Algunos sujetos pasan un alto porcentaje del día de forma sedentaria, a veces superior al 85%, un sistema que detectase siempre Inactividad tendría una precisión muy alta, por tanto, es fundamental que la precisión de nuestro sistema sea superior al porcentaje de inactividad real del sujeto bajo estudio, lo que indicará que se están detectando más actividades que el estar sentado o inactivo, siendo otra manera de comprobar el funcionamiento de la aplicación.

En el capítulo siguiente se efectuará la última prueba con el programa implementado, que consistirá en hacer un estudio real del comportamiento un conjunto grande de sujetos.

6. Caso de estudio: Sujetos Adolescentes

6.1. INTRODUCCIÓN

Antes de comprobar la bondad del sistema de reconocimiento de patrones creado era imposible abordar un caso de estudio real de la monitorización de un conjunto grande de sujetos, ya que los resultados arrojados podrían ser inciertos.

Ahora que se ha comprobado su buen funcionamiento, es algo factible, y por consiguiente, en este capítulo se llevará a cabo un estudio real de un conjunto de estudiantes, viendo tras él, su relación con algunas características físicas como la altura, el peso y el sexo.

6.2. ADQUISICIÓN DE LOS DATOS

Se ha monitorizado durante una semana entera a 209 estudiantes de un instituto. Todos ellos tienen edades comprendidas entre los 11 y los 18 años. Se dispone de todos los datos registrados por los dispositivos GT3X y además de esto, se dispone de los datos de las características de cada sujeto: edad, peso, altura, sexo. Con los datos de peso y altura será fácil calcular el índice de masa corporal (IMC), parámetro con el que se trabajará también posteriormente para ver la relación fisiológica con los porcentajes de actividad física.

6.3. RESULTADOS DEL PROGRAMA

Lo primero que hará la aplicación al recibir los 209 ficheros será filtrarlos y descartar los ficheros que no cumplan los parámetros de filtrado: eliminación de 60 minutos consecutivos de ceros, mínimo 10h/día útiles, mínimo 3 días válidos por semana, según se indicó en el *Apartado 4.6*. Se han filtrado los archivos de cada estudiante y al final, de los 209 ficheros iniciales nos quedan 203 válidos. En el resto de este capítulo trabajaremos con ellos.

Tras el análisis del conjunto, para cada archivo válido obtendremos los porcentajes de cada patrón de AF diaria y tras ello la media de todos los días válidos para cada sujeto. Quedando así un porcentaje para cada actividad de cada individuo.

Se representa a continuación, para los 203 sujetos, las medias de porcentajes de todos los patrones de AF ordenadas **de menor a mayor porcentaje de inactividad**. Comienza en el 75% ya que ningún sujeto ha presentado una inactividad menor a ese porcentaje y de esta manera es más fácil distinguir el resto de porcentajes:

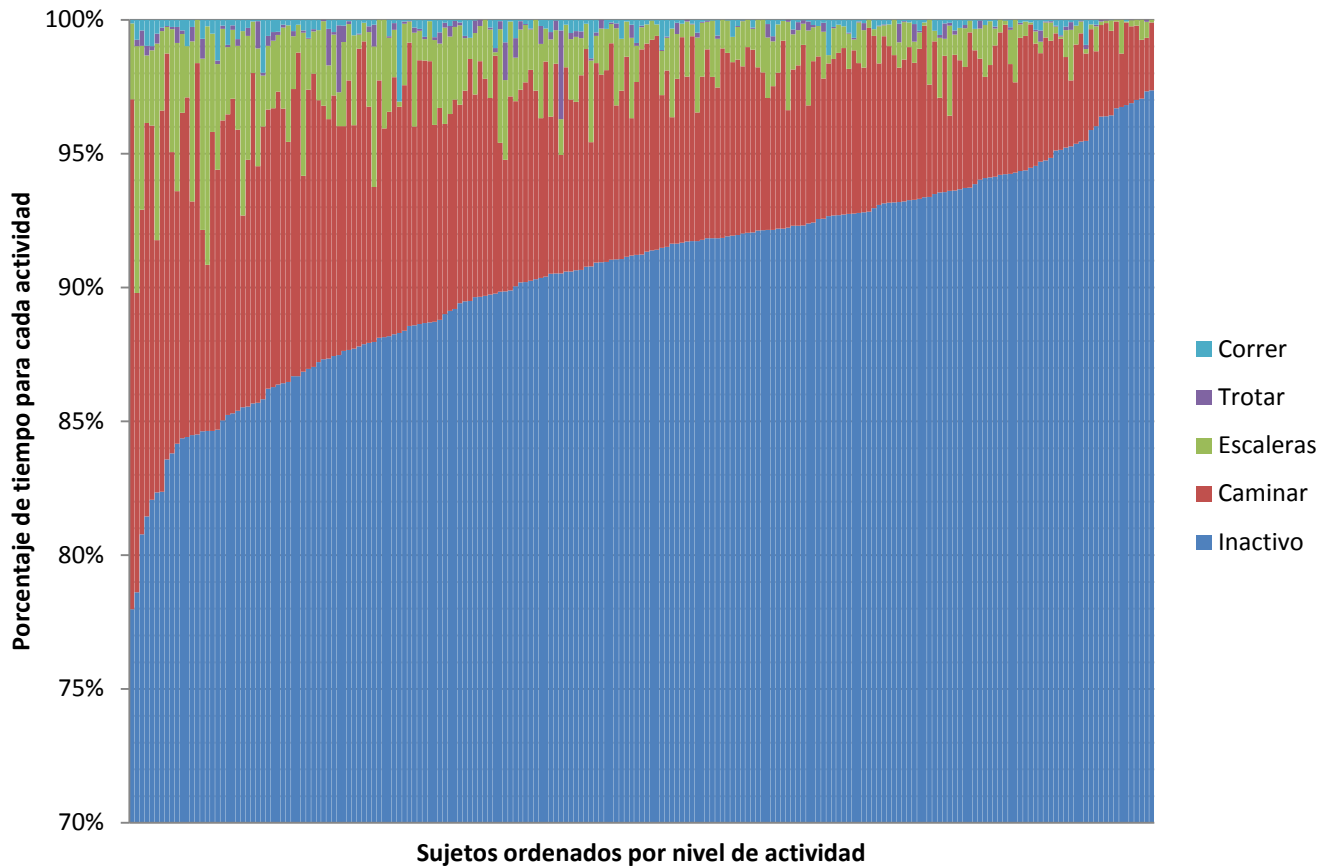


Figura 13. Porcentajes de las distintas AF obtenidos del estudio

Se representan además los histogramas de los porcentajes de cada patrón de actividad obtenido para el conjunto de sujetos válido:

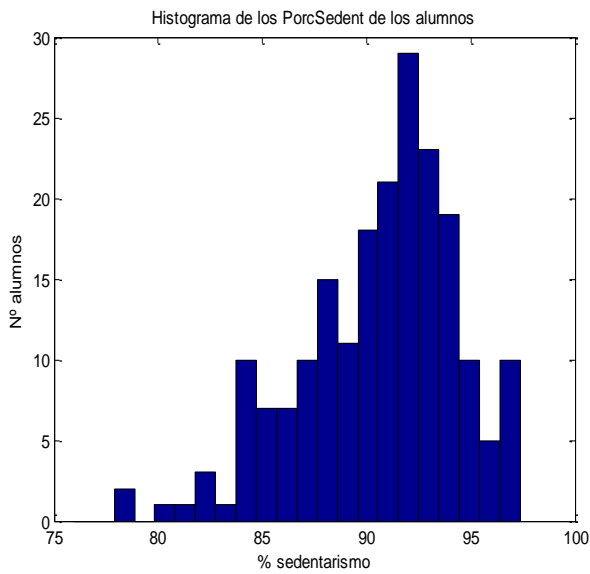


Figura 14. Histograma % Sedentarismo del conjunto de sujetos

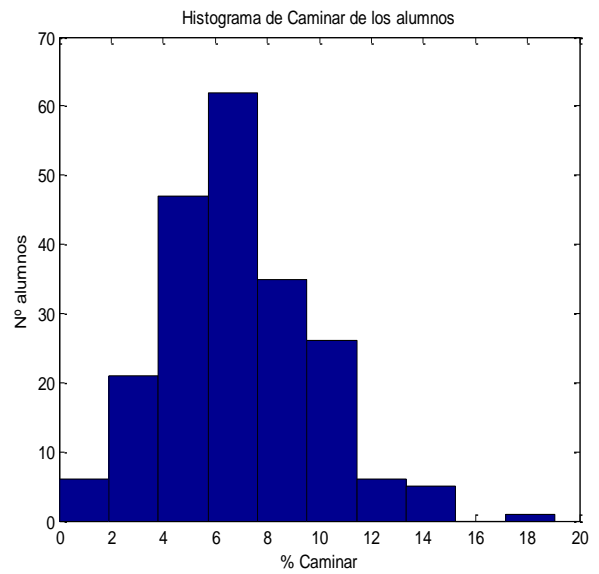


Figura 15. Histograma % Caminar del conjunto de sujetos

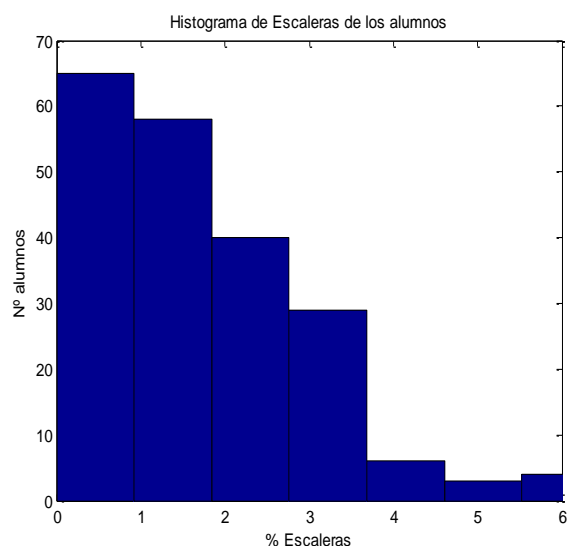


Figura 16. Histograma % Escaleras del conjunto de sujetos

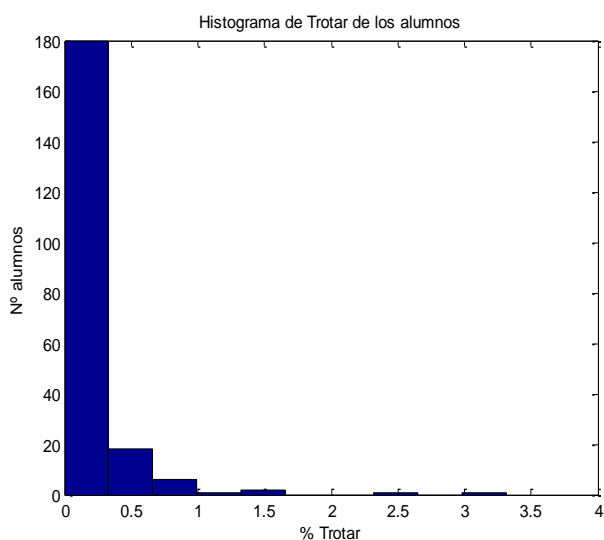


Figura 18. Histograma % Trotar del conjunto de sujetos

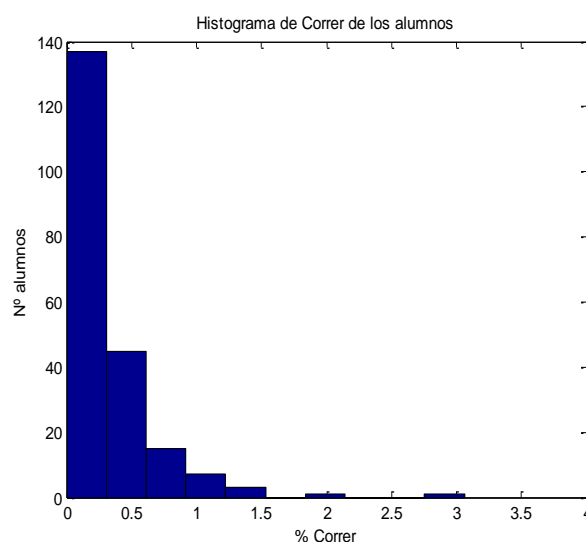


Figura 17. Histograma % Correr del conjunto de sujetos

6.4. RELACIÓN CON EL IMC

A continuación, disponiendo del peso y la altura de cada alumno, se calculan sus IMCs. Estudiaremos ahora, de manera breve, la relación existente entre los resultados obtenidos con el sistema (porcentajes de cada actividad) y los IMCs calculados. Antes de nada, para establecer una relación con el índice de masa corporal, será necesario definir los rangos que dividirán a los sujetos en tres categorías: “*Infrapeso*”, “*Normal*” y “*Sobrepeso*”. Estos varían en función a la edad y al sexo. Se podrá encontrar una tabla con los datos que realizan ésta segmentación en el [ANEXO III].

Primero se verá la relación **IMC-Sedentarismo**, sabiendo que sedentarismo engloba tanto la inactividad, estar sentado y la actividad muy ligera. En segundo y último lugar, la relación **IMC-AF**; Veremos en ella la correlación existente entre el IMC y las actividades más enérgicas como son las escaleras, trotar y correr (actividades moderadas-vigorosas), que también serán denotadas como AF alta. Como podemos

observar, la actividad caminar no la englobaremos en ninguna de las dos relaciones ya que está encasillada como una actividad ligera-moderada.

1) Sedentarismo VS IMC. Se muestran los histogramas normalizados correspondientes al porcentaje de sedentarismo para los tres grupos en los que se ha segmentado el conjunto de sujetos:

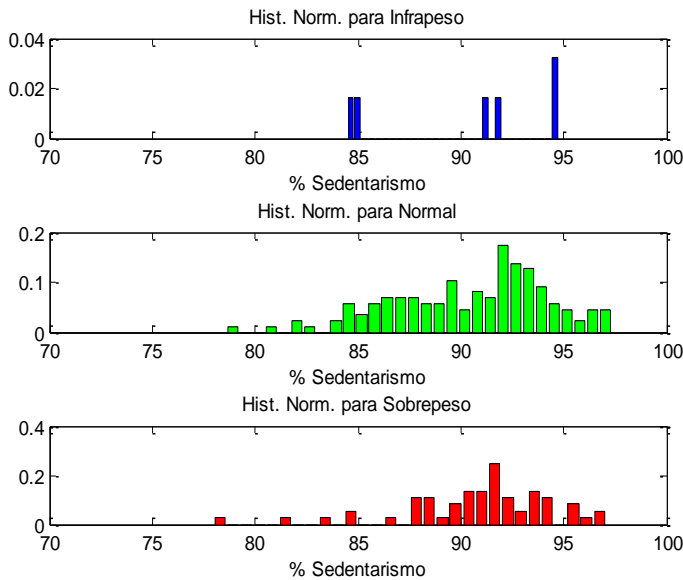


Figura 20. Porcentaje de Sedentarismo en función al IMC. Individual.

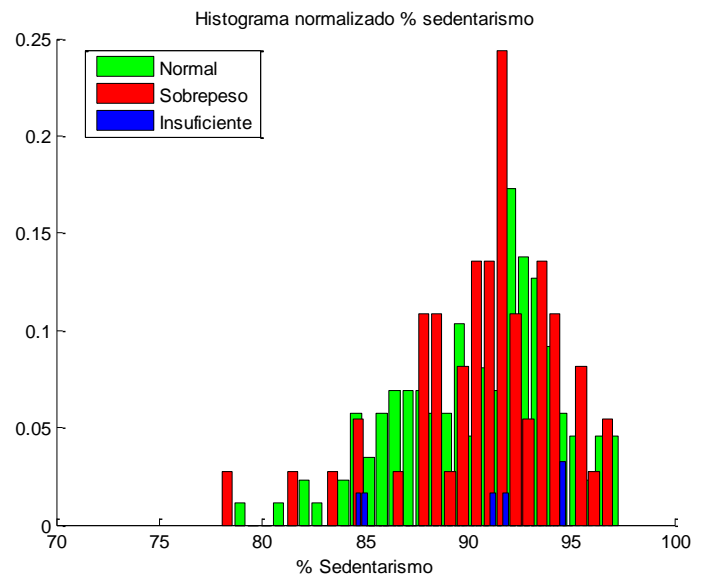


Figura 19. Porcentaje de Sedentarismo en función al IMC. Agrupado.

Observando los histogramas vemos que se cumplen las expectativas, siendo los sujetos con Sobrepeso los que mayor porcentaje de sedentarismo presentan al estar concentrados en las zonas más altas de los porcentajes. En cambio, los que se acercan a porcentajes más bajos de sedentarismo son los sujetos de IMC normal (hay gran parte de los sujetos de este grupo que está por debajo del 90% de sedentarismo), aunque gran parte de los sujetos normales no responden a este patrón, distribuyéndose también por las zonas de porcentajes altos. Se espera que ocurra lo mismo en el siguiente apartado, mostrando más actividad los sujetos normales.

Los sujetos con infrapeso no responden a ningún patrón o distribución definidos. Quizás en una BBDD con más sujetos que sufran infrapeso se pueda apreciar mejor cómo se distribuyen sus datos en cuanto a porcentaje de sedentarismo.

2) **AF alta VS IMC.** Partiendo de la suma de los porcentajes de los patrones más intensos (*Escaleras + Trotar + Correr*) examinamos su relación con el IMC:

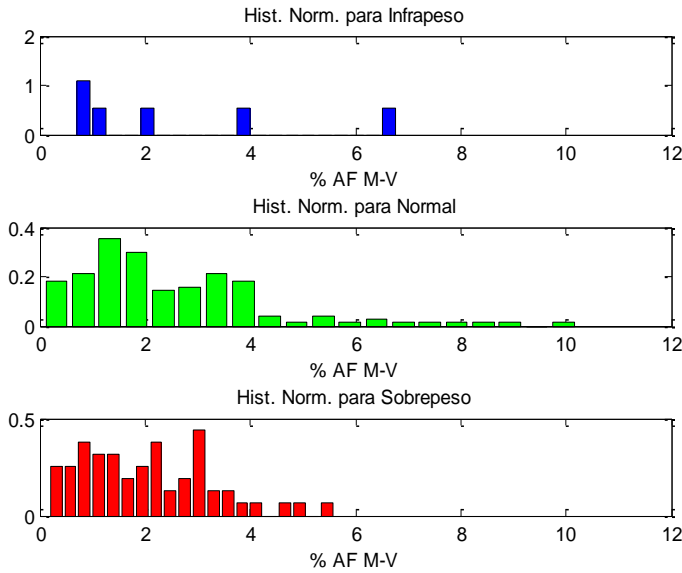


Figura 21. Porcentaje de AF en función al IMC. Individual

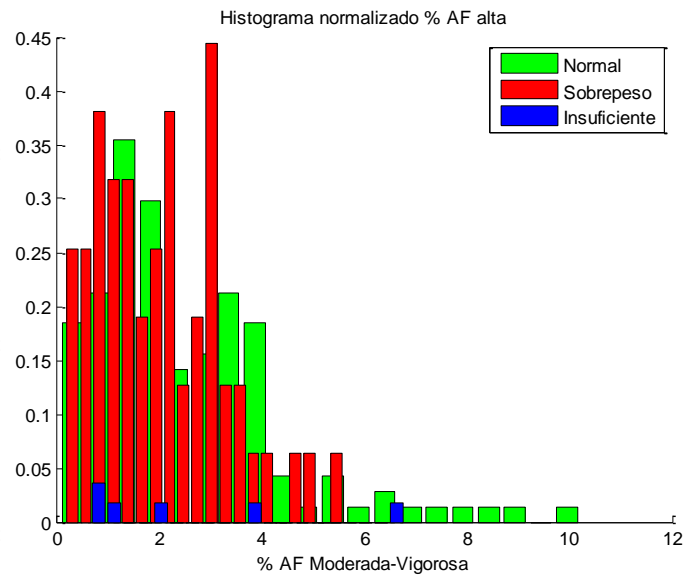


Figura 22. Porcentaje de AF en función al IMC. Agrupado

En este apartado se vuelven a cumplir las expectativas, alcanzando los porcentajes de AF moderada-vigorous más altos los sujetos de IMC normal y concentrándose en los más bajos los individuos con sobrepeso. Al igual que en el apartado anterior, no se puede destacar que los estudiantes con infrapeso sigan alguna distribución común ya que hay muy pocas muestras de los mismos.

6.5. RELACIÓN CON EL SEXO.

Por último, disponiendo del sexo de cada alumno, se estudiará si existe alguna relación entre el sexo y la cantidad de AF realizada. Volveremos a ver dos casos como en el apartado anterior, la relación **Sexo-Sedentarismo** y la relación **Sexo-AF**:

- 1) **Sexo-Sedentarismo.** Para comenzar se representan a continuación los histogramas de sedentarismo para hombres y para mujeres. Las figuras 23 y 24 muestran estos histogramas normalizados de manera individual, claramente diferenciables por sexo y de manera conjunta para ambos sexos :

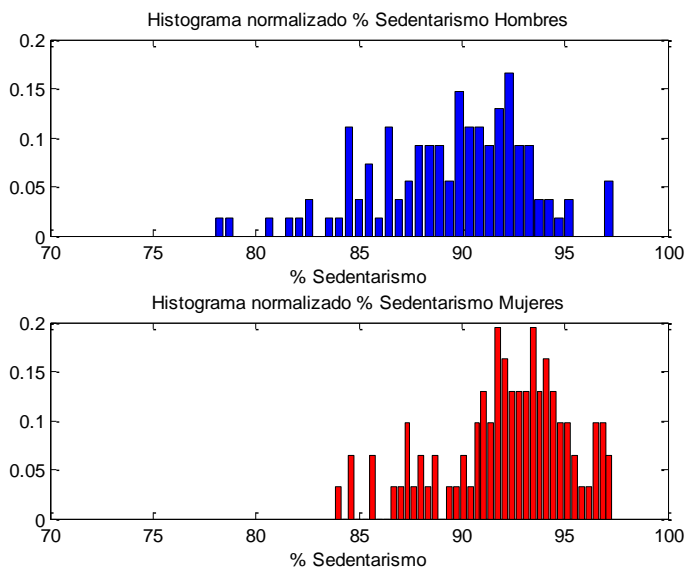


Figura 24. Porcentaje de Sedentarismo en función al Sexo. Individual

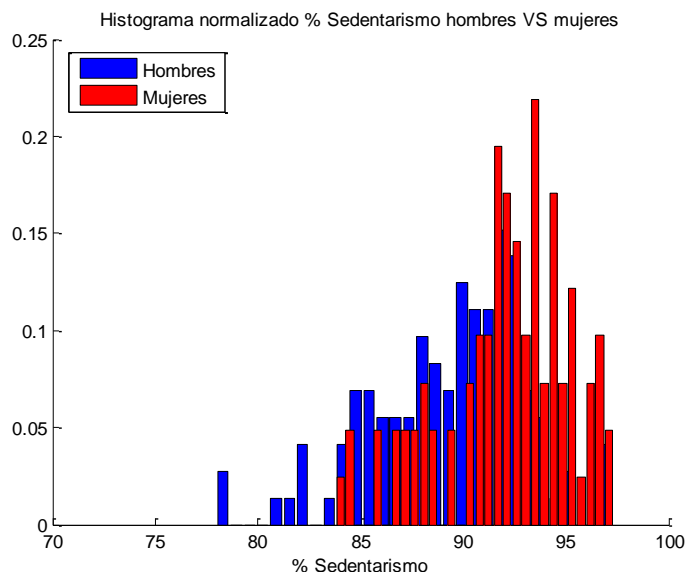


Figura 23. Porcentaje de Sedentarismo en función al Sexo. Agrupado

Se puede apreciar claramente que los datos masculinos están levemente desplazados hacia porcentajes más bajos de sedentarismo, presentando una media de 89.31% y una DT de 3.08, frente a las mujeres, que resultan ser más sedentarias, con una media de 92.14% de sedentarismo y una DT de 3.77. Vistos los resultados, se espera, igual que en el apartado anterior, que los hombres realicen también más actividad física “alta” (moderada-vigorosa).

- 2) **Sexo-AF.** Para estudiar el vínculo entre el sexo y la actividad física moderada-vigorosa se acumula en una sola cifra la suma de los porcentajes de escaleras, trotar y correr y así podemos ver, según el sexo, cuál de ellos realizará mayor cantidad de estas actividades.

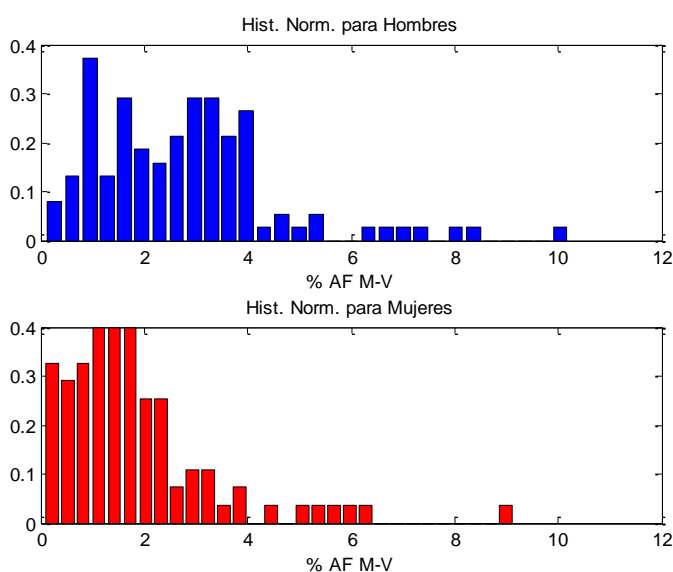


Figura 26. Porcentaje de AF en función al Sexo. Individual.

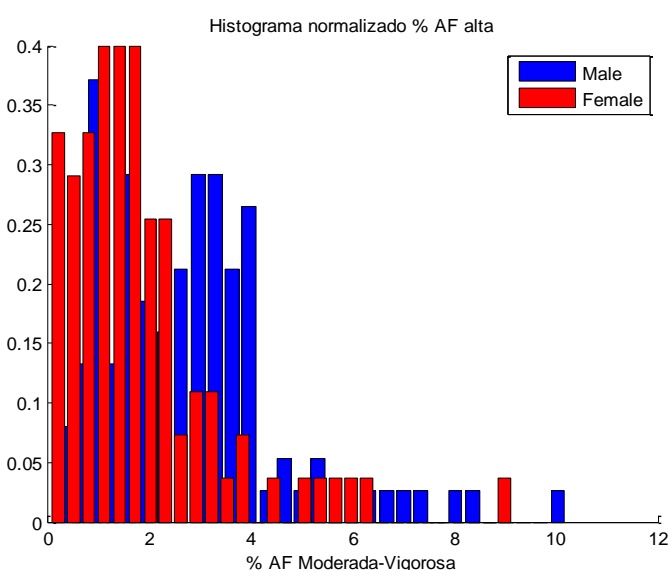


Figura 25. Porcentaje de AF en función al Sexo. Agrupado

En el caso de las mujeres, la mayor densidad de AF-Alta se encuentra concentrada por debajo del 2%, en cambio, en los hombres hay mayor cantidad de resultados por encima de esta cifra. Por tanto se concluye que efectivamente se satisface lo citado anteriormente, los datos de los varones muestran frente a las mujeres, que éstos efectúan mayor cantidad de actividades de alta energía como son subir escaleras, trotar o correr.

6.6. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha realizado un estudio sobre el comportamiento de un grupo de estudiantes de instituto a lo largo de una semana. Además de los resultados generados por la aplicación se han comparado los mismos con algunos datos fisiológicos, extrayendo varias gráficas de esta comparativa. Las figuras mostradas a lo largo de este capítulo demuestran la coherencia de los resultados.

Se cierra así el desarrollo y todas las pruebas del sistema implementado en este TFG. A continuación, en el último capítulo de esta memoria, se mencionarán, de manera breve, algunas de las conclusiones una vez terminado el proceso y se apuntará también como se podría mejorar este trabajo en un futuro.

7. Conclusiones y trabajo futuro

7.1. CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Fin de Grado se ha podido desarrollar gracias al trabajo de un equipo multidisciplinar. La aportación por parte de los investigadores de Educación Física se ha circunscrito a proporcionar los acelerómetros con los que se han realizado los experimentos y las bases de datos en las que nos hemos basado para crear el sistema de entrenamiento y los estudios finales sobre adolescentes.

Finalmente se han cumplido los objetivos de este trabajo, pudiendo con el desarrollo realizado detectar cinco patrones de actividad física distintos y encasillándolos también entre distintos niveles de AF. Tras el análisis y la detección se han extraído una serie de parámetros que aportan información acerca del comportamiento de cada sujeto en cuestión. Hemos podido examinar además algunos casos reales poniendo a trabajar la aplicación desarrollada (*Capítulos 5 y 6*).

En general el sistema desempeña su papel de manera eficiente. No obstante, durante todo el proceso se ha visto que algunos patrones presentan mayor dificultad de localizar que otros, según se menciona a continuación:

La diferenciación de *Trotar/Correr* es una de las más complicadas porque depende mucho de la persona que las está realizando, pudiendo presentar niveles muy similares entre las actividades y muy distintos en diferentes individuos. A pesar de haber establecido un método para mejorar la detección de *Correr*, es la AF que se detecta con la precisión más baja de las cinco.

Es importante destacar también el caso de *Caminar*. Para este patrón hemos partido de un “molde” en el sistema de entrenamiento que consistía en sujetos caminando de manera intensa y dinámica, por lo que no podemos pretender que el sistema detecte como caminar a una actividad que difiera sustancialmente de este nivel, como podría ser moverse lentamente por casa, que se aproxima más a la inactividad que a caminar.

Hubiese sido imposible realizar este proyecto sin haberme basado en los conocimientos aprendidos en las asignaturas de tratamiento de señales, en especial asignaturas como Sistemas Lineales, Tratamiento Digital de Señales, Tratamiento de Señales Multimedia, Tratamiento de Señales de Voz y Audio, etc.

Por último, es importante destacar cómo ha influido este trabajo en el ámbito personal. Todo el curso vivido desde que surgió de la idea del proyecto ha influido positivamente en mí, he aprendido a desarrollar desde cero un proyecto, he crecido como programador y he adquirido diversos conocimientos que, de no haber realizado este proyecto, no

hubiese descubierto. Todo el proceso ha hecho que despierte en mí un gran interés en el procesamiento de señales. En definitiva, ha sido una experiencia muy importante para mí.

7.2. TRABAJO FUTURO

Debido a la duración limitada de este trabajo de fin de grado, hay aspectos que no se ha podido llevar a cabo y que aún se pueden enriquecer y extender en un futuro. Por tanto, a continuación se exponen algunas ideas para continuar con la línea de trabajo y mejorar el funcionamiento general del algoritmo y del sistema:

Crear una BBDD variada y numerosa

Como se comentó en la creación del SE, incrementar el número de individuos que componen la base de datos del sistema de entrenamiento y la variación de sus características fisiológicas podría suponer aumentar la precisión del sistema.

Aumentar la frecuencia de muestreo

Teniendo más muestras por segundo, y consecuentemente realizando ventanas de menor duración temporal se podrían detectar actividades de poca duración, así aportando mayor exactitud pero también un número de datos muy elevado.

En este trabajo se ha trabajado basando la comparación en dos minutos de actividad, por ejemplo, para la actividad *Escaleras* resulta ser demasiado tiempo. Muy pocas veces alguien sube o baja tramos de dos minutos consecutivos de escaleras, en realidad suelen ser 10-30 segundos. Con la frecuencia de muestreo adoptada se reduce a 5-15 muestras (que no son suficientes) y por tanto, se convierte en una actividad difícil de detectar. Para mejorar la precisión sería necesario aumentar la frecuencia de muestreo llegando a tasas de varias muestras/segundo, las ventanas de comparación se harían más cortas temporalmente y así se detectarían estas pequeñas variaciones.

Detección de más actividades y colocación del dispositivo

A los patrones básicos que se ha decidido estudiar en este trabajo se le podrían sumar otros patrones y así conseguir la detección de más actividades como podrían ser estar tumbado, saltar, andar a la pata coja. Además de esto, se podría probar la colocación del acelerómetro en otras articulaciones como el tobillo y la muñeca para comprobar si existen mejoras en el sistema.

App en tiempo real

Con la actual integración de acelerómetros los *SmartPhones* se podría extender la funcionalidad del programa para desarrollar una aplicación que trabajase en tiempo real detectando las actividades propuestas y aportase además información significativa para el usuario como puede ser porcentajes de AF, tiempos totales de AF, etc.

REFERENCIAS

- [1] ActiGraph. GT3X and wGT3X-Device-Manual. Revision D. 5/13/2013.
- [2] Uslu, Gamze, H. Ibrahim Dursunoglu, Ozgur Altun, Sebnem Baydere. "Human activity monitoring with wearable sensors and hybrid classifiers." *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, Vol. 5, 2013, pp. 345-353.
- [3] K. Aminian and B. Najafi, "Capturing human motion using body-fixed sensors: outdoor measurement and clinical applications," *Computer Animation and Virtual Worlds*, vol. 15, no. 2, pp. 79–94, 2004
- [4] Patel S, Park H, Bonato P, Chan L, Rodgers M: "A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation". *J Neuroeng Rehabil* 2012, 9:21.
- [5] Daniel Monje Centeno. "Conceptos electrónicos en la medida de la aceleración y la vibración". Universidad Politécnica de Sevilla. 09/09/2010.
- [6] Serway, Raymond A. Jewett, John W. 2004. "Physics for Scientists and Engineers" (6ª edición). Brooks/Cole. <http://www.ecured.cu/index.php/Aceler%C3%B3metro>.
- [7] Robi Polikar. "The engineer's ultimate guide to Wavelet Analysis". The Wavelet Tutorial. <http://users.rowan.edu/~polikar/WAVELETS/WTtutorial.html>.
- [8] S. Preece, J. Goulermas, L. Kenney, and D. Howard, "A comparison of feature extraction methods for the classification of dynamic activities from accelerometer data," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 56, no. 3, pp. 871–879, 2009.
- [9] Internacional Society of Behavioral Nutrition and Physical Activity (ISBNPA) 2014 Abstract Book. 21-24 may. San Diego, California.
- [10] Choi L, Liu Z, Matthews CE, Buchowski MS. "Validation of accelerometer wear and nonwear time classification algorithm". *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:357-364.
- [11] Morris, J. S., Arroyo, C., Coull, B. A., Ryan, L.M., Herrick, R., Gortmaker, S. L. (2006), "Using waveletbased functional mixed models to characterize population heterogeneity in accelerometer profiles: a case study", To appear in *JASA*.
- [12] Owen N, Healy GN, Matthews CE, Dunstan DW. "Too much sitting: the population health science of sedentary behavior". *Exerc Sport Sci Rev*. 2010;38(3):105–13.
- [13] Javier Ortega Garcia. Enventanado de señales. Material de la asignatura TAPS. http://arantxa.ii.uam.es/~jortega/Tema2_TAPS_def.pdf.

- [14] Doroteo Torre Toledano. Material de la asignatura Tratamiento Digital de Señales.
- [15] Jesús Bescós Cano. Material de la asignatura Sistemas Lineales.
- [16] Javier Ortega García. Material de la asignatura Tratamiento de Señales de Voz y Audio.
- [17] Cole, T. J., Flegal, K. M., Nicholls, D. & Jackson, A. A. (2007). "Body mass index cut offs to define thinness in children and adolescents: international survey". British Medical Journal, 335, 194-201.
- [18] Lda. María E. Quintero. "Biomédica del aparato locomotor". Universidad Nacional Experimental del Yaracuy.

Anexo I. Hojas de Validación

En primer lugar en este anexo se adjunta la hoja de normas que recibieron los sujetos de validación antes de realizar ninguna anotación en el experimento. (Ver Capítulo 5).

❖ NORMAS TEST ACELEROMETRÍA

¿Cuándo debo llevarlo puesto?

El acelerómetro no ha de quitarse durante todo el experimento excepto: para ducharse, nadar (o cualquier actividad en la que se pueda mojar) y para dormir.

En estos casos se apuntará en la hoja a la hora que se ha quitado el acelerómetro y a la hora que se ha vuelto a poner y con el nombre de actividad como: “*Quitado*”.

En caso de que sea necesario quitárselo por cualquier otro motivo, se apuntará también en las hojas con la misma nomenclatura.

¿Qué tipo de actividades debo apuntar?

Deberemos distinguir entre 5 tipos fundamentales de actividades, las cuales denominaremos como “*Sentado*”, “*Caminar*”, “*Trotar*”, “*Correr*” y “*Escaleras*” y así lo remarcaremos en las hojas proporcionadas.

En el caso de realizar otra actividad cotidiana o deporte y no sepa en cuál de estas cinco categorías encuadrarla, se especificará en la casilla “*Actividad*” lo que se estaba haciendo. Ejemplos: “Montar en bicicleta”, “Limpiar”, “Cocinar”, etc.

¿Tengo que apuntar cada movimiento que haga?

No. Hay que apuntar actividades de una duración mayor que 60 segundos. Dicho de otra manera, actividades con alguna relevancia. Veamos algunos ejemplos:

- Caminar desde mi casa a ver a mi vecino que vive a 2 minutos de mi casa → Apuntarlo.
- Levantarme de la silla de escritorio para coger una cosa de la librería y volverme a sentar → No apuntarlo (incluiré esa actividad como estar sentado).

❖ DIARIOS DE LOS SUJETOS DE VALIDACIÓN

Se incluyen a continuación, para cada sujeto de los empleados para validar el sistema, los diarios en forma de tabla que realizaron durante el experimento y los resultados que arroja el sistema para estos datos.

Para abreviar se denotarán los cinco patrones con una sigla en lugar de escribir el nombre completo. “S”=Sentado/Inactivo. “K”=Caminar. “E”= Escaleras. “T”=Trotar. “C”=Correr.

Tabla 14. Diario y resultados del sujeto 1. Día 1

JUEVES 8 ENERO 2015 – SUJETO 1			
HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
14:00	14:13	S	S
14:13	14:16	K	K
14:16	14:17	E	S
14:17	14:29	S	S
14:29	14:32	K	K
14:32	15:40	S	S
15:40	15:49	K	S-K
15:49	15:58	S	S
15:58	16:04	K-E	K-E
16:04	16:14	S-K	S-K
16:14	16:19	T-C	T
16:19	16:29	S-K	S
16:29	17:32	K-T	S-K
17:32	17:58	S-K	S-K
17:58	18:07	S	S
18:07	18:13	K	S
18:13	18:16	S	S
18:16	18:24	K-E	K
18:24	19:57	S	S
19:57	20:03	K	K
20:03	20:10	S-K	S
20:10	20:56	S	S
20:56	21:00	K	S
21:00	21:38	S	S
21:38	21:47	S	S
21:47	21:56	S-K	S
21:56	22:14	S	S
22:14	22:28	K	S-K
22:28	22:51	S-K	S-K

22:51	0:03	S	S
0:03	11:39	QUITADO	QUITADO

Tabla 15. Diario y resultados del sujeto 1. Días 2 y 3

VIERNES 9 ENERO 2015 – SUJETO 1

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
11:39	11:41	S-K	S
11:41	12:02	K	S
12:02	12:10	K	K
12:10	13:44	S	S
13:44	13:59	K	S-K
13:59	14:09	S-K	S
14:09	14:15	K	S-K
14:15	14:22	S	S
14:22	14:27	K	S-K
14:27	15:00	S-K	S
15:00	16:20	S	S
16:20	16:30	K	K-E
16:30	16:50	S	S
16:50	17:05	K	S-K
17:05	17:17	S	S
17:17	17:31	S-K	S
17:31	17:50	S	S
17:50	19:00	QUITADO	QUITADO
19:00	19:31	S	S
19:31	19:42	K	S-K
19:42	19:48	S	S
19:48	19:51	K	K
19:51	19:57	K	S
19:57	20:17	S	S
20:17	20:20	S-K	S
20:20	20:25	S-K	S
20:25	20:32	K	S
20:32	20:34	S	S
20:34	21:42	K	S
21:42	21:48	S	S
21:48	21:51	S	S
21:51	22:20	K	S
22:20	23:21	S	S
23:21	23:35	K	K

23:35	0:05	S	S
0:05	10:33	QUITADO	QUITADO

SABADO 10 ENERO 2015 – SUJETO 1

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
10:33	10:46	S	S
10:46	10:58	S	S
10:58	11:17	K	S-K
11:17	12:01	S	S
12:01	12:03	K	S
12:03	12:27	S	S
12:27	12:31	K	S
12:31	12:35	S	S
12:35	12:45	K	S-K
12:45	13:07	S	S
13:07	13:24	K	S-K
13:24	15:00	S	S
15:00	15:20	K	S-K
15:20	15:36	S	S
15:36	16:00	K-E	K-E
16:00	16:48	S	S
16:48	16:58	K	S-K
16:58	17:45	S	S
17:45	18:06	K	K-E
18:06	18:28	S	S
18:28	18:56	K	S-K
18:56	19:01	S	S
19:01	19:14	K	S
19:14	19:47	S	S
19:47	19:55	K	S-K
19:55	20:04	S	S
20:04	21:49	K	S-K
21:49	FIN	QUITADO	QUITADO

Tabla 16. Diario y resultados del sujeto 1. Día 4

DOMINGO 11 ENERO 2015 – SUJETO 1

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
13:32	INICIO EXPERIMENTO	PUESTO	PUESTO
13:32	13:43	S-K	S-K
13:43	13:47	S	S
13:47	13:51	K	K
13:51	13:53	S	S-K
13:53	13:57	K	K
13:57	13:59	S	S
13:59	14:05	T	T
14:05	14:08	S	S
14:08	14:10	C	T
14:10	14:12	S	S
14:12	14:14	S	K
14:14	14:16	K	K
14:16	14:19	T	T
14:19	14:20	E-K	E-K
14:20	14:23	K	S
14:23	FIN EXPERIMENTO	QUITADO	QUITADO
17:12	17:18	K-T-C	K-T-C
17:18	17:35	K-T-C	K-T-C-E
17:35	17:51	K-T-C	K-T-C-E
17:51	17:56	S-K	S-K
17:56	18:04	S	S
18:04	18:12	K-T-C	K-T-E
18:12	18:30	K-T-C	K-T-E
18:30	FIN PARTIDO	QUITADO	QUITADO

Tabla 17. Diario y resultados del sujeto 2. Día 1

JUEVES 8 ENERO 2015 – SUJETO 2

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
14:00	14:13	S	S
14:13	14:16	K-S	S-K
14:16	14:17	E	K
14:17	14:45	S	S
14:45	15:03	K-S	S-K-E
15:03	16:20	S	S
16:20	16:25	K-S	E-K
16:25	16:43	S	S
16:43	16:52	K-S	K-E
16:52	17:32	S-K-T	C-K-E-T
17:32	17:57	K-S	S-K
17:57	18:04	S	S
18:04	18:17	K	S-K
18:17	18:41	QUITADO	QUITADO
18:41	18:43	K	S-K
18:43	20:56	S	S
20:56	21:09	S-K	S
21:09	21:40	S	S
21:40	22:06	S-K	S-K
22:06	22:12	S	S
22:12	22:41	K	S-K
22:41	0:03	S	S
0:03	11:39	QUITADO	QUITADO

Tabla 18. Diario y resultados del sujeto 2. Día 2

VIERNES 9 ENERO 2015 – SUJETO 2

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
11:39	12:02	S-K	S-K
12:02	12:08	K	K
12:08	13:44	S	S
13:44	14:00	K	S-K
14:00	14:10	S	S
14:10	14:15	K	S-K

14:15	14:22	S	S
14:22	15:01	S-K	S-K
15:01	16:38	S	S
16:38	16:49	S-K	S
16:49	17:25	S	S
17:25	19:01	QUITADO	QUITADO
19:01	19:42	K	S-K
19:42	19:48	S	S
19:48	19:51	K	K
19:51	19:57	S-K	S
19:57	20:10	S	S
20:10	20:26	S-K	K
20:26	20:47	S	S
20:47	20:51	K	K
20:51	21:15	S	S
21:15	21:46	K	S-K
21:46	0:00	S	S
0:00	0:11	K	S
0:11	1:06	S	S
1:06	1:15	K	K
1:15	1:26	S	S
1:26	1:32	K	S-K
1:32	10:33	QUITADO	QUITADO

Tabla 19. Diario y resultados del sujeto 2. Día 3

SABADO 10 ENERO 2015 – SUJETO 2

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
10:33	10:43	K	S
10:43	10:53	S	S
10:53	11:05	K	S-K
11:05	11:15	S	S
11:15	11:32	K	S-K
11:32	12:00	QUITADO	QUITADO
12:00	12:31	K	S
12:31	13:08	S	S
13:08	13:24	K-E	S-K
13:24	15:00	S	S
15:00	15:20	K	S-K
15:20	15:53	S	S

15:53	16:10	S-K	S-K
16:10	17:52	S	S
17:52	17:56	K	S-K
17:56	18:30	S	S
18:30	18:56	K	S-K
18:56	19:01	S	S
19:01	19:14	K	S
19:14	20:00	S	S
20:00	21:49	K	S-K
21:49	FIN	QUITADO	QUITADO

Tabla 20. Diario y resultados del sujeto 2. Día 4

DOMINGO 11 ENERO 2015 – SUJETO 2

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
13:32	INICIO EXPERIMENTO	PUESTO	PUESTO
13:32	13:43	S-K	S-K
13:43	13:47	S	S
13:47	13:51	K	K
13:51	13:53	S	S
13:53	13:57	K	K
13:57	13:59	S	S
13:59	14:05	T	T
14:05	14:08	S	S
14:08	14:10	C	C
14:10	14:12	S	S
14:12	14:14	S	S
14:14	14:16	K	K
14:16	14:19	T	T
14:19	14:20	E-K	E-K
14:20	14:23	K	S-K
14:23	FIN EXPERIMENTO	QUITADO	QUITADO

Tabla 21. Diario y resultados del sujeto 3. Día 1

JUEVES 8 ENERO 2015 – SUJETO 3

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
14:00	15:20	QUITADO	QUITADO
15:20	15:37	K	S-K
15:37	15:38	E	K
15:38	15:46	K	K
15:46	17:01	QUITADO	QUITADO
17:01	17:24	S	S
17:24	17:52	S	S
17:52	18:46	K	S-K
18:46	20:12	QUITADO	QUITADO
20:12	20:38	K	S-K
20:38	20:59	S-K	S
20:59	21:27	S	S
21:27	21:34	S-K	S
21:34	21:37	S	S
21:37	7:45	QUITADO	QUITADO

Tabla 22. Diario y resultados del sujeto 3. Día 2

VIERNES 9 ENERO 2015 – SUJETO 3

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
7:46	8:05	S	S
8:05	8:20	K	K
8:20	8:51	S	S
8:51	9:03	K	S-K
9:03	9:27	S	S
9:27	9:35	K	S-K
9:35	9:38	S	S
9:38	9:42	E	S
9:42	9:44	S	S
9:44	9:52	K	S-K
9:52	12:14	QUITADO	QUITADO
12:14	12:24	K	K
12:24	12:45	S	S
12:45	12:57	K	K

12:57	13:23	S	S
13:23	13:48	K	S-K
13:48	14:25	S	S
14:25	14:51	S	S
14:51	17:02	QUITADO	QUITADO
17:02	17:44	K	S-K
17:44	18:04	S	S
18:04	18:39	K	S-K
18:39	20:44	S	S
20:44	21:05	K	K
21:05	21:22	S	S
21:22	21:28	K	S-K
21:28	8:26	QUITADO	QUITADO

Tabla 23. Diario y resultados del sujeto 3. Día 3

SABADO 10 ENERO 2015 – SUJETO 3

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
8:26	8:34	S	S
8:34	9:00	K	S-K
9:00	9:27	S	S
9:27	9:48	K	S-K
9:48	10:21	S-K	S-K
10:21	10:25	S	S
10:25	10:44	QUITADO	QUITADO
10:44	11:11	S-K	S
11:11	11:16	S	S
11:16	11:41	QUITADO	QUITADO
11:41	11:56	K	K
11:56	12:17	S	S
12:17	12:28	K	K
12:28	12:45	S	S
12:45	13:07	S	S
13:07	13:25	K	S
13:25	15:27	S	S
15:27	15:46	K	S-K
15:46	16:35	S	S
16:35	16:50	K	S-K
16:50	18:14	S	S
18:14	18:49	S	S
18:49	19:14	S	S
19:14	19:35	K	K
19:35	20:00	S	S

20:00	20:26	K	K
20:26	21:15	S	S
21:15	21:22	S	S
21:22	FIN	QUITADO	QUITADO

Tabla 24. Diario y resultados del sujeto 4. Día 1

JUEVES 8 ENERO 2015 – SUJETO 4

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
14:00	14:20	S	S
14:20	14:32	S-K	S
14:32	14:38	S	S
14:38	15:06	S	S
15:06	15:17	S	S
15:17	15:46	S	S
15:46	15:52	S-K	S
15:52	16:15	S	S
16:15	16:36	S-K	S
16:36	16:39	K-E	K
16:39	17:32	K-T-C (TAEKWONDO)	K-T-E
17:32	18:06	S-K	S-K
18:06	18:20	S	S
18:20	19:03	QUITADO	QUITADO
19:03	20:18	S-K	S-K
20:18	20:52	S	S
20:52	8:49	QUITADO	QUITADO

Tabla 25. Diario y resultados del sujeto 4. Día 2

VIERNES 9 ENERO 2015 – SUJETO 4

HORA COMIENZO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	RESULTADO SISTEMA
8:49	11:18	S-K-E	S-K-E
11:18	12:36	S	S
12:36	12:57	S-K	S
12:57	13:14	S	S
13:14	13:22	S-K	S
13:22	13:41	S-K	S
13:41	13:58	S	S
13:58	14:08	S	S
14:08	14:25	S-K	S
14:25	14:57	S	S
14:57	15:10	S-K	S
15:10	15:50	S	S
15:50	16:00	S	S
16:00	17:00	BICI	S-K
17:00	17:23	S-K	S
17:23	17:37	S	S
17:37	18:07	QUITADO	QUITADO
18:07	18:28	S	S
18:28	18:59	S	S-K
18:59	20:00	K-T	K
20:00	21:08	S-K	S-K
21:08	FIN	QUITADO	QUITADO

Anexo II. Otros experimentos

En este segundo anexo se incluyen los dos experimentos que en el *Capítulo 5* de la memoria de este TFG, se denotaron como experimentos “extras”. El primero consistirá simplemente en la realización de los cinco patrones de AF por cinco sujetos. Dos de ellos son el sujeto 1 y 2 de la validación. El segundo experimento consistirá en la monitorización de cuatro de estos cinco sujetos durante el desarrollo de un partido de baloncesto. Para ambos casos se estudiarán los resultados que ha exportado el sistema implementado tras el análisis.

Antes de comenzar se muestra una tabla con las características de cada sujeto:

Tabla 26. Características sujetos experimentos adicionales

SUJETO	NÚMERO DISPOSITIVO	SEXO	EDAD	PESO (Kg)	ALTURA (Cm)
1	101	HOMBRE	22	69	173
2	148	MUJER	22	53	167
3	138	HOMBRE	22	72	183
4	107	HOMBRE	22	71	181
5	148	HOMBRE	22	75	174

EXPERIMENTO 1. EJECUCIÓN DE LOS PATRONES

Se somete a un conjunto de 5 sujetos a las 5 actividades que son objeto de detección del sistema, es decir: Sentado/Inactivo (2min), Caminar (2min), Escaleras (2min), Trotar (3min) y Correr (2min). Con esta prueba vamos a comprobar la bondad del sistema para terrenos y sujetos diferentes a los de los sujetos del sistema de entrenamiento.

Tabla 27. Resultados experimento adicional 1

	SUJETO 1	SUJETO 2	SUJETO 3	SUJETO 4	SUJETO 5
SENTADO/INACTIVO	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA
CAMINAR	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA
ESCALERAS	NO DETECTADA (CAMINAR)	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA
TROTAR	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA	DETECTADA
CORRER	NO DETECTADA (TROTAR)	DETECTADA	DETECTADA	NO DETECTADA (TROTAR)	DETECTADA

En la mayoría de los sujetos se han localizado casi todos los patrones. Como se ha comentado a lo largo de todo el proceso, presenta más dificultades la detección certera de Correr ya que en ocasiones (como ha ocurrido con los sujetos 1 y 4) ha detectado como si estuviesen trotando.

EXPERIMENTO 2. PARTIDO DE BALONCESTO

Los cuatros hombres (sujetos 1, 3, 4, 5) serán monitorizados con un acelerómetro GT3X cada uno mientras juegan un partido de baloncesto. Durante todo el partido se ha ido anotando quién jugaba cada periodo, de esta manera podremos ver si los resultados que arroja el sistema son ciertos ya que disponemos de los datos temporales de la actividad de cada sujeto. La siguiente tabla muestra los periodos en los que jugó cada sujeto:

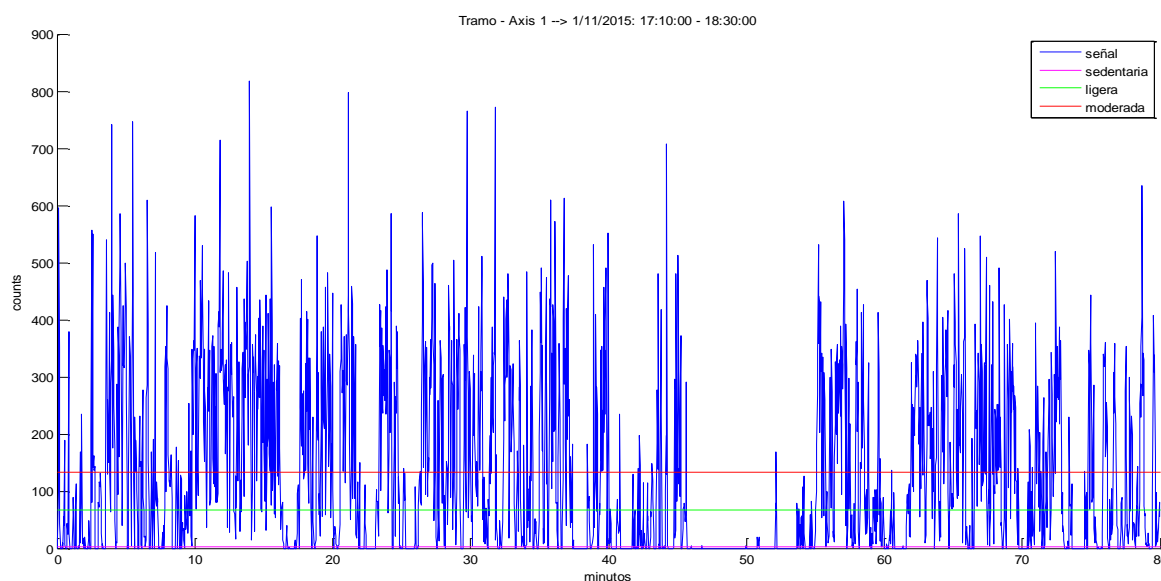
Tabla 28. Periodos jugados por cada sujeto

Sujeto	Calentamiento (17:10-17:18)	1er Cuarto (17:18-17:33)	2º Cuarto (17:33-17:50)	Descanso (17:50-17:56)	3er Cuarto (17:56-18:12)	4º Cuarto (18:12-18:30)
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓		✓	✓		✓
4	✓	✓	✓	✓		✓
5	✓		✓	✓	✓	

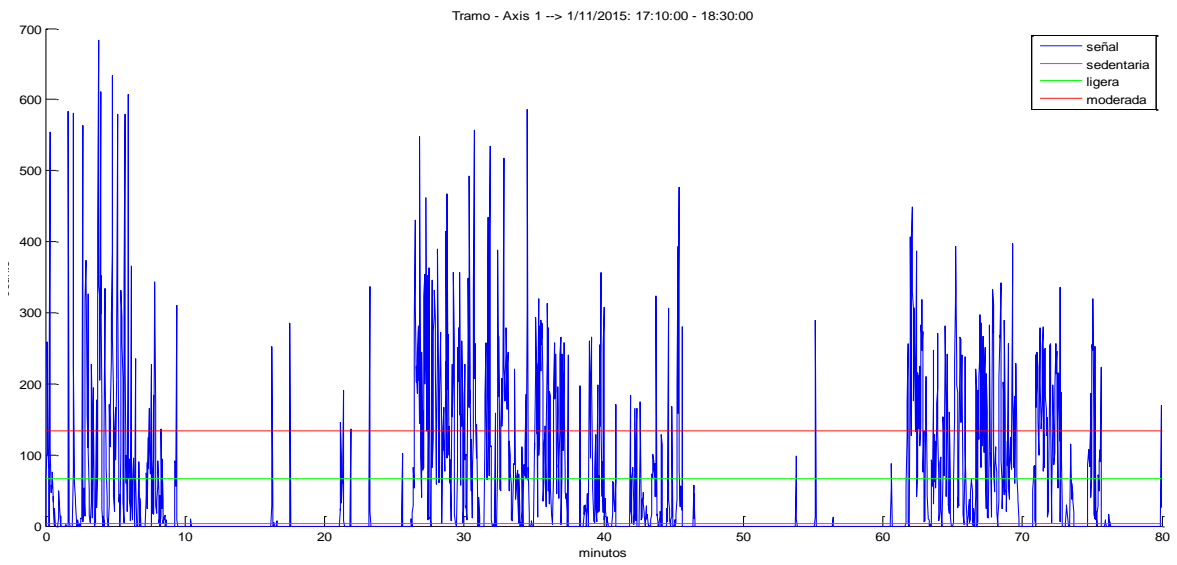
El sujeto número 1 es el que más tiempo ha disputado de partido, seguido de los sujetos 4 y 5, siendo el sujeto 3 el que menos tiempo ha disputado. Esta ordenación se podrá apreciar en las gráficas que se muestran a continuación.

Veamos para estos cuatro sujetos las gráficas de actividad en el tramo del partido (17:10h - 18:30h, incluyendo la monitorización de los calentamientos) para el eje vertical del acelerómetro y las distintas actividades detectadas en él:

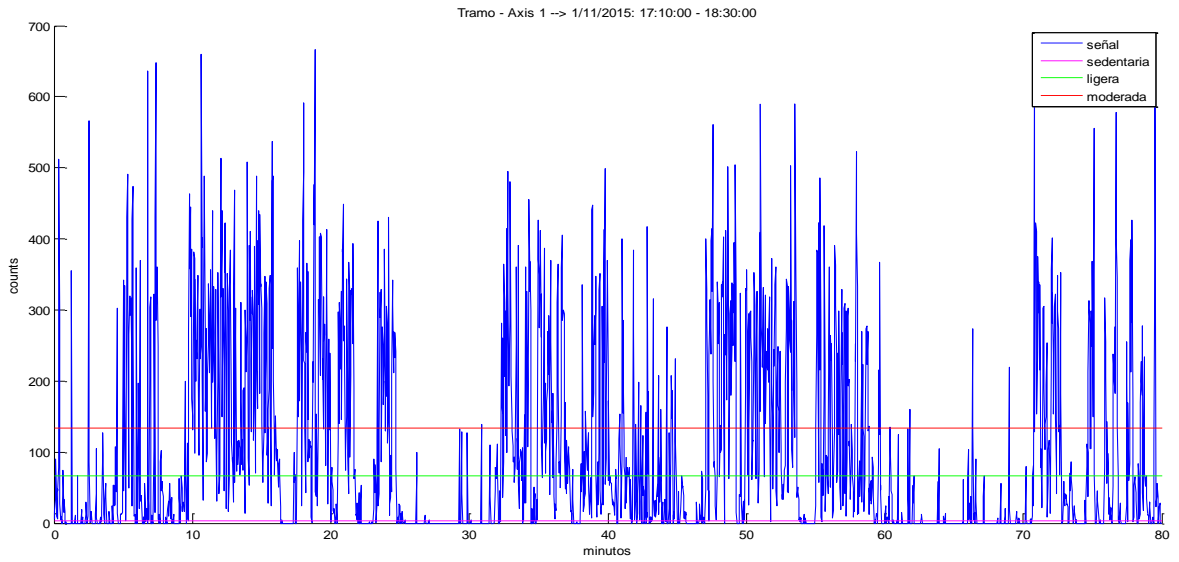
SUJETO 1:



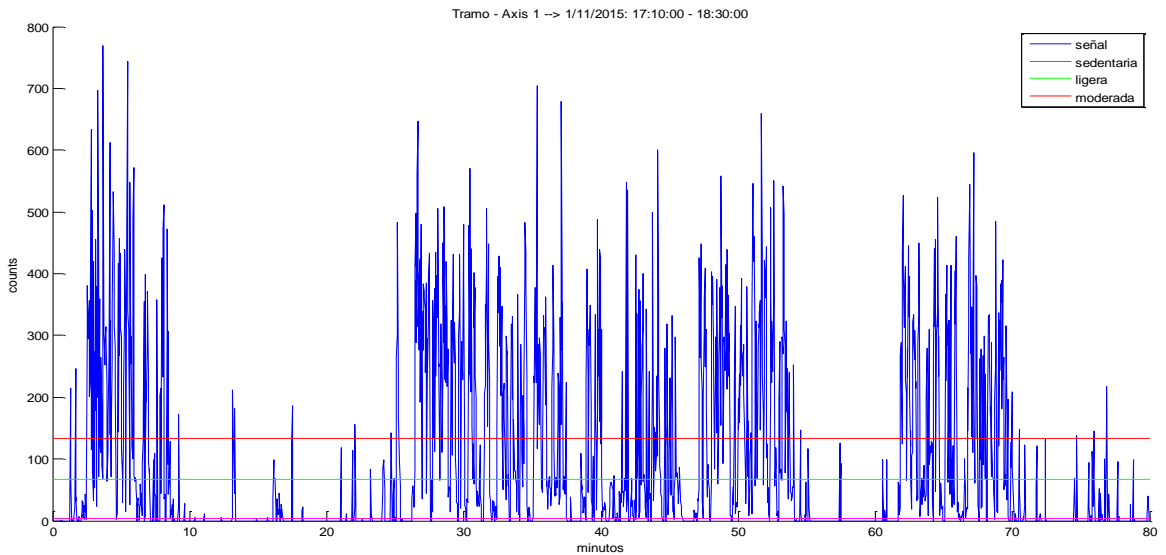
SUJETO 3:



SUJETO 4:



SUJETO 5:



Para todos los sujetos, en los tramos en los que participó activamente en el partido se han detectado las siguientes actividades: *Caminar*, *Trotar* y *Correr*. Se han detectado también *Escaleras* en tramos en los que aparecen muchos espurios o picos de alta actividad, es decir, tramos en los que no la actividad vigorosa que se está realizando presenta una gran variación. Además, en los tramos en los que el sujeto ha descansado, el sistema ha detectado que estaba *Sentado o Inactivo*.

Para comprobar si el sistema está realizando bien su función, a continuación se va a proceder a calcular algunos porcentajes sobre la cantidad de AF realizada. Se calcularán:

- ❖ Porcentaje de *actividad sedentaria* = nº de resultados de Inactividad sobre el total de resultados.
- ❖ Porcentaje de *actividad ligera-moderada* = nº de resultados de Caminar sobre el total de resultados.
- ❖ Porcentaje de *actividad moderada-vigorosa* = nº de resultados de Escaleras, Trotar y Correr sobre el total de resultados.

Podremos comprobar si los resultados obtenidos con estos porcentajes son coherentes comprobándolos con la tabla anterior en la que se mostraba la cantidad de tiempo que ha jugado cada individuo. Según lo indicado en esta tabla el orden de Porcentaje de Actividad Moderada-vigorosa que deberían seguir los sujetos es: S1>S4>S5>S3. En cambio, el orden de Porcentaje de Actividad Sedentaria sería en orden inverso: S1<S4<S5<S3.

Se procede al cálculo de estos porcentajes con la aplicación desarrollada en este TFG:

Tabla 29. Porcentajes de AF calculados para los sujetos

Sujeto	Porcentaje de Actividad Sedentaria	Porcentaje de Actividad Ligera-Moderada	Porcentaje de Actividad Moderada-vigorosa
1	12.82	33.33	53.85
3	53.83	25.64	20.53
4	30.77	25.64	43.59
5	37.50	20	42.50

Tras el análisis, podemos ver que los resultados cumplen la ordenación real de AF (Actividad Moderada-vigorosa S1>S4>S5>S3 y Actividad Sedentaria S1<S4<S5<S3) de estos sujetos, reafirmando de nuevo la validez de la aplicación para la detección de los distintos patrones de actividad básica y para el cálculo de los niveles de AF y complementando el *Capítulo 5* de esta memoria, *Validación*.

Anexo III. Tablas IMC

Se adjuntan las tablas empleadas para segmentar en tres clases: “*Infrapeso*”, “*Normal*” y “*Sobrepeso*” los datos del conjunto de alumnos que han sido empleados para el análisis en el *Capítulo 6*. Estas tablas marcan los rangos de IMC que clasifican en tres clases a los adolescentes en función a la edad y el sexo. [17].

Tabla 30. IMC Chicos

CHICOS			
Edad	Infrapeso	Normal	Sobrepeso
11.0	≤14,97	14,98-20,54	≥20,55
11.5	≤15,16	15,17-20,88	≥20,89
12.0	≤15,35	15,36-21,21	≥21,22
12.5	≤15,58	15,59-21,55	≥21,56
13.0	≤15,84	15,85-21,9	≥21,91
13.5	≤16,12	16,13-22,26	≥22,27
14.0	≤16,41	16,42-22,61	≥22,62
14.5	≤16,69	16,7-22,95	≥22,96
15.0	≤16,98	16,99-23,28	≥23,29
15.5	≤17,26	17,27-23,59	≥23,6
16.0	≤17,54	17,55-23,89	≥23,9
16.5	≤17,80	17,81-24,18	≥24,19
17.0	≤18,05	18,06-24,45	≥24,46
17.5	≤18,28	18,29-24,72	≥24,73
≥18.0	≤18,50	18,51-24,99	≥25

Tabla 31. IMC Chicas

CHICAS			
Edad	Infrapeso	Normal	Sobrepeso
11.0	≤15,05	15,06-20,73	≥20,74
11.5	≤15,32	15,33-21,19	≥21,2
12.0	≤15,62	15,63-21,67	≥21,68
12.5	≤15,93	15,94-22,13	≥22,14
13.0	≤16,26	16,27-22,57	≥22,58
13.5	≤16,57	16,58-22,97	≥22,98
14.0	≤16,88	16,89-23,33	≥23,34
14.5	≤17,18	17,19-23,65	≥23,66
15.0	≤17,45	17,46-23,93	≥23,94
15.5	≤17,69	17,7-24,16	≥24,17
16.0	≤17,91	17,92-24,36	≥24,37
16.5	≤18,09	18,1-24,53	≥24,54
17.0	≤18,25	18,26-24,69	≥24,7
17.5	≤18,38	18,39-24,84	≥24,85
≥18.0	≤18,50	18,51-24,99	≥25

Anexo IV. Comparación por sexos

Como se apuntó al final del *Capítulo 4*, en este anexo se va a probar la funcionalidad del sistema añadiendo un parámetro de análisis, el sexo del individuo bajo estudio.

En primer lugar se dividirá el sistema de entrenamiento en dos subsistemas de entrenamiento, creando una BBDD para hombres y otra para mujeres. Una vez creadas, y conocido el sexo del sujeto que se está analizando, bastará con realizar las comparaciones con el SE de su mismo sexo, es decir, estaremos comparando hombres con archivos de hombres y mujeres con archivos de mujeres. Veremos, comparándolo con los resultados obtenidos usando el SE de ambos sexos (comparando con todos los ficheros independientemente del sexo), si surge alguna mejora general que sea destacable o alguna mejora actividad en concreto.

Se recuerda que el SE dispone de cinco archivos de hombres y cinco archivos de mujeres. Por tanto, las BBDD con las que compararemos (SE hombres y SE mujeres) serán pequeñas, de cinco archivos cada una.

Se ha probado a comparar todos los posibles casos, comparando los hombres con todo lo demás: primero contra ellos mismos, después contra las mujeres y por último contra todos los archivos del SE. Ídem para las mujeres. Los resultados se muestran a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 32. Comparación entre Hombres

HOMBRES VS HOMBRES

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
2	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
3	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
4	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO
5	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
PRECISIÓN	100 %	100 %	100 %	80 %	40 %

Tabla 33. Comparación entre Mujeres

MUJERES VS MUJERES

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO
2	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
3	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
4	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
5	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
PRECISIÓN	100 %	100 %	60 %	80 %	100 %

Tabla 34. Comparación entre Hombres y Mujeres

HOMBRES VS MUJERES

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
2	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
3	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
4	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ERROR
5	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
PRECISIÓN	100 %	100 %	80 %	100 %	20 %

Tabla 35. Comparación entre Mujeres y Hombres

MUJERES VS HOMBRES

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO
2	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
3	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO
4	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
5	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
PRECISIÓN	100 %	100 %	80 %	60 %	100 %

Tras lanzar las comparaciones probando todas las combinaciones de sexo se puede observar alguna leve mejoría en actividades como *Correr*, en las que al comparar con sujetos del mismo sexo mejora la detección. *No obstante, los resultados no son concluyentes.*

En trabajos futuros, el sexo podría utilizarse en caso de empate del cálculo de las distancias para determinar la actividad más probable en función al mismo.

Por último se procede a comparar, como se comentó anteriormente en este anexo, los archivos de cada sexo con todo el conjunto de SE (denotado como “*Todos*”).

Tabla 36. Comparación entre Hombres y Todos

HOMBRES VS TODOS

SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
2	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
3	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
4	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
5	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR
PRECISIÓN	100 %	100 %	100 %	100 %	20 %

Tabla 37. Comparación entre Mujeres y Todos

MUJERES VS TODOS					
SUJETO	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
1	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO
2	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ACIERTO	ACIERTO
3	ACIERTO	ACIERTO	ERROR	ERROR	ACIERTO
4	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
5	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO	ACIERTO
PRECISIÓN	100 %	100 %	60 %	60 %	100 %

Aparentemente en los hombres resulta más difícil la detección de *Correr*. En cambio, en las mujeres ha resultado acertar en esta actividad para todos sus casos, independientemente de si las estábamos comparando con mujeres, hombres o con todos los archivos. Para ellas resulta más difícil la diferenciación de actividades como *Trotar* y *Correr*.

La media de los porcentajes de precisión de “Hombres VS Todos” y “Mujeres VS Todos” nos retorna al resultado final obtenido en el *Capítulo 4.9 (Tabla 38. Resultados análisis del SE - Con Decisor de Ejes)* que sería la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	SENTADO/INACTIVO	CAMINAR	ESCALERAS	TROTAR	CORRER
PRECISIÓN	100 %	100 %	80 %	80 %	60 %

Es importante recordar que todas estas comparaciones se han realizado eliminando de la BBDD el archivo que estábamos usando como Test. Es decir, si estamos analizando el archivo del sujeto 1, este archivo será eliminado del SE previamente a comenzar las comparaciones con este sistema y así no se producirán falsos resultados.