



# Dispositivo monitor de personas dependientes

**César López Bermúdez**  
Grado en tecnologías de telecomunicaciones  
Sistemas embebidos

**Jordi Bécares Ferrés**  
**Pere Tuset Peiró**

15 de enero de 2017

© César López Bermúdez

**Reservats tots els drets. Està prohibit la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol mitjà o procediment, compresos la impressió, la reprografia, el microfilm, el tractament informàtic o qualsevol altre sistema, així com la distribució d'exemplars mitjançant lloguer i préstec, sense l'autorització escrita de l'autor o dels límits que autoritzi la Llei de Propietat Intel·lectual.**

## FICHA DEL TRABAJO FINAL

<b>Título del trabajo:</b>	<i>Dispositivo monitor de personas dependientes</i>
<b>Nombre del autor:</b>	<i>César López Bermúdez</i>
<b>Nombre del consultor/la:</b>	<i>Jordi Bécares Ferrés</i>
<b>Nombre del PRA:</b>	<i>Pere Tuset Peiró</i>
<b>Fecha de entrega (mm/aaaa):</b>	<i>01/2017</i>
<b>Titulación o programa:</b>	<i>Grado en tecnologías de telecomunicaciones</i>
<b>Area del trabajo final:</b>	<i>Sistemas empotrados</i>
<b>Idioma del trabajo:</b>	<i>Castellano</i>
<b>Palabras clave</b>	<i>LPC1769, empotrado, FreeRTOS</i>
<b>Resumen:</b>	
<p>La migración de la población activa hacia las grandes ciudades viene generando un incremento del número de personas mayores de 65 años que viven solas en zonas rurales, bajo condiciones de aislamiento y soledad.</p> <p>Un caso particular que constituye un fiel reflejo y en mayor grado de esta situación es Galicia. En los últimos años vienen documentándose, con repercusión en medios de prensa nacionales y regionales, extravíos de personas de edad media y avanzada en zonas montañosas de la comunidad. A esto se unen los efectos que padece la población rural de mayor edad y solitaria, fruto del aislamiento respecto a servicios tan elementales como el sanitario con graves efectos sobre las personas que en ocasiones concluyen en desenlace fatal.</p> <p>Este proyecto propone un sistema integral que resuelva el problema de errantes mediante geoposicionamiento, y deficiencias en la provisión asistencial mediante sensorización tanto monitora como preventiva, además de generar alarmas en situaciones críticas. El proyecto desarrolla, una prueba de concepto o PoC limitada del sistema propuesto, implementando funcionalidades restringidas al uso del dispositivo en el interior de la vivienda del usuario.</p> <p>El proyecto se desarrolla siguiendo el esquema análisis-formación-desarrollo, analizando las alternativas existentes y seleccionando la tecnología más adecuada para finalmente desarrollar el sistema.</p>	

Del desarrollo del proyecto se obtiene un prototipo que prueba la viabilidad técnica del dispositivo propuesto a partir del cual se analiza desde una perspectiva técnica y económica la posible continuación del desarrollo más allá del alcance del este proyecto hasta obtener el sistema completo.

**Abstract:**

The movement of the active population to large cities has led to an increase in the number of people over 65 living alone in rural areas, under conditions of isolation and loneliness.

A particular case that constitutes a faithful reflection of this situation is Galicia. During last years, the elderly lost in mountainous areas has been documented, with repercussions in national and regional media. The problem gets worse by the effects of the elderly and lonely rural population, as a result of isolation from services as basic as the sanitary with serious effects on people who sometimes end up in fatal outcome.

This project proposes an integral system that solves the problem of errant by using of geolocation, and deficiencies in the provision of care by means of both monitoring and preventive sensors, besides generating alarms in critical situations.

The project develops a proof of concept or limited PoC of the proposed system, implementing functionalities restricted to the use of the device inside the user's home.

The project is developed following the analysis-training-development scheme, analyzing the existing alternatives and selecting the most appropriate technology to develop the system.

The development gives a prototype as a product that proves the technical viability of the proposed device. Finally it is analyzed from a technical and economic perspective to check the possible continuation of the development beyond the scope of this project until a the complete system achievement.

# Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Contextualización del problema.....	1
1.2. Descripción del sistema.....	9
1.3. Descripción del alcance del trabajo de fin de grado.....	12
1.4. Objetivos del proyecto.....	14
1.5. Metodología del desarrollo.....	15
1.6. Planificación y plan de riesgos.....	16
1.7. Recursos y herramientas utilizadas.....	19
1.8. Productos y resultados esperados.....	21
1.9. Próximos capítulos.....	22
2. Análisis previos al desarrollo .....	22
2.1. Estado actual de la tecnología.....	22
2.2. Alternativas existentes en el mercado.....	25
3. DMP desde una perspectiva funcional.....	28
3.1. Nodo central gestor (NCG).....	29
3.2. Descripción funcional del DMP.....	31
4. Descripción técnica del DMP.....	32
4.1. DMP desde perspectiva hardware.....	32
4.2. DMP desde perspectiva software.....	46
5. Viabilidad técnica.....	53
6. Análisis y valoración de costes.....	54
7. Trabajo futuro y continuación desarrollo.....	55
8. Conclusiones finales.....	57
9. Glosario.....	58
10. Bibliografía.....	59

## Lista de figuras

Figura 1. Esquema del sistema completo.....	11
Figura 2: Esquema del DMP indoor.....	12
Figura 3: Funcionamiento del DMP modo indoor.....	13
Figura 4: Esquema de desarrollo.....	15
Figura 5: Planificación temporal inicial.....	17
Figura 6: Placa protoboard.....	20
Figura 7: Cables de prototipado.....	21
Figura 8: Placa Arduino UNO.....	23
Figura 9: DMP y NCG implementados.....	29
Figura 10: Implementación del NCG.....	30
Figura 11: Diagrama de capas del DMP.....	32
Figura 12: Esquema eléctrico del DMP.....	36
Figura 13: Placa evaluación OM13085, LPC1769.....	37
Figura 14: Diagrama de bloques del LPC1769 .....	38
Figura 15: Acelerómetro MMA7361 .....	39
Figura 16: Sensor TMP36 y esquema del encapsulado.....	40
Figura 17: Temperatura frente a tensión de salida.....	41
Figura 18: Pulsador interruptor.....	41
Figura 19: Montaje del pulsador en protoboard.....	42
Figura 20: Montaje del LED.....	42
Figura 21: Placa de evaluación del AD8232.....	43
Figura 22: Esquema del AD8382.....	43
Figura 23: Ubicación de los parches sensores.....	44
Figura 24: Módulo Wifly RN-XV.....	44
Figura 25: Módulo Xbee.....	45
Figura 26: Módulo CP2102 USB-UART.....	46
Figura 27: Esquema de software.....	47
Figura 28: Esquema de aplicación software.....	47
Figura 29: Sensor de humo y gas MQ-2.....	56

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Correlación envejecimiento-densidad de población en Galicia (año 2014).....	2
Gráfico 2: Personas dependientes por grado de dependencia y edad en Galicia(2011).....	3
Gráfico 3: Hogar según la persona principal con edad de 65 o más. Galicia(año 2014).....	4
Gráfico 4: Edad media hogares unipersonales por tamaño de municipio.....	5
Gráfico 5: Hogares con mayores 65 años por tamaño de municipio.....	5
Gráfico 6: Nº personas de 16 o más según medio de transporte y tamaño de municipio.....	6
Gráfico 7: Motivo de la inaccesibilidad a la asistencia médica en España y no la recibida .....	7
Gráfico 8: Tiempo entre el inicio de la sintomatología y la petición de asistencia.....	8

## Lista de Tablas

Tabla 1: Hogares con todos los miembros de 65 o más en Galicia (año 2014).....	4
Tabla 2: Planificación de riesgos.....	18
Tabla 3. Coste económico del prototipo PoC DMP.....	54



## **1. Introducción.**

### **1.1. Contextualización del problema**

El progresivo envejecimiento de la población española y los movimientos migratorios de la población activa y joven hacia las grandes ciudades motivados por el propio mercado laboral y mayor oferta de servicios, genera despoblación en las zonas rurales y un incremento del número de personas mayores de 65 años que viven solas.

Esta situación adquiere un grado superior en aquellas Comunidades Autónomas cuyo modelo productivo está mayoritariamente orientado al sector primario y cuya orografía comprende grandes extensiones de montaña.

Un caso particular que constituye un fiel reflejo de esta situación es Galicia, cuya población en las zonas rurales se atomiza en un gran número de pequeños pueblos disgregados en grandes extensiones de terreno montañoso y de condiciones climáticas duras en las estaciones invernales. A esto se une la difícil comunicación con poblaciones mayor entidad debido a las precarias vías de comunicación terrestre existentes, que en algunos casos datan del siglo XIX y permanecen en la misma situación desde entonces incluso sin asfalto, complicando el acceso a servicios tan elementales como la atención sanitaria más elemental.

A lo largo de la última década, la despoblación en el rural gallego es cada vez mayor, de modo que las familias se disgregan hacia las grandes ciudades permaneciendo en la montaña las generaciones más mayores. Esta situación genera riesgo para las personas de edad avanzada que viven solas que se materializan en extravíos por desorientación de frecuencia demasiado elevada y con fatal desenlace en algunos casos [VOZ1][VOZ3].

Galicia es de las comunidades más envejecidas del país. Las últimas estadísticas confirman la crisis demográfica que se va agravando año tras año. A lo largo de este capítulo se representará esta realidad y su problemática mediante gráficas de elaboración propia sobre los datos obtenidos del Instituto Galego de Estadística, IGE, y del Instituto Nacional de Estadística, INE.

Según datos publicados por el IGE en el año 2014, el índice de envejecimiento se situó en 149,3% [IGE1] lo que significa que por cada 100 personas menores de 20 años hay 149 de 65 años o más. En el gráfico 1 [IGE1] se constata que esta tendencia del

envejecimiento de la población — calculado como la relación entre la población mayor de 64 años y la población menor de 20 años expresada en %; es decir, el número de personas de 65 años o más por cada 100 menores de 20 años — es inversamente proporcional a la densidad — medido como el cociente de la población de un territorio y su extensión superficial; es decir, el número de habitantes por cada Km<sup>2</sup> de superficie —. Las zonas más envejecidas son las zonas menos pobladas (véase que hay municipios que llegan a superar los 1000 habitantes de 65 años o más por cada 100 personas menores de 20 años).

En el gráfico 1 [IGE2] se han representado todos los municipios de Galicia pero del análisis de datos inicial se han eliminado del muestreo 4 ciudades con una densidad de la población superior a 1000 y que no interfieren en el resultado que se pretende exponer en el presente estudio. Las ciudades que no están representadas en el gráfico son: Vigo, A Coruña, Burela y Ourense

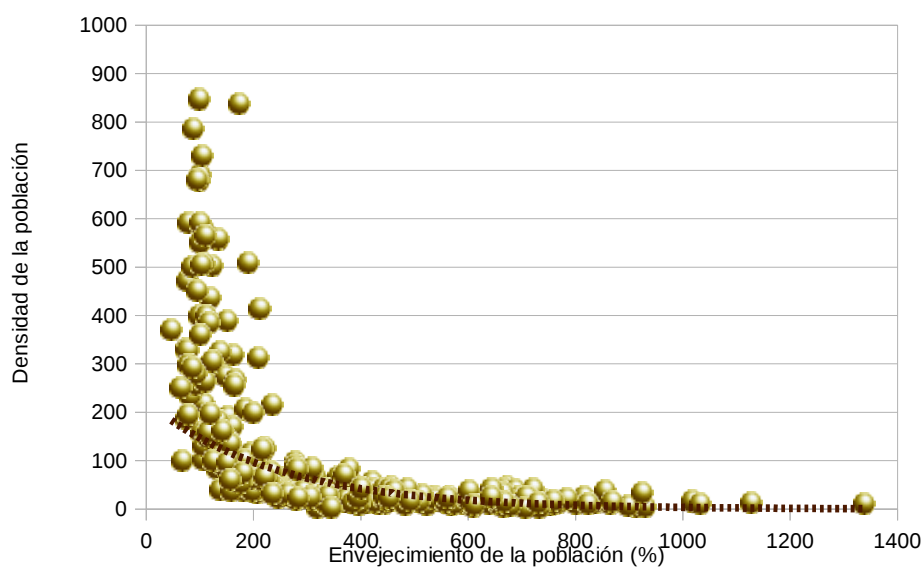


Gráfico 1: Correlación envejecimiento-densidad de población en Galicia (año 2014)

La tendencia vegetativa negativa gallega y el acusado envejecimiento poblacional constituyen desafíos cruciales que se vienen produciendo desde hace tiempo en la comunidad. Además del gasto público, la ralentización del crecimiento, la pérdida de capital humano, los mayores desajustes entre prestaciones y cotizaciones a la seguridad social, entre otros factores, se suma el mayor grado de dependencia — entendido en este caso como el grado de apoyo que necesita la persona dependiente

en cada una de las actividades básicas de la vida diaria— En el gráfico 2 [IGE1] se puede apreciar un reflejo de esta situación.

Mantener la autonomía y la independencia a medida que se va envejeciendo debe ser uno de los objetivos tanto para los propios individuos como para los responsables políticos. En el marco de revisión de los pilares de la seguridad social se debe considerar el marco del envejecimiento activo — la Organización Mundial de la Salud define el envejecimiento activo como el proceso en que se optimizan las oportunidades de salud, participación y seguridad a fin de mejorar la calidad de vida de las personas a medida que envejecen. El envejecimiento activo permite que las personas realicen su potencial de bienestar físico, social y se centra en las personas mayores y en la importancia de dar una imagen pública positiva de este colectivo — como campo de acción para las políticas aplicadas por un gobierno en aras de conseguir una menor dependencia de las personas mayores. En este sentido se necesitará, entre otras, mejorar la eficiencia de los servicios sanitarios para la dependencia.

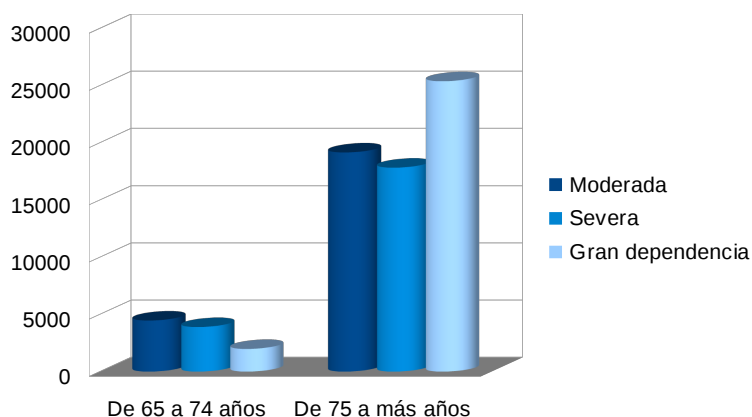


Gráfico 2: Personas dependientes por grado de dependencia y edad en Galicia(2011)

En el gráfico 3 [IGE2] se da un paso más adelante y se analiza la tipología de los hogares gallegos según la persona principal, tomando como datos solamente el rango de edad de 65 años o más, y sorprende el dato que casi un 40% son hogares unipersonales y casi un 38% lo constituyen parejas sin hijos. Los casos de personas mayores viviendo solas es general en toda España pero en Galicia, donde el envejecimiento de la población es tan alto, el fenómeno es más acuciante. Los hijos se van de casa al tiempo que la esperanza de vida aumenta y esto conlleva a que los padres se queden solos en casa durante más tiempo. Las personas de 65 años o más que viven solas, representados en la tabla 1 [IGE2], deben afrontar varios desafíos

entre los que se pueden destacar la soledad, el aislamiento y en muchos casos la falta de apoyos socio-afectivos.

A Coruña	Lugo	Orense	Pontevedra
142564	50991	56639	103689

Tabla 1: Hogares con todos los miembros de 65 o más en Galicia (año 2014)

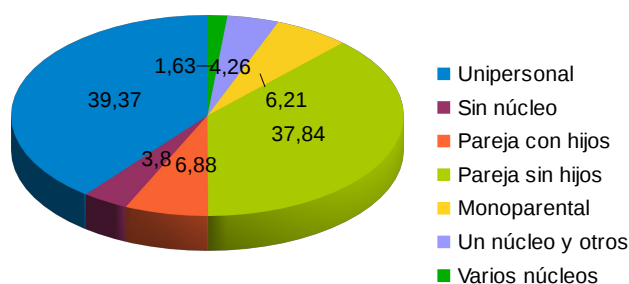


Gráfico 3: Hogar según la persona principal con edad de 65 o más. Galicia(año 2014)

Las diferencias en la distribución de los hogares unipersonales según el tamaño del municipio están condicionadas, en parte, por la estructura por edad de la población. Las personas de 65 años o más que viven solas tienen mayor representación en los municipios más pequeños (de menos de 10.000 habitantes). En el gráfico 4 [IGE2] se estandariza la edad media de los hogares unipersonales según el tamaño del municipio y se observa la propensión de los hogares unipersonales con una mayor media de edad en los municipios más pequeños —69,23 frente a los 60,29 de los municipios de más de 50.000 habitantes—. Por otro lado, en el gráfico 5 [IGE2] se manifiesta el mayor número de hogares compuestos por personas de 65 años o más en los municipios más pequeños. Esto demuestra dos caras de la misma moneda: por un lado el envejecimiento y por otro su vertiente rural. La localización de los “solitarios” en zonas menos pobladas y rurales presenta una fuerte correlación en este modelo de estructura envejecida que representan muchos municipios de la comunidad de Galicia (sobre todo de las provincias de Lugo y Ourense).

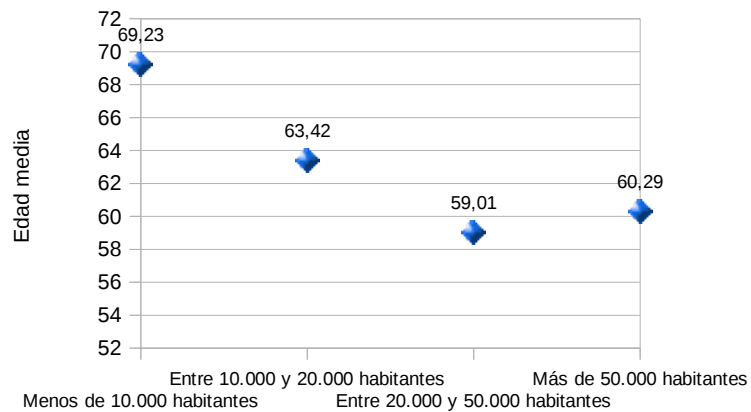


Gráfico 4: Edad media hogares unipersonales por tamaño de municipio. Galicia (2014)

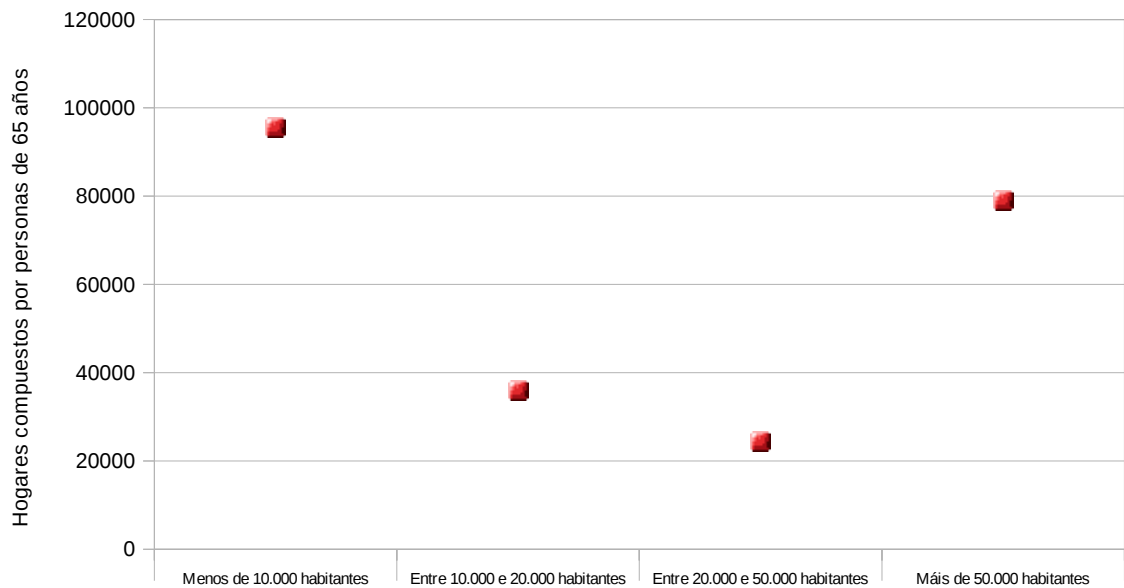


Gráfico 5: Hogares con mayores 65 años por tamaño de municipio. Galicia (2014)

Vistos estos datos se observa que Galicia se debe enfrentar en la actualidad, por un lado, al declive demográfico y al envejecimiento de su población —agravado por una fuerte emigración de personas jóvenes— y por otro al escenario heterogéneo y complejo derivado del elevado grado de fragmentación municipal y la dispersión de los núcleos de población.

Uno de los principales problemas que surgen en los municipios más alejados y rurales es la peor accesibilidad a los servicios básicos. En vistas a analizar las posibles causas de la inaccesibilidad a estos servicios se toma como variable el medio de transporte que utilizan las personas mayores de 16 años para gestiones familiares; entendiendo que las personas que se desplazan caminando o en transporte público están relativamente cerca de los principales centros de servicios. Sin embargo, las personas que tienen que desplazarse en transporte privado es principalmente debido a la lejanía o a la imposibilidad de utilizar el transporte público (suele afectar a los núcleos rurales). En el gráfico 6 [IGE3] se constata que los municipios más pequeños son los que más se mueven en transporte privado: 584.792 en los municipios de menos de 10.000 habitantes frente a los 261.113 que lo hacen en los municipios de entre 20.000 y 50.000 habitantes. El hecho de tener que desplazarse en transporte privado en los municipios más pequeños está directamente relacionado con la lejanía a los principales centros de servicios. Como se ha ido constatando a lo largo de este estudio son precisamente estos municipios más pequeños donde se produce un mayor envejecimiento de la población y donde la densidad es menor. Se recalca de nuevo el aspecto del envejecimiento ya que en muchos de los casos son personas que ya no pueden conducir por edad o por condiciones de salud; lo que lleva a que tengan que depender de otra persona para poder desplazarse.

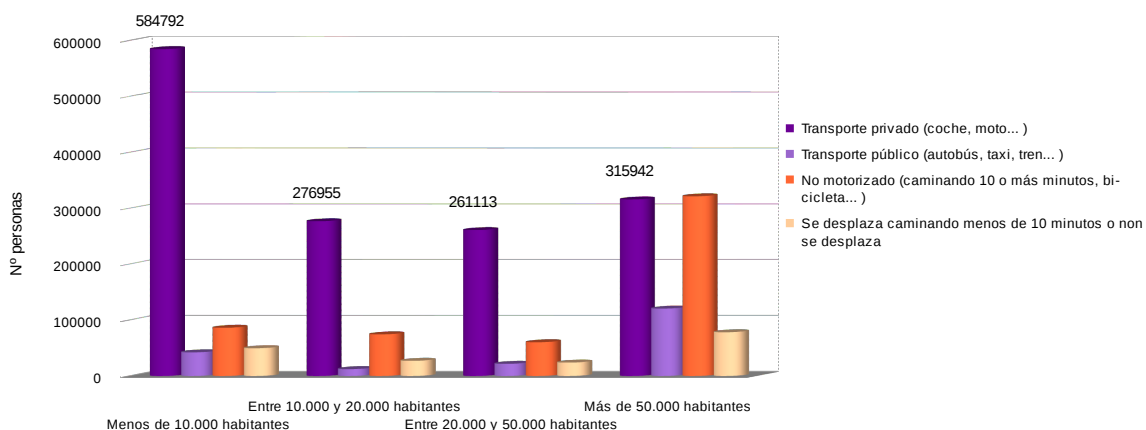


Gráfico 6: Nº personas de 16 o más según medio de transporte y tamaño de municipio.

El hecho de que el envejecimiento se agrave en las zonas menos densas y aisladas trae como consecuencia inmediata nuevos retos en el campo de la Sanidad. En el gráfico 7 [INE2] se analizan los motivos de la inaccesibilidad a la asistencia médica y sorprende el hecho de que uno de ellos sea precisamente la lejanía (medido en el gráfico como “demasiado lejos para viajar, sin medios de transporte”). A pesar de que el dato se refiere al total de España se puede extrapolar al caso concreto de Galicia. Son muchos los municipios gallegos donde el envejecimiento de su población es el denominador común de las zonas rurales y menos pobladas; hecho que coincide también en muchos casos con el aislamiento y la mayor inaccesibilidad cuando se requieren los servicios sanitarios de urgencias.

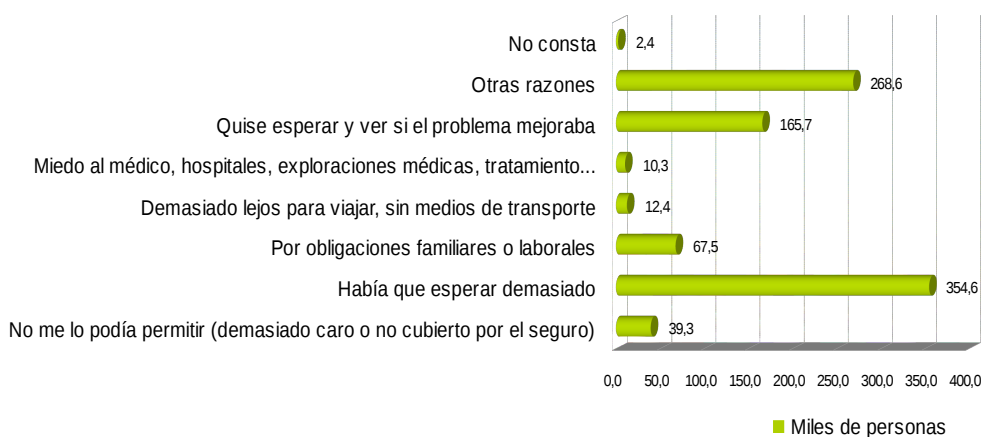


Gráfico 7: Motivo de la inaccesibilidad a la asistencia médica en los últimos 12 meses en España y no la recibió (medido en miles de personas)

En base a la Encuesta Nacional de Salud del 2006 se pueden observar los tiempos entre el inicio de la sintomatología y la petición de asistencia urgente. En el gráfico 8 [INE2] se expone el caso concreto de Galicia y sorprende el hecho de que el 41,45% de las personas que utilizaron los servicios de urgencias tardaron más de 1 día en solicitar la asistencia médica. En personas mayores con problemas de salud, ya sean dificultades auditivas, de visión u otros, es más fácil que pasen desapercibidos nuevos síntomas de enfermedades o empeoramientos de síntomas previos y en muchos de los casos ese tiempo puede ser clave para salvar vidas. Según datos del INE del

rango de personas de 65 años y más son 674,7[INE1] mil personas (en toda España) las que tardan más de un día en solicitar la asistencia urgente mientras que el tiempo de prestación efectiva de asistencia puede llegar (para este mismo rango de edad) a 3 o más horas para 263,3 mil personas.

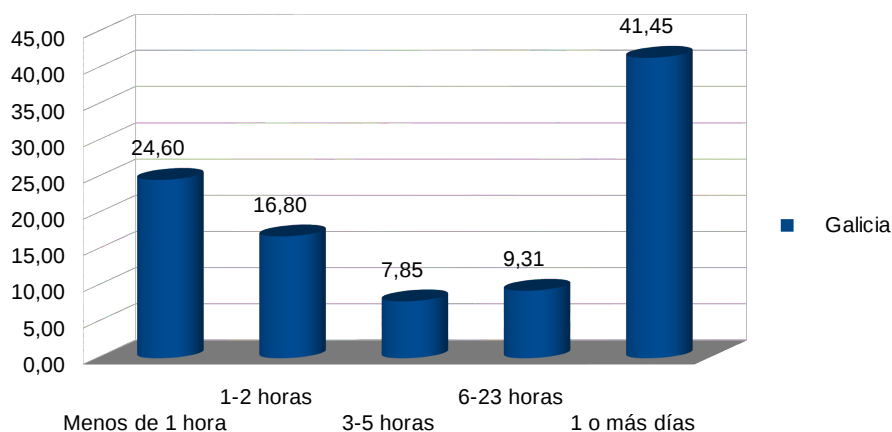


Gráfico 8: Tiempo entre el inicio de la sintomatología y la petición de asistencia

En este contexto socio-demográfico y territorial se enmarca la presentación de este sistema: una población envejecida unida al aislamiento geográfico y a la inaccesibilidad a los servicios sanitarios de urgencia. En muchos de los casos el contacto con los servicios de salud sólo se realiza a través de la demanda de los servicios de urgencias y en algunos casos, por varios factores, este contacto puede tardar mucho en hacerse suponiendo un problema serio para la salud.

Es una reclamación frecuente de la población rural reflejada en los medios de prensa, la dotación a los pequeños ayuntamientos de sistemas de teleasistencia que incrementen la seguridad para personas susceptibles al riesgo de extravío. Como causas generadoras de estas situaciones, además de desorientación temporal [PRG1] [PRG2] o accidente se une la posibilidad de principios de demencia, con frecuencia alzheimer [ABC1], aún no diagnosticados que pueden derivar en comportamientos erráticos con fatal desenlace.

Características propias de las áreas montañosas gallegas como la incomunicación, aislamiento, grandes extensiones de terreno sin población, dura climatología unidas a la falta de servicios de atención sanitarios o de asistencia capaces de cubrir tales



extensiones de terreno hacen que resulte prácticamente hallar a una persona extraviada que no sea capaz de orientarse para regresar a su domicilio.

De esta situación generada por fenómenos demográficos surge la necesidad de un sistema de carácter preventivo capaz de garantizar la localización inmediata de la persona en caso de que esta se extravíe. Además dada la edad del público objetivo del sistema que en gran número de casos padece algún tipo de menoscabo en su salud, se vuelve indicado la monitorización de algunas variables vitales.

Existen iniciativas para combatir esta situación de aislamiento tales como el servicio de teleasistencia de la Cruz Roja[CRZ] que consiste en un pulsador que efectúa una llamada a un nodo central de comunicaciones aunque se limita a servicios intradomicilio con lo que no da respuesta los casos de extravío. Existen otras iniciativas como LifeSeeker [VOZ2] desarrollado por empresas gallegas para localización de desaparecidos en la montaña aunque no tiene carácter preventivo y exige que la persona extraviada porte un teléfono móvil encendido mientras es buscado tal y como se comentará en el apartado 2.2.

El presente trabajo de fin de grado pretende analizar la viabilidad técnica y económica de un sistema capaz de proporcionar una solución a los casos de extravío manteniendo constantemente geolocalizado al usuario y monitorizando su situación de modo que se garantice su seguridad en caso de desorientación o incluso pérdida de consciencia.

## **1.2. Descripción del sistema**

El sistema global consiste en un sistema embebido denominado Dispositivo monitor de personas(DMP), tratando de minimizar su coste económico, enlazado de forma inalámbrica bien mediante señal Wifi bien mediante GSM con un nodo central gestor o NCG capaz de monitorizar personas pertenecientes al público objetivo del proyecto mediante la adquisición y tratamiento de los datos muestreados a través de los diferentes biosensores. Dicha sensorización está formada por un pulsómetro, acelerómetro y un termómetro que generarán alarmas en caso de situación crítica del usuario.

El sistema embebido dispondrá de dos modos de operación fundamentales y uno intermedio o híbrido que basará el geoposicionamiento del usuario mediante redes WIFI y la comunicación con el nodo central mediante GSM:

*Modo indoor:* Se encontrará en este modo cuando se halle bajo cobertura de la señal wifi del domicilio. En este estado se monitorizarán los datos proporcionados por los diferentes sensores generando alertas en caso de situación grave detectada tal como ausencia de pulso, cuerpo inmovilizado durante excesivo tiempo, desvanecimiento y/o caída al suelo detectada por acelerómetro o pulsación de un botón del pánico por parte del usuario. Las alertas se enviarán vía WIFI al nodo central.

*Modo híbrido:* El sistema pasará a este modo cuando el usuario abandone el domicilio temporalmente pero no abandone el edificio. En este caso cualquier alerta que se genere se enviará via GSM. Este modo de operación pretende cubrir las situaciones en las que el usuario abandone su domicilio però no se mantenga próximo a él, de modo que se en estas situaciones no se emplee el módulo GPS con el consiguiente ahorro de batería.

*Modo outdoor:* El sistema evolucionará a este modo cuando el usuario se aleje considerablemente de su domicilio. En este modo el sistema gestionará un módulo GPS y un módulo GSM para enviar las coordenadas del individuo al nodo central. En este modo se vuelve fundamental realizar un estudio de eficiencia energética, consumo y durabilidad de las baterías a fin de determinar el funcionamiento exacto del mismo siendo plausible la necesidad de activar el módulo GPS y el GSM en “ventanas o slices temporales” para permitir tanto el envío de alertas desde el sistema embebido como interrogaciones u órdenes desde el central.

En la se muestra el esquema funcional del sistema global.

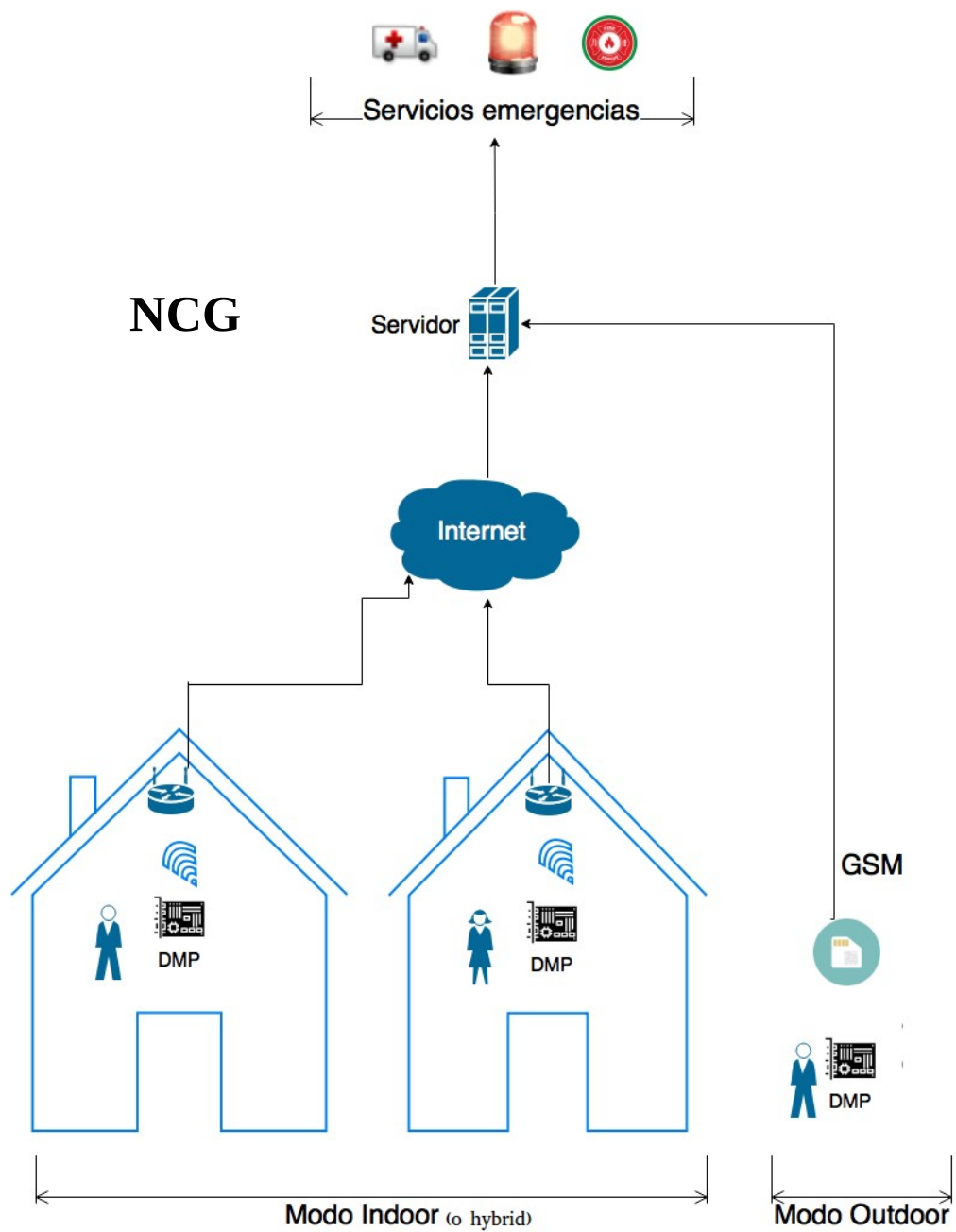


Figura 1. Esquema del sistema completo

Este trabajo de fin de grado no analizará la viabilidad de la solución global descrita en la figura 1 sino que se ceñirá a realizar una prueba de concepto (PoC) del modo indoor del sistema en los términos que se detallan en el siguiente punto.

### 1.3. Descripción del alcance del trabajo de fin de grado

El alcance del trabajo de fin de grado contiene el desarrollo de una prueba de concepto del sistema DMP para su funcionamiento restringido al modo indoor, la viabilidad de una posible ampliación implementando totalmente los modos híbrido y outdoor será objeto de análisis en los apartados 7 y 8 . El alcance de este TFG se muestra en la siguiente figura:

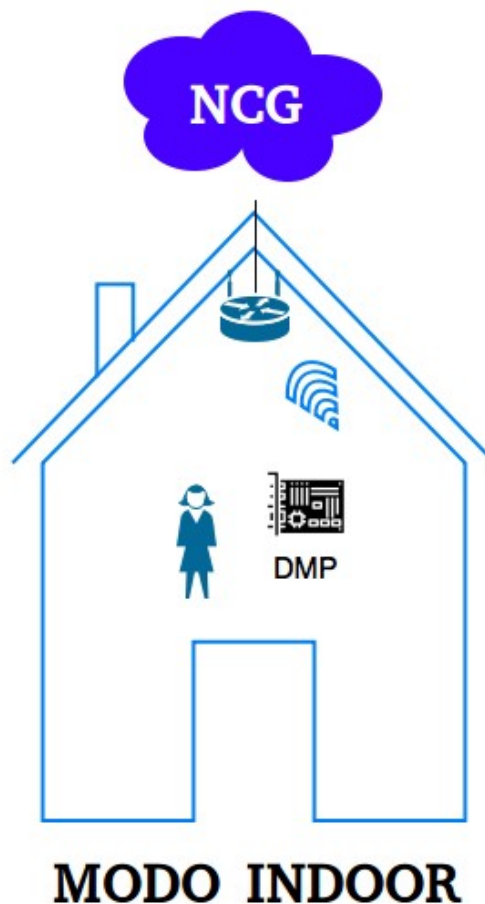


Figura 2: Esquema del DMP indoor

El sistema incorporará sensores de pulso cardíaco, temperatura y un acelerómetro que permitirán generar alarmas, señales informativas o streams de datos. Por tanto la

monitorización del estado del usuario no depende de que se encuentre consciente o capaz para requerir auxilio en caso de que sea necesario.

El DMP presentará un interfaz con el usuario muy simple para facilitar su uso de modo que no se precise formación para ello. Constará de un único botón pulsador que permitirá generar alarma de auxilio como indicar situación de normalidad según corresponda anulando las alarmas que se hayan podido producir. Además el sistema incorpora un LED para indicar al usuario que se ha enviado una señal de alarma al nodo central gestor(NCG).

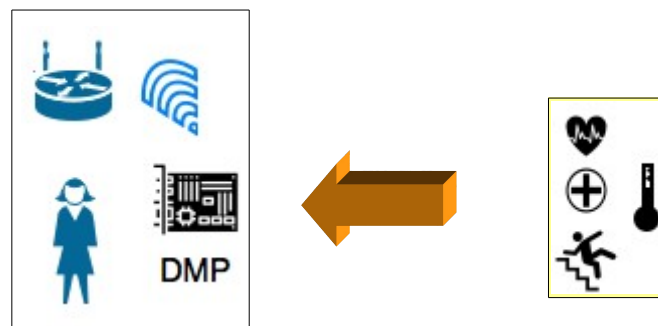


Figura 3: Funcionamiento del DMP modo indoor

El DMP funcionará en modo indoor cuando el usuario se encuentre en su domicilio permaneciendo conectado a la red WIFI de éste a través de la cual enviará las alarmas generadas al NCG. También mantendrá una relación de las señales WIFI detectables mientras se encuentre en el domicilio de modo que si continúa recibiendo su señal tras abandonar el domicilio se conmutará al modo híbrido y se enviará la información a través de GSM pero no se empleará GPS para el posicionamiento ahorrando así energía.

En este trabajo se implementará la conmutación entre los tres modos de operación si bien solo se implementará completamente el modo indoor, por tanto se simulará el envío en el híbrido no implementando el outdoor.

#### 1.4. Objetivos del proyecto

Este proyecto como prueba de concepto del funcionamiento en modo indoor del DMP basado en tecnología LPC1769 trata de lograr los siguientes objetivos:

Objetivos básicos:

- Funcionamiento en modo indoor.
- Botón de pánico pulsable por el usuario y generador de alarma.
- LED de informe.
- Detección de desvanecimientos, caídas o inmovilidad prolongada.
- Procesado de datos adquiridos y generación de alertas.
- Integrar conectividad vía Wifi con nodo central.
- Lograr y mantener la comunicación efectiva de alertas generadas por el DMP con nodo central.

Objetivos secundarios

- Integrar sensorización de pulso cardíaco y de temperatura.
- Lograr un sistema que facilite posibles ampliaciones futuras de sensorización.
- Realizar un sistema que permita la ampliación (modo outdoor, etc...).

Objetivos extra

- Explorar otras opciones en cuanto a sensorización se refiere.
- Analizar viabilidad técnica de una posible y futura ampliación del DMP que incluya el modo de funcionamiento outdoor y lo integre en un sistema completo descrito al inicio de este documento

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores en este proyecto se implementará el modo indoor, no obstante se implementará la conmutación entre los tres modos de funcionamiento como objetivo secundario para lograr un sistema ampliable al sistema global si así se decidiese.

Como objetivos extra de este proyecto se analizarán otras posibilidades en lo que a sensores se refiere analizando tanto las opciones ya comercializadas como otras en

investigación resultando especialmente interesantes las relacionadas con la medida de glucosa en sangre y la presión arterial.

### 1.5. Metodología del desarrollo

Para lograr la consecución exitosa del proyecto se ha seguido un esquema basado en tres puntos fundamentales: análisis del problema, formación y finalmente desarrollo de la solución.

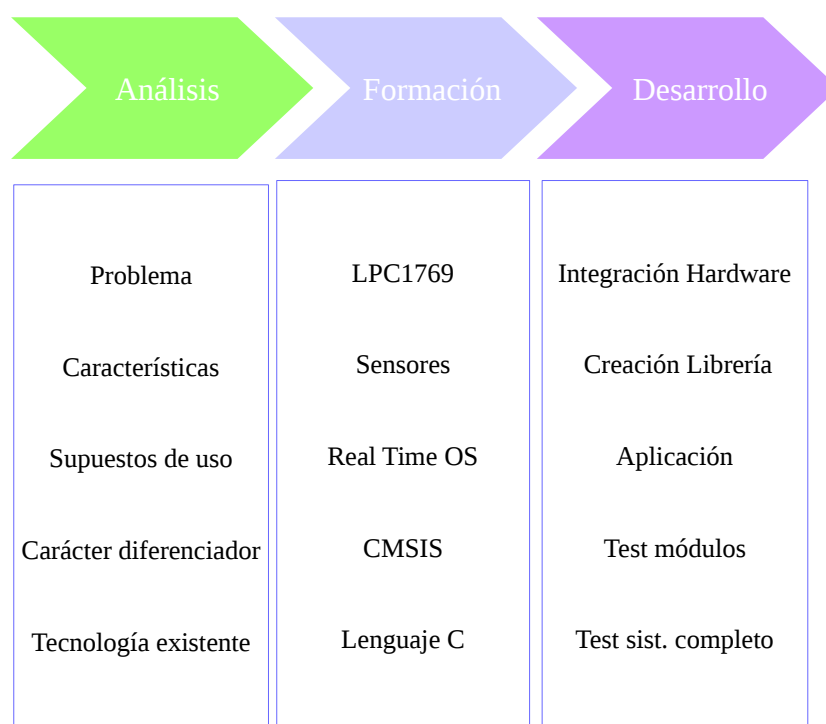


Figura 4: Esquema de desarrollo

Tras una primera fase de análisis de las características del problema a resolver a fin de plantear una aproximación óptima a su solución, y disponiendo por tanto de una perspectiva global del sistema a desarrollar, ha sido posible analizar posibles estrategias alternativas para lograr los productos finales que pretende este proyecto.

Analizada la situación actual en la tecnología existente capaz de resolver el problema propuesto, sistemas empotrados o embebidos, se ha visto desaconsejada la utilización de estrategias de adaptación de productos existentes o migraciones desde otras tecnologías en favor del desarrollo de un producto nuevo a medida del problema

propuesto. Esto es debido al alto grado de diferenciación del problema propuesto con otros ya resueltos relacionado en gran medida con las particularidades geográficas, orográficas y demográficas del territorio y público objetivo de la solución.

Este grado de diferenciación supone un valor añadido al producto final, lo que unido al carácter asistencial del producto final y su desarrollo como solución ad-hoc del problema con implantación y mantenimiento cerrados, puede resultar de interés para empresas públicas y privadas del sector de los servicios sociales. Por tanto la estrategia de desarrollo de producto nuevo se revela como la más indicada.

A continuación procede la fase de formación sobre la tecnología que puede resolver el problema, es decir, tecnología de sistemas empotrados. Se estudian las posibilidades que ofrece el mercado tanto en microcontroladores como en sensores y se opta por la mejor opción, tal y como se describirá en capítulos posteriores. Además, una vez elegidos los dispositivos y sensores a utilizar, corresponde realizar una etapa de formación tanto sobre su uso e integración, como en programación en sistemas operativos en tiempo real.

Finalmente, y tras la debida planificación del desarrollo se procede a la implementación y pruebas del producto derivado del proyecto.

### **1.6. Planificación y plan de riesgos**

La planificación de la realización de la carga de trabajo parte de unos objetivos básicos ampliando progresivamente funcionalidades. El desarrollo del proyecto se ha dividido:

Fase 1:

- Desarrollo de un módulo que permita monitorizar (Log) el funcionamiento del sistema a través UART (CP2102) y de un terminal.
- Driver del botón del pánico generando la consiguiente alarma.
- Driver del acelerómetro. Detectar caídas, o situaciones de inmovilidad prolongada.
- Desarrollo de la lógica de procesado de datos proporcionados por los drivers y generación de alarmas en base a estos.

Fase 2:



- Desarrollo del driver del sensor de pulso cardíaco.
- Integración de módulo Wifly para envío de datos al servidor mediante socket.
- Creación de servidor para recepción de alarmas mediante socket.

Fase 3:

- Desarrollar driver e integrar sensor de temperatura en el sistema.
- Implementar detección de pérdida de conectividad wifi habilitando conmutación de los tres modos indoor, híbrido y outdoor.

Se ha realizado una planificación temporal inicial a un plazo con fecha de inicio 10 de octubre de 2016 y finalización 3 de enero de 2017 cuya división se muestra en el diagrama siguiente:

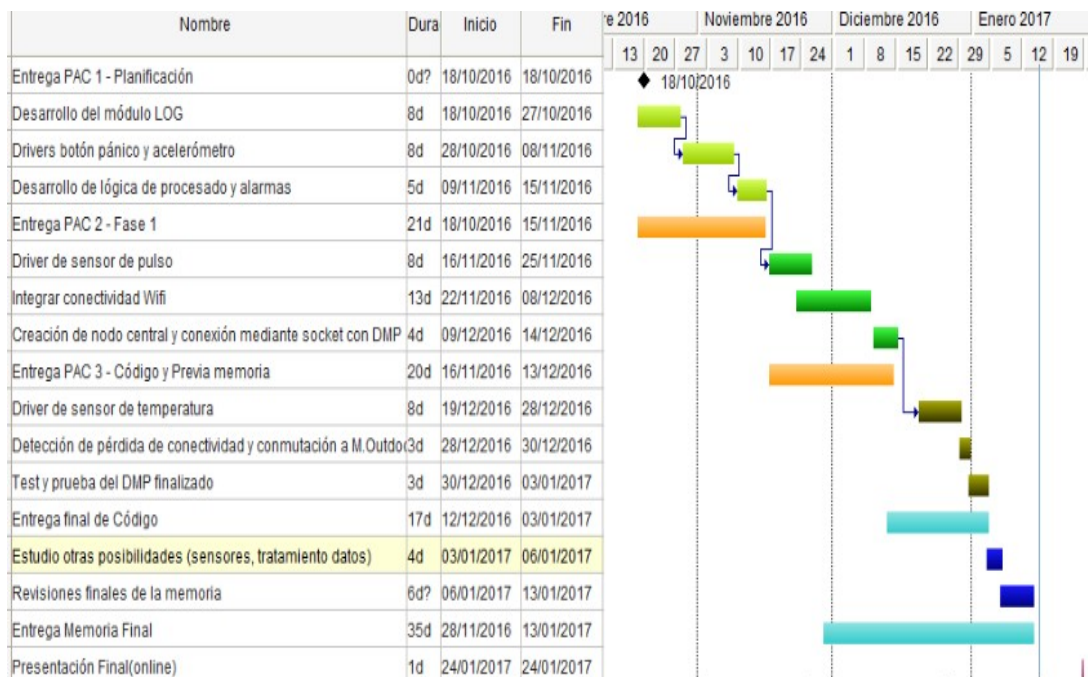


Figura 5: Planificación temporal inicial

Se representan en el diagrama temporal la planificación de las tareas agrupadas en las tres fases que se indicaron al comienzo de este apartado. Se muestran en color

naranja los plazos correspondientes a las PACs de la asignatura y en color azul claro las entregas finales de código de proyecto y memoria. Por otro lado, se ha diseñado un plan de riesgos y medidas correctoras para disponer de un plan de respuesta ante la posible ocurrencia de problemas previsibles en un proyecto de estas características. En la siguiente tabla se muestran los posibles riesgos con sus medidas correctoras correspondientes:

Id	Nombre	Descripción	Prob.	Impacto	Medida correctora
#1	Retraso Sensor	Se producirá en caso de que el desarrollo del código relativo a un sensor requiera mayor plazo del previsto	MEDIO	MEDIO	Se amplia plazo para la tarea sacrificando tareas relativas a fase 3. En caso de alcanzar un R#2 se aplicará su medida correspondiente.
#2	Inviabilidad Sensor	Durante el desarrollo se detecta inviabilidad del sensor para el proyecto	BAJA	ALTO	Se abre plazo de 2 días para localizar posible sensor sustitutivo. Si se finaliza plazo sin resultado positivo se descarta y avanza a siguiente tarea.
#3	Conectividad problemática	Generación de retrasos por problemas en conectividad inalámbrica.	MEDIA	MEDIO	Se amplia plazo para la tarea sacrificando tareas relativas a fase 3. En caso de alcanzar un R02 se aplicará su medida correspondiente
#4	Modificación concreta	Detección de necesidad de modificación, inserción o replanteo de funcionalidad surgida durante el desarrollo del proyecto	BAJA	ALTO	Apertura de plazo para análisis y resolución de la modificación
#5	Avería o fallos en material	Avería o fallo físico en material empleado para el desarrollo del proyecto(ordenador, placas prototipo, sensores)	BAJA	BAJO	Reparación o sustitución del material. Si es posible avanzar a otra tarea mientras dure el plazo de reparación o sustitución.

#6	Ausencia del desarrollador	Ausencia por enfermedad o causa de fuerza mayor inhabilitante del alumno	BAJA	MEDIO	Analizar duración de la ausencia. Reajustar diagrama de Gantt descartando tareas de fase 3 que procedan.
----	----------------------------	--------------------------------------------------------------------------	------	-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 2: Planificación de riesgos

Tal y como se explicará en las conclusiones comentadas en el apartado 8, a lo largo del desarrollo del proyecto ha habido variaciones en la planificación inicial debido a incidencias de distinta naturaleza. No obstante gracias a la planificación de riesgos presentada en la tabla 1, éstas incidencias han podido ser previstas y contenidas mediante las correspondientes medidas de contingencia, no afectando finalmente a éxito del proyecto.

### 1.7. Recursos y herramientas utilizadas

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado herramientas software tanto para tareas de organizativas y de planificación como para la propia implementación del prototipo. Se citan a continuación:

#### Recursos y herramientas de software

- Herramienta Gantter: Se trata de una herramienta online que permite de modo sencillo la realización de diagramas temporales de planificación para proyectos. Es integrable con servicios de almacenamiento en la nube tales como Dropbox. Es accesible a través de la web: <https://gantter.com/>
- Entorno de desarrollo LPCxpresso IDE: Se trata de un entorno de programación y desarrollo de proyectos basado en Eclipse. Es un entorno multiplataforma aunque para este proyecto se ha utilizado la versión para Windows 10.
- Terminal Putty: Se trata de un sencillo software terminal que permite la conexión e intercambio de datos con dispositivos y Hosts de diferentes modos. Además permite la opción de registrar toda la actividad en un fichero log. En este proyecto ha servido para mostrar los mensajes de depuración enviados por el prototipo y para realizar pruebas de funcionamiento del sencillo servidor PHP que actúa como nodo central. Es accesible en: [www.putty.org](http://www.putty.org)

- Sistema operativo FreeRTOS. El software desarrollado se ejecuta sobre este sistema operativo en tiempo real de libre distribución, ampliamente documentado y con más de 113000 descargas en el año 2014. Presenta portabilidad sobre un gran número de microcontroladores. Dispone de las herramientas necesarias para la gestión en tiempo real de procesos tales como colas, semáforos exclusivos y binarios. La documentación y la descarga es accesible desde: <http://www.freertos.org/>
- CMSIS o Cortex microcontroller software interface. Es una librería que permite la abstracción respecto al fabricante en el desarrollo de proyectos basados en procesadores ARM Cortex-M. Puede obtenerse más información en: <https://community.nxp.com/thread/388986>

#### Recursos Hardware

- Placa LPCXpresso con microcontrolador LPC1769.
- Módulo USB-UART C2102
- Módulo Wifly RN-XV
- Sensor pulso ECG basado en AD8232
- Sensor acelerómetro analógico MMA7361LC
- Sensor analógico de temperatura TMP36
- Diodo LED y componentes electrónicos.(condensadores, resistencias, etc..)
- Pulsador interruptor SMD.

Estos dispositivos son descritos en profundidad en el apartado 4.1 y en la lista de materiales o BOM incluida en el apartado 6.

#### Otras herramientas y accesorios.

- Placa protoboard. Placa para prototipado rápido como la que se muestra en la ilustración siguiente:

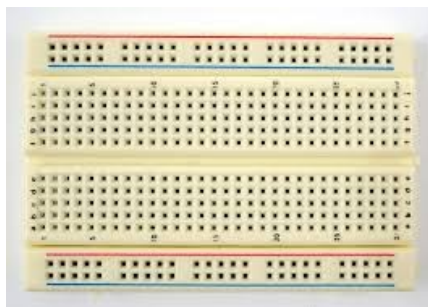


Figura 6 – Placa protoboard

- Cables para protoboard. Se emplean en variedad macho-hembra y macho-macho.

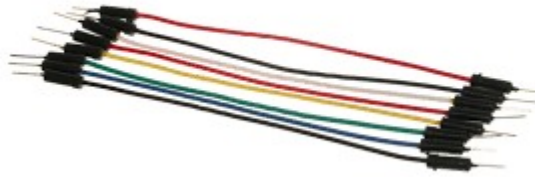


Figura 7: Cables de prototipado

- Cables USB. Utilizados para la conexión del LPC1769 con el PC.

### **1.8. Productos y resultados esperados**

Los productos que se pretende obtener de este proyecto no solo consisten en un dispositivo electrónico empotrado. Se trata de desarrollar una prueba de concepto que proporcione además información obtenida del estudio del problema a través del desarrollo de un prototipo.

Se pretende obtener una validación de la tecnología elegida para su aplicación al problema real, todo ello sin perder la perspectiva de un producto final obtenible mediante el trabajo desarrollado a futuro, como continuación de los productos obtenidos mediante este proyecto.

Por tanto este proyecto proporciona un producto prototipo modular, ampliable y cuyo desarrollo puede continuar más allá del alcance de este proyecto hasta un futuro producto comercial que incluya todas las funcionalidades descritas anteriormente. Además, este trabajo proporcionará una mejor apreciación y enfoque del problema, fruto del análisis de sus características, su casuística, supuestos prácticos y problemática que supondrá una base de conocimiento amplia para la continuación del desarrollo hasta alcanzar un dispositivo comercial.

## **1.9. Próximos capítulos**

En los sucesivos capítulos se describirán aspectos relevantes del planteamiento y desarrollo del sistema siguiendo un esquema top-down, desde aspectos generales como la elección de la tecnología hasta alcanzar de forma detallada el desarrollo de cada módulo del sistema.

Capítulo 2: En este capítulo se realizará una descripción del estado del arte en el ámbito de la tecnología útil para resolver el problema propuesto, es decir sistemas embebidos o empotrados. Se revisarán posibles opciones desde el punto de vista del estado del arte actual y enumerarán proyectos anteriores que pudieran aproximarse a la solución.

Capítulo 3: Describe desde una perspectiva funcional el sistema completo propuesto, es decir el dispositivo embebido monitor de personas o DMP y su interacción con el nodo central gestor o NCG.

Capítulo 4: Se realiza una descripción detallada del sistema desarrollado desde las perspectivas hardware y software.

Capítulo 5: Se analiza la viabilidad técnica el producto.

Capítulo 6: Análisis económico del proyectos. Estudio de costes y análisis de viabilidad del proyecto desde una perspectiva global, es decir, desde la integración del sistema completo.

Capítulo 7: Trabajo futuro y continuación desarrollo. Reflexión y análisis sobre la posible continuación del proyecto hasta alcanzar un producto comercial.

Capítulo 8: Realiza un análisis de las conclusiones producto de este proyecto.

## **2. Análisis previos al desarrollo**

### **2.1. Estado actual de la tecnología**

Se ha establecido en el capítulo anterior, como objetivo principal del proyecto, la obtención de un producto que sirva como solución al problema descrito dentro de los

límites establecidos como prueba de concepto o PoC. Este dispositivo consiste en un sistema empotrado que como tal incluya un conjunto de sensores, dispositivos de comunicaciones y componentes electrónicos gobernados por un microcontrolador que procese y gestione la información dimanante de ellos.

Antes de proceder al diseño del sistema empotrado, es preciso realizar un análisis sobre la tecnología existente actualmente a disposición del desarrollo de este tipo de sistemas.

Desde el punto de vista del hardware, ha de considerarse en primer lugar el microcontrolador más adecuado de entre la oferta actual. Una posible opción es la proporcionada por Arduino. Se trata de una tecnología enmarcada en el concepto open-source basada en un microcontrolador Atmega.



Figura 8: Placa Arduino UNO

Existen múltiples placas de desarrollo basadas esta plataforma diferentes configuraciones, no obstante una versión de partida como Arduino UNO con 14 pines digitales con resistencia pull-up integrada configurable, y 6 pines analógicos con un convertor digital-analógico(DAC) de 10 bits.

Soporta protocolo I2C para interconexión de sensores, SPI y dispone de salidas PWM. Además dispone de regulador de tensión gracias al cual puede alimentar sensores que funcionen con voltajes de 5 V y de 3.3 V.

Una gran ventaja de este tipo de tecnología es la amplia comunidad de desarrolladores existente, que alimenta un gran almacén de librerías que facilitan en gran medida el desarrollo con esta plataforma.

No obstante se trata de una tecnología orientada mayormente a la enseñanza pese a contar con otras ventajas como con un bajo coste económico y software de desarrollo (IDE) gratuito, parece resultar más apropiado emplear otras tecnologías propietarias que proporcionen mayor soporte y garantías de cara a la obtención de un producto comercial.

En esta línea existen diversas opciones como los microcontroladores basados en arquitectura ARM (o RISC machine). Existen diversos grandes fabricantes que proporcionan también librerías de software, comunidades de apoyo en forma de foros web, y multitud de sensorización y soluciones de conectividad inalámbrica. Algunos ejemplos se citan a continuación:

- Toshiba serie TX00: Se trata de un microcontrolador ARM Cortex-M que incorpora la tecnología NANO FLASH destinado principal a aplicaciones de bajo consumo y entre ellas, según especifica el fabricante en la web del producto las destinadas a cuidado y monitorización sanitaria.
- Atmel Smart SAM-G basado en ARM Cortex-M4. Al igual que el caso del TX00, este microcontrolador está destinado a aplicaciones de bajo consumo incluidas las destinadas a fines de cuidado de salud. Dispone de software de desarrollo propio, el Atmel Studio 7.0 instalable desde la web del fabricante. Una ventaja añadida de este software es que incluye la posibilidad de migrar proyectos en lenguaje C desarrollados en otras plataformas como Arduino.
- LPCxpresso de NXP. Esta opción dispone de un entorno de desarrollo gratuito basado en lenguaje C y placas de desarrollo de bajo coste como la basada en el microcontrolador LPC1769. Al igual que los dos casos anteriores, existe un importante ecosistema entorno a este microcontrolador en materia de sensorización, conectividad y herramientas y recursos de desarrollo.

En este proyecto se ha optado por esta última opción atendiendo a criterios tecnológicos, económicos, de garantías en desarrollo y posibilidad de proyección del proyecto. Desde una perspectiva empresarial el fabricante NXP se postula como un proveedor de garantías que se ha consolidado como un gigante en el sector de sistemas embebidos con especial impacto en el sector automovilístico, hecho que se ve reflejado en su reciente adquisición por la empresa de telecomunicaciones Qualcomm por 47.000 millones de dólares.



Desde un punto de vista tecnológico además de placas de desarrollo generales como la elegida para este proyecto, NXP dispone de placas de desarrollo con orientación específica a aplicación que pueden resultar de interés para una futura migración, con el objeto de continuar el trabajo más allá de este proyecto. Esto unido a la existencia de librerías, foros de soporte y las capacidades del dispositivo que se describirán en capítulos posteriores lo convierten en una gran opción.

Finalmente y habida cuenta del carácter del proyecto como prueba de concepto con intención de iniciar el camino hacia un producto comercial, cobra especial importancia el programa de *sponsorship* de NXP, mediante el cual proporcionan apoyo al desarrollo de ideas y proyectos que seleccionan entre todos los que reciben a través de su web [NXP1].

Por lo que respecta a otros aspectos técnicos del proyecto, si bien en una posible continuación del desarrollo del proyecto integrando más sensores puede ser necesario el uso de protocolos como I2C, en este proyecto bastará con el uso del conversor ADC y de UARTs para transmisión y comunicación con sensores y otros dispositivos.

En materia de conectividad, existen multitud de opciones tanto para exteriores como GSM-GPRS o la red SigFox con cobertura provista por Cellnex en España, como para interiores como Thread, Bluetooth Low Energy(BLE) o ZigBee. Dado que sólo se implementará conectividad en el interior del domicilio del usuario (modo indoor) se ha optado por conectividad vía Wifi 802.11 b/g y protocolo TCP/IP ya que además de permitir conectividad en interior, permite geoposicionamiento en exteriores mediante API de Google a partir de las direcciones MAC de los routers Wifi visibles en cada momento, evitando el abuso de GPS con elevado consumo energético. Si bien esta opción no se explota en este proyecto, si puede resultar interesante en futuros desarrollos que continúen el trabajo.

## **2.2. Alternativas existentes en el mercado**

Actualmente se existen diferentes aproximaciones en términos de seguimiento, monitoreo y seguridad del público objetivo de este producto.:

- Servicio de teleasistencia de Cruz roja [CRZ1]: Se trata de un servicio de teleasistencia proporcionado por la Cruz Roja a personas de edad avanzada

que incluso vivan solas. El sistema tiene un coste básico de 25 € mensuales y consiste en un nodo de comunicaciones que se instala en el domicilio del usuario conectado a la línea telefónica fija y un colgante con un pulsador. El usuario activa la alarma mediante el pulsador si necesita asistencia y el sistema realiza una llamada telefónica a la central que presta el auxilio necesario. Existen otras modalidades de este servicio que incluyen la telelocalización mediante GPS instalado en un teléfono móvil en caso de que la persona se desoriente.

Sin embargo este sistema presenta carencias frente al DMP propuesto por este proyecto. La modalidad básica, compuesta por un pulsador para conexión telefónica en caso de emergencia en el interior de casa, exige que el usuario esté consciente en todo momento para poder activar la alarma y poder comunicar de viva voz el problema. El sistema se vuelve irrelevante si el usuario sufre un desvanecimiento, un episodio de crisis cardíaca o una caída que implique un golpe y pérdida de consciencia. El DMP por contra, gracias a su sensorización es capaz de detectar estas situaciones y enviar la alarma al NCG sin necesitar interacción del usuario.

Por otro lado la modalidad avanzada que emplea un teléfono móvil con GPS, basa su funcionamiento en geofencing, de modo que se establecen zonas de seguridad y si el usuario abandona la zona de confort el sistema genera la alarma. Esta modalidad presenta también carencias frente al DMP, ya que al carecer de sensorización no es capaz de detectar situaciones de alarma como las descritas en caso de que el usuario no abandone la zona de confort. Por otro lado el uso constante del GPS exige un coste energético considerable que no es necesario cuando el usuario se encuentra en el domicilio. El DMP por contra integra en un mismo dispositivo embebido ambas soluciones conmutadas de forma automática, tanto para exteriores como interiores cuando el usuario se encuentre en domicilio. Además en el caso de exteriores la sensorización permite lanzar alarmas independientemente de la localización del usuario lo que implica un uso más moderado del GPS reduciendo su utilización considerablemente en beneficio de la conservación de baterías.

- LifeSeeker: Es un producto desarrollado por el grupo empresarial Centum [VOZ2] en colaboración con la Universidad de Vigo. Se trata de un dispositivo instalable en un *dron* que permite el rastreo en espacios abiertos de la señal

emitida por un teléfono móvil que porte la persona extraviada. Se diseñó para servicios de emergencias.

Es por tanto un dispositivo de naturaleza reactiva cuyo propósito es la búsqueda y localización personas desaparecidas una vez que esto ya ha ocurrido.

Puede obtenerse más información en su web:

<http://centum.es/actualidad/tag/lifeseeker>

- Sistemas de control de errantes basados en RFID. Se trata de sistemas localización de personas en interiores basados identificación vía radiofrecuencia. Su funcionamiento es similar al de los sistemas de seguridad implantados de forma masiva en establecimientos comerciales. El usuario porta una etiqueta o tag, si éste abandona un recinto o local establecido, el sistema genera una alarma. No dispone de ningún otro tipo de capacidad sensora y no es operativo una vez que el usuario abandona el edificio. Existen varias opciones de este tipo de sistema en el mercado, algunas se citan a continuación:

- SABIA Bioingeniería Aragonesa S.L web:  
<http://bioingenieria.es/SabiaErrantes/SabiaErrantes.htm>
- IPSoluciones S.L. web :  
<http://www.ipsoluciones.com/control-de-presencia/control-de-errantes>

Si bien existen multitud de opciones similares a las tres citadas en este apartado, éstas representan las principales tecnologías disponibles en el mercado para control de errantes y monitorización de personas. Si bien sus capacidades y planteamiento difieren entre sí, se observan sus carencias a la hora de acometer el problema planteado dadas sus características tan particulares.

Las tecnologías dedicadas únicamente al control de errantes mediante tecnología RFID son claramente incapaces de resolver el problema objeto de este trabajo ya que carecen de capacidad sensora alguna que permita labores de monitorización, además de resultar inoperantes en exteriores. Lo mismo ocurre con aquellas tecnologías de naturaleza reactiva tales como el citado LifeSeeker, cuyo uso parece clara y únicamente orientado al rescate.

Otras soluciones como la propuesta por Cruz Roja o soluciones basadas en smartphones, adolecen de las características diferenciadoras que puede presentar un sistema desarrollado a medida del problema, con capacidad sensora suficiente, sencillez de uso y ergonomía, y adecuación máxima a las características del problema.

### **3. DMP desde una perspectiva funcional**

Tal y como se ha descrito en capítulos anteriores, este proyecto consiste en el desarrollo de una prueba de concepto que sirva como aproximación a la solución de un problema real, realizada desde varias perspectivas tanto la tecnológica como conceptual y analítica, reportando valiosa información de cara al desarrollo de un futuro producto final que integre la totalidad de funcionalidades y modos de operación descritos anteriormente.

Por tanto, el sistema a desarrollar se centra en el funcionamiento del DMP en modo *indoor*, integrando diversos sensores que se consideran elementales para los fines del dispositivo, atendiendo especialmente a la necesidad de modularidad que permita ampliar la sensorización y a la capacidad de migración, de modo que facilite portar el sistema a otras plataformas o microcontroladores que puedan resultar de mayor interés para el desarrollo futuro de un posible sistema comercial.

Según se explicará en detalle en apartados sucesivos, el DMP se articula en dos capas o niveles de sensorización, una de procesamiento ocupada por un microcontrolador, una capa interfaz con el usuario final compuesta por un pulsador y un LED informativo y una final de conectividad que en esta prueba de concepto será ocupada únicamente por enlace inalámbrico a red WIFI.

El DMP enviará las alarmas, señales de datos o streams de datos, según corresponda, a través de la red WIFI local al servidor o NCG que en esta prototipo limitado, por simplicidad estará ubicado en la misma red local. Se ha establecido un socket fijo para la comunicación entre DMP y NCG en la propia red local. La comunicación es unidireccional, todos los datos fluyen desde el DMP al NCG a través de dicho socket que se abrirá para cada transmisión y que se mantendrá abierto mientras existan señales o alarmas pendientes de ser enviadas.

Si bien este proyecto se centra en el desarrollo del sistema embebido, para comprobar su funcionalidad en el modo *indoor*, se ha desarrollado un servidor básico en PHP que a través de socket permite la recepción de las señales y alarmas enviadas por el DMP, su grabación en una base de datos MySQL montada en un servidor local WAMPP.

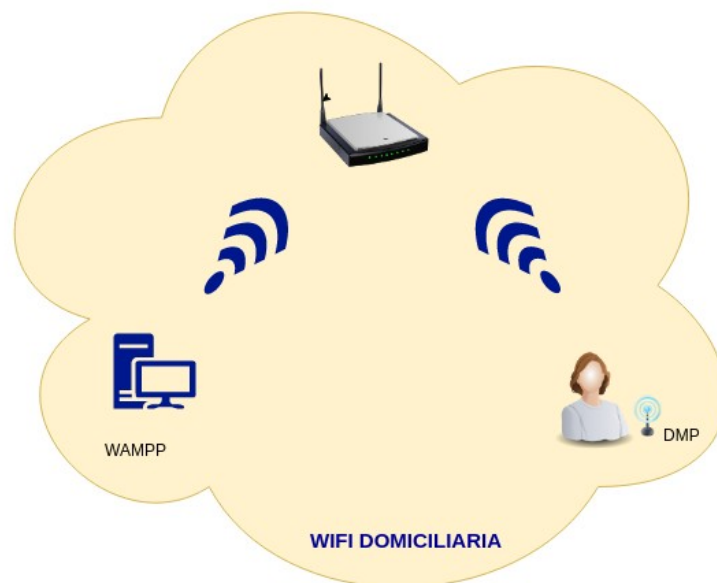


Figura 9: DMP y NCG implementados

### 3.1. Nodo central gestor (NCG)

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema embebido desarrollado, DMP, se ha implementado un básico servidor en PHP que recibe las señales y alarmas enviadas por el DMP a través de socket y las graba en una base de datos MySQL montada sobre un servidor local WAMPP. Dicha base de datos consta de dos tablas. Una de ellas contiene únicamente las alarmas generadas y otra contiene las señales de datos que monitorizan la actividad del usuario tal y como se describe en el apartado 3.2

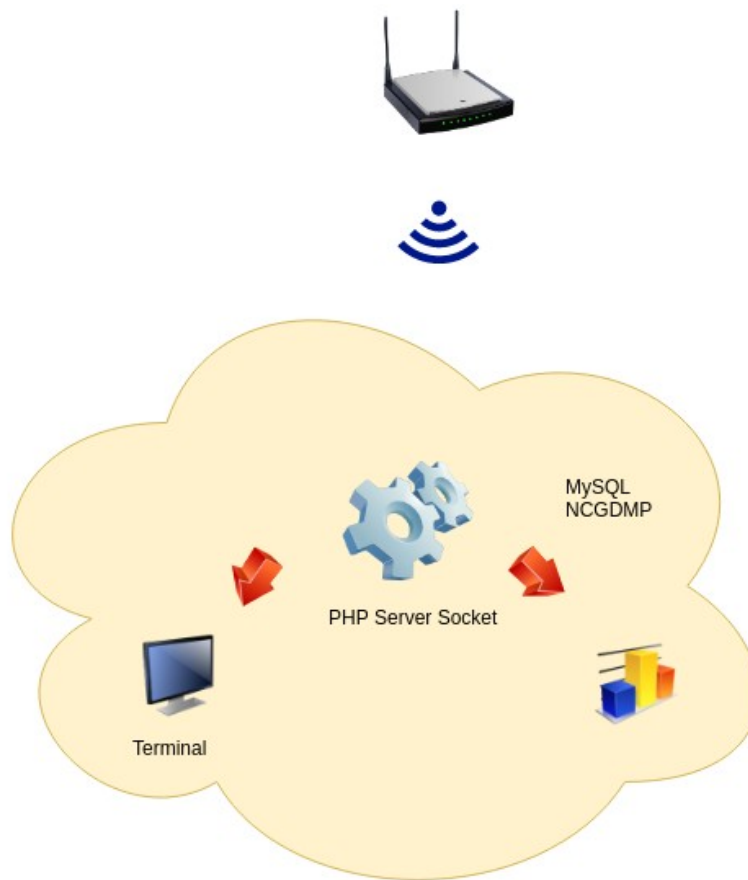


Figura 10: Implementación del NCG

El servidor PHP mostrará por la pantalla del terminal los datos de la alarma o señal recibida indicando lo que significa cada campo recibido. Tras esto, grabará el registro correspondiente en la base de datos. La base de datos NCGDMP dispone dos tablas.

Tabla *NCGDATA* almacena las alarmas recibidas con los siguientes campos:

- **IdDispo:** Almacena el número serie del dispositivo que envía la señal
- **ModOp:** Modo de operación en el que se encontraba el DMP al generar la señal.
- **AlCode:** Código de la alarma o señal generada.
- **AlStatus:** Estado de la alarma generada, 1 si es activa, 0 si inactiva.
- **TxTry:** Último intento de retransmisión de la señal.
- **AlTime:** Fecha y hora en la que se generó la alarma o señal
- **IdPerson:** Código identificativo de la persona.
- **AlReceive:** Fecha y hora de recepción de la alarma o señal en el NCG

La tabla NCGMonitor almacena los datos que envía cada sensor provenientes de la monitorización:

- IdDispo: Almacena el número serie del dispositivo que envía la señal
- ModOp: Modo de operación en el que se encontraba el DMP al generar la señal(indoor, hybrid, outdoor).
- AlCode: Código del emisor de la señal(Acelerómetro, termómetro)
- Param: Tipo de dato que envía el emisor.
- Value: Valor de la señal(grados °C, índice de actividad,...)
- TxTry:Último intento de retransmisión de la señal.
- AlTime: Fecha y hora en la que se generó la alarma o señal
- IdPerson: Código identificativo de la persona.
- AlReceive: Fecha y hora de recepción de la alarma o señal en el NCG.

Por otra parte el DMP, tal y como se explicará más adelante, podrá enviar muestreos del pulso cardíaco del usuario en determinados supuestos. En este caso el NCG mostrará los datos recibidos por el monitor del terminal demostrando su recepción.

### **3.2. Descripción funcional del DMP**

En primer lugar se mostrará su esquema en bloques y posteriormente se explicará la lógica y funcionamiento.

Por lo que respecta al diseño del sistema embebido, es decir propiamente el DMP, se representa su esquema en la siguiente ilustración.

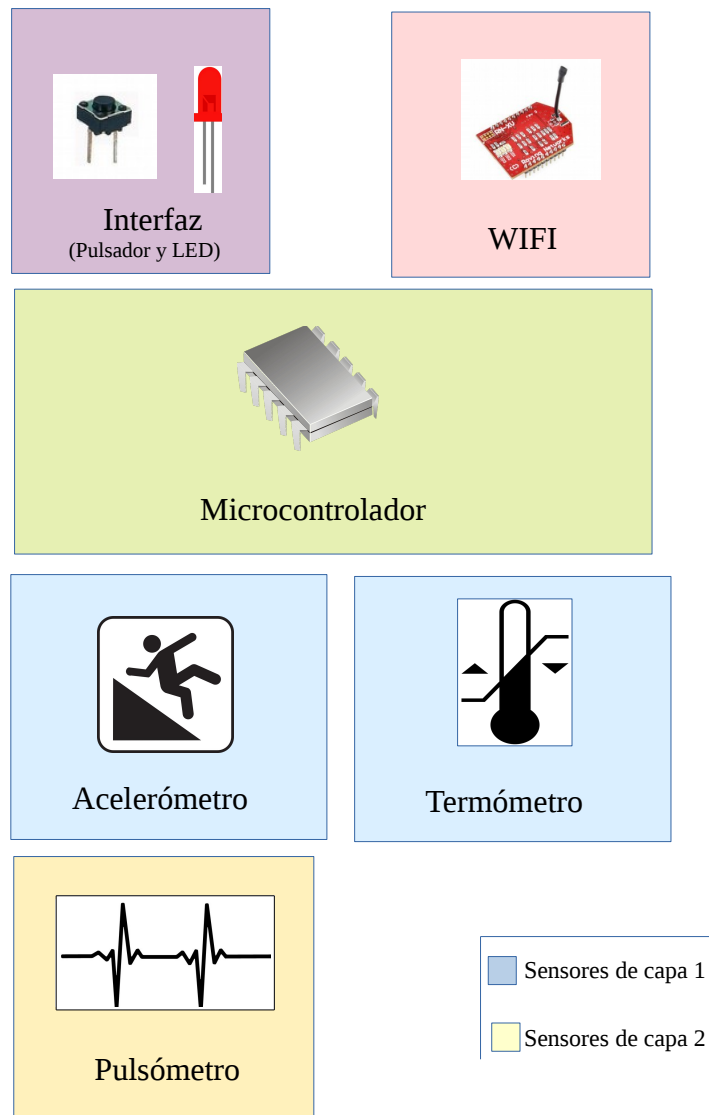


Figura 11: Diagrama de capas del DMP

Tal y como se representa en la anterior ilustración, existen dos capas de sensorización. La capa superior o capa 1 está formada por sensores que monitorizarán la actividad del usuario portador del DMP de modo continuo y permanente. En el caso de este proyecto constituyen esta capa los sensores de acelerómetro y temperatura.

Esta capa de sensores genera tanto alarmas como señales de datos. De modo más descriptivo se indican a continuación las señales y alarmas que genera cada uno de los sensores de esta capa:



a) Acelerómetro. Este sensor genera dos tipos de alarmas:

- Alarma de caída: Se generará si el DMP detecta que el usuario se ha caído y permanece en esta situación un tiempo mínimo especificado en la configuración del DMP.
- Alarma de inactividad: Se generará si el DMP detecta que el usuario ha permanecido inmóvil durante un tiempo superior al especificado en la configuración del sistema para este tipo de situación.

El sensor acelerómetro también proporciona dos tipos de señales de información cada 60 segundos:

- Señal de esfuerzo: El DMP realiza un sumatorio del número de veces que el usuario se ha agachado durante el último minuto. Este valor es enviado al nodo central de gestión.
- Señal de actividad: El DMP realiza un sumatorio de los valores significativos de las aceleraciones experimentadas por el usuario en los ejes Z, que corresponde a la marcha al caminar, y al eje X que corresponde al inclinarse lateralmente. El DMP descarta las aceleraciones en estos ejes en caso de alarmas de inactividad o caída activas, ya que no representarían datos válidos para la medida de la actividad del usuario.

b) Sensor de temperatura. Este sensor genera dos tipos de señales de datos.

- Alarma de cambio de zona de temperatura ambiente. El DMP permite establecer diferentes zonas de temperaturas mediante la definición de sus límites. Si la temperatura a la que está expuesta el DMP implica un cambio de una de esas zonas a otra y se permanece expuesto a dicha temperatura durante un tiempo mínimo establecido en la configuración del sensor, el sistema genera alarma de cambio de zona indicando la nueva zona mediante un código y la temperatura que se ha medido en el instante del cambio además de la fecha y hora de dicha variación.
- Señal de información sobre variación sustancial en la temperatura ambiente. El DMP permite establecer un parámetro con un valor en centígrados a través de

su librería, de modo que en caso de que la temperatura ambiente en un instante dado sufra una variación superior a la establecida en dicho parámetro, el sistema generará una señal de datos indicando la nueva temperatura medida. Este procedimiento continuará sucesivamente de manera que en el nodo central podrá disponerse de una base de datos con las temperaturas a las que ha estado expuesto el individuo además de la fecha y hora de inicio de cada variación.

Por debajo de la capa 1 de sensorización existe una segunda capa, denominada capa 2 o capa de sensores no permanentes. Esta capa está constituida por sensores que no funcionarán de modo permanente, sino en situaciones derivadas de las lecturas de los sensores de capa 1. Por tanto permanecerán en modo *sleep* o *shutdown* para economizar la capacidad de batería en la mayor medida posible.

En este proyecto compone esta capa el sensor de pulso AD8232. Este sensor tal y como corresponde a esta capa permanecerá en estado *shutdown* y será activado solo cuando el acelerómetro genere una alarma de inactividad. De este modo se pasará a monitorizar el pulso cardíaco solo cuando el usuario permanezca inmóvil. Por tanto el pulsómetro monitoriza el pulso del usuario tanto en caso de emergencia, si el usuario se ha caído o permanece inconsciente, así como en otras situaciones como cuando duerme o descansa. La decisión de necesidad del envío de servicios de asistencia queda reservada al nodo central vista el conjunto de información recibida del DMP y el perfil registrado del usuario.

El sensor de pulso en este proyecto no genera alarmas ni señales de datos, sin perjuicio de una posible ampliación de funcionalidades en futuros trabajos más allá del alcance de este proyecto. Si es activado se envía el muestreo del pulso cardíaco al nodo central con un período de muestreo de 5 milisegundos de modo que puede ser representado y analizado en tiempo real.

Por lo que respecta al interfaz con el usuario final o portador, se ha considerado como prioritario maximizar su sencillez dado que este dispositivo está orientado a un público objetivo de edad media-avanzada. Dicho interfaz está compuesto por un diodo LED informativo que se iluminará en caso de que al menos una alarma haya sido generada, permaneciendo apagado en caso contrario o si tras haberse generado una alarma la situación se normaliza nuevamente. Se incorpora un pulsador o botón del pánico, de

modo que el usuario puede pulsarlo para generar una alarma voluntaria. Una segunda pulsación desactivará la alarma.

Finalmente se implementa la conectividad para el modo *indoor* mediante acceso WIFI. El DMP desarrollado es capaz de conmutar entre los tres modos de operación que se detallan en el apartado 1.2, en función de la solución conectividad existente en cada momento

El módulo de conectividad, además de permitir la conmutación entre los modos de operación y el envío de señales y alarmas, permite obtener mediante cliente NTP la fecha y hora local, de modo que cada alarma o señal generada incorporará un sello temporal o *Timestamp* que permitirá conocer el instante exacto de su generación. Además es robusto ante caídas de la wifi domiciliaria, o del servidor NCG incorporando un sistema de retransmisión de alarmas y señales que en caso de superar un número prefijado máximo se apoya en un módulo GSM simulado, para garantizar la transmisión del mensaje.

#### **4. Descripción técnica del DMP**

En los dos próximos subapartados se ofrece una descripción detallada del sistema implementado desde las perspectivas de hardware y software, en los que se explicarán tanto los dispositivos y sensores que se han empleado y el modo en que se han conectado entre sí, como la implementación de sus drivers y demás lógica que compone el DMP.

##### **4.1. DMP desde perspectiva hardware**

El sistema completo implementado configura el esquema eléctrico que se muestra en la siguiente ilustración:

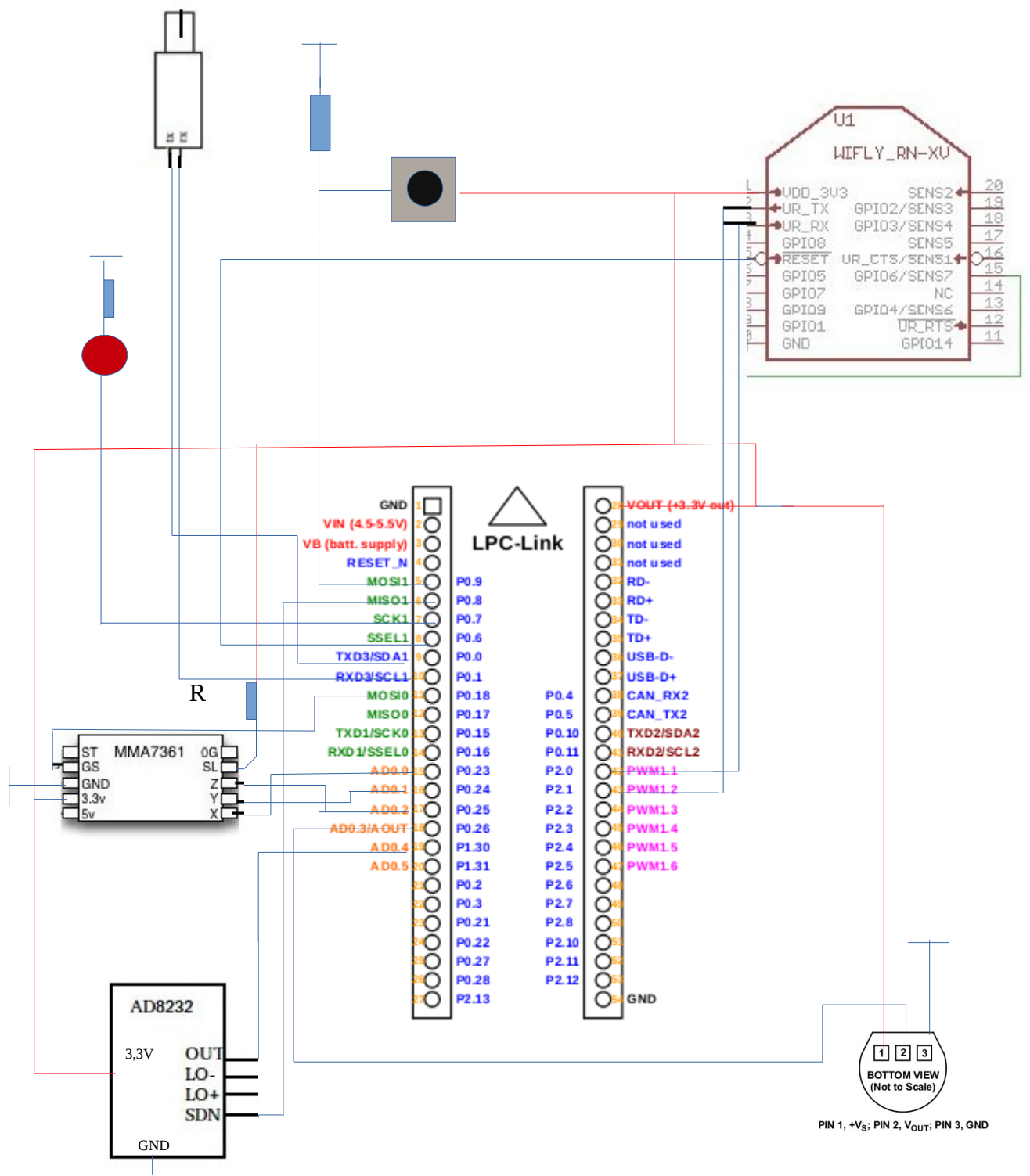


Figura 12: Esquema eléctrico del DMP

a) Placa LPCxpresso OM13085 con microcontrolador LPC1769.

Para la implementación de la prueba de concepto objeto de este proyecto, se ha optado por la placa LPCxpresso OM13085 del fabricante NXP que incorpora el microcontrolador LPC1769FBD100. Esta placa facilita el desarrollo de aplicaciones en sistemas embebidos gracias a sus múltiples periféricos integrados y pines de uso configurable. Se muestra en la figura siguiente:

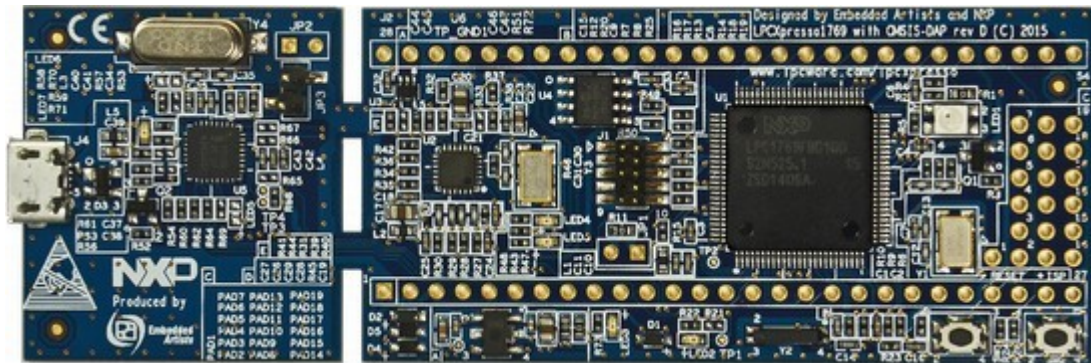


Figura 13: Placa evaluación OM13085

Esta placa de evaluación incorpora un LED tricolor, conectores de expansión y un conector de 10 pines para tareas de debug.

Existen tres formas de alimentar la placa. Si bien se trata de un dispositivo con tensión de alimentación de 3,3 voltios desde 2,4 voltios a un máximo de 3,6 voltios, la placa puede alimentarse a través del conector micro-USB del LPCLink con tensión de 5 V, o bien aplicando 5 V en el pin 2 de la placa, con lo que estos irán al LPCLink y regresarán al LPC ya regulados a la tensión de 3,3 V. Finalmente si no se alimenta la placa de ninguno de los dos modos anteriores, aplicando 3,3 V en el pin 28 se alimentará igualmente la placa.

El diagrama de bloques que muestra los múltiples dispositivos utilizables que proporciona la placa se encuentra en el propio manual del microcontrolador [LPC1] y se muestra a continuación en la ilustración X:

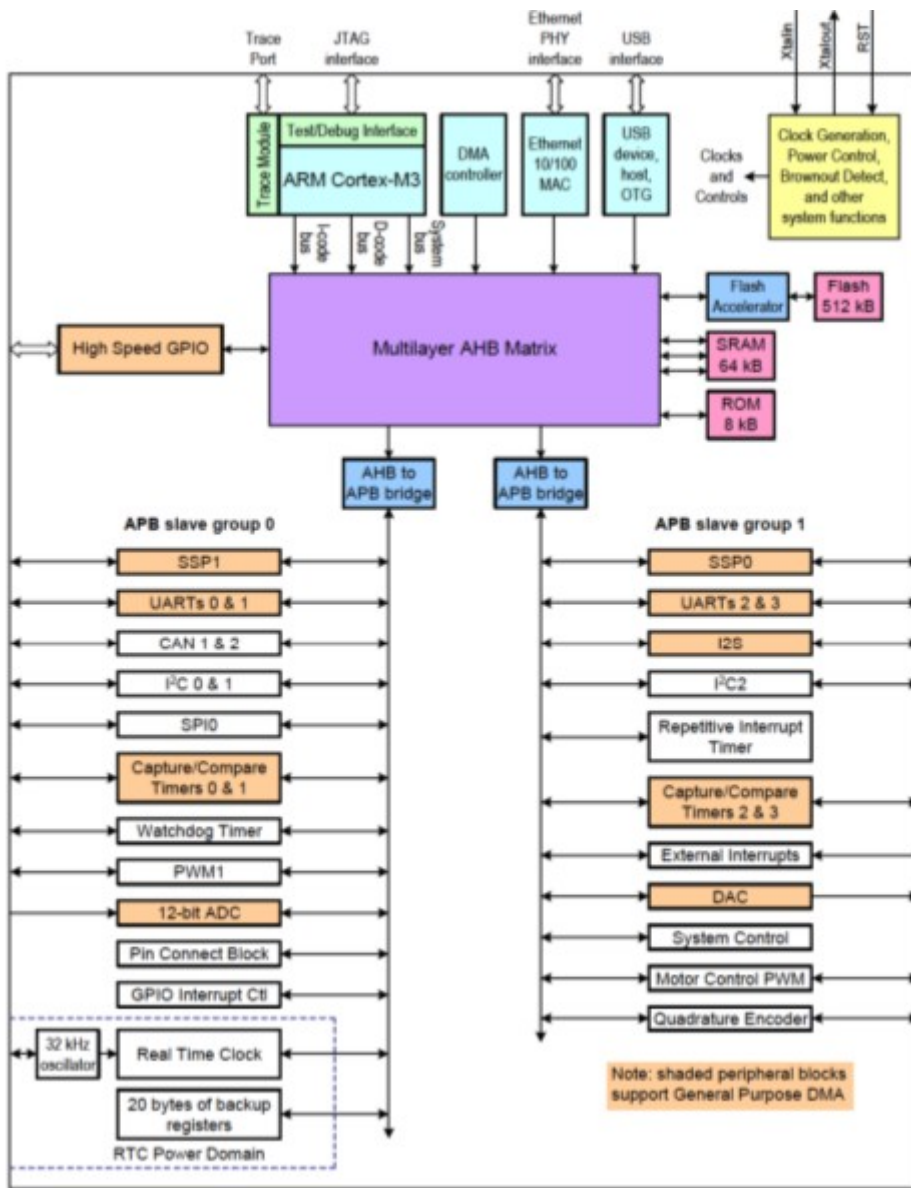


Figura 14: Diagrama de bloques del LPC1769

Tal y como se muestra en el diagrama de bloques representado en la ilustración anterior, la placa incorpora un microcontrolador ARM Cortex-M3 que con frecuencia de reloj hasta 120 MHz y gestión de interrupciones integrada o NVIC(Nested Vectored Interrupt Controller). El dispositivo dispone de 512 B de memoria de tipo flash y 64 kB de memoria SRAM. Además dispone de 70 pines configurables que permiten el uso de las diferentes funcionalidades que proporciona la placa:

- Cuatro puertos serie UART
- Controlador dos canales CAN
- Dos controladores SSP con FIFO
- Controlador SPI
- Tres interfaces I<sup>2</sup>C uno de ellos con salida *open-drain*
- Interfaz para audio digital I<sup>2</sup>C
- Conversor ADC de 12 bits
- Conversor DAC de 10 bits
- Cuatro Timers.
- Un reloj de tiempo real o RTC.
- Timer con servicio de Watchdog o WDT.

La placa además dispone de cuatro modos de funcionamiento que permiten la implementación de soluciones que requieran bajo consumo, además cada periférico dispone de su propio divisor de frecuencia de reloj que mejora la gestión de energía para este tipo de aplicaciones.

La placa empleada además dispone de un entorno de desarrollo que integra desde la implementación de proyectos de código basados en lenguaje C, hasta la propia programación de la placa mediante volcado del binario resultante a la misma empleando conexión USB.

#### b) Acelerómetro MMA7361LC

Se trata de un módulo acelerómetro [ACC1] de tres ejes montado sobre una placa de evaluación que se muestra en la ilustración siguiente:



Figura 15: Acelerómetro MMA7361

El la placa de evaluación incorpora además regulador de tensión y puede recibir tensión de alimentación de 5 V o de 3,3 V admitiendo en este caso un rango desde 2,2 voltios a un máximo de 3,6. Proporciona mediante tres salidas analógicas el valor medido de la aceleración en cada uno de los tres ejes con dos opciones de resolución posibles. Dispone de sensor de 0-G (caída libre) y diagnóstico. El módulo dispone de protección ESD de hasta 2000 V de descarga electrostática.

c) Termómetro TMP36

Se opta por su encapsulado TO-92 para su utilización en el proyecto:



Figura 16: Sensor TMP36 y esquema del encapsulado

Este sensor [TMP1] proporciona mediante salida analógica la temperatura ambiente medida directamente en grados centígrados. Proporciona una resolución de 10 mV/°C en un rango de temperaturas desde -40°C a +125 °C. Además según su hoja de datos es válido para aplicaciones móviles tal y como la que se pretende en este proyecto y presenta un bajo consumo de corriente, por debajo de 50 uA, lo que unido a su rango de medidas posible que se ha indicado anteriormente y bajo coste lo convierte en opción óptima para su uso en el proyecto. En contraposición a otros sensores de temperatura, el TMP36 se muestra como la mejor opción incluso por encima de los de la misma familia como el TMP35 o TMP37 por su rango de temperatura medible y su expresión en milivoltios en la salida tal y como se muestra en la ilustración siguiente obtenida del *datasheet* [TMP1] del componente:



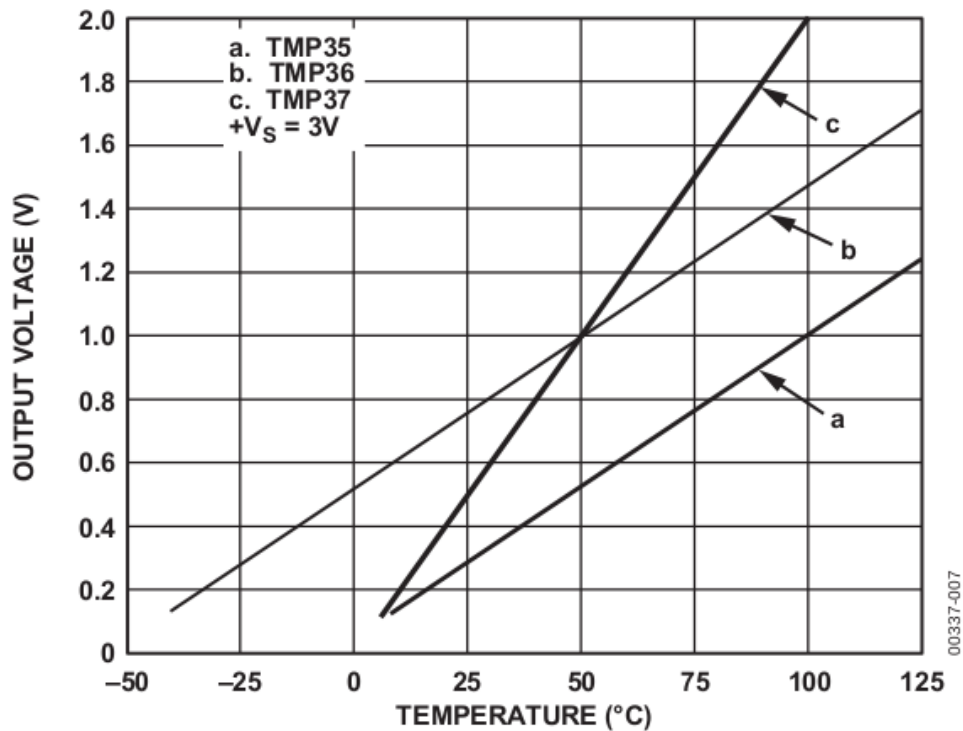


Figura 17: Temperatura frente a tensión de salida

Tal y como se muestra en la ilustración X, es preciso conectar una resistencia de 47 Kohms entre la salida y GND para evitar la lectura de medidas incorrectas. Por otro lado, el sensor presenta una elevada sensibilidad al ruido producido por los contactos y cableado de la protoboard que puede llegar a convertir su salida en cuasi-aleatoria, por ello a la hora de realizar pruebas ha sido imprescindible realizar una buena fijación del cableado para impedir su movimiento en la mayor medida posible.

d) Pulsador

Para la implemetancion del botón del pánico se ha empleado un pulsador interruptor de superficie como el que se muestra en la ilustración siguiente:



Figura 18: Pulsador interruptor

Para su conexión al GPIO del LPC1769 es necesario realizar un montaje con resistencia tal como el siguiente:

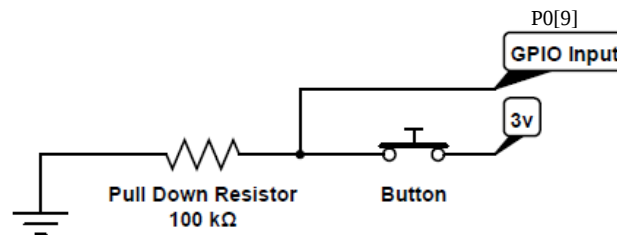


Figura 19: Montaje del pulsador en protoboard

Por otro lado, este tipo de pulsadores genera rebotes tras su pulsación y liberación que pueden generar señales espurias que el microcontrolador puede interpretar como nuevas pulsaciones. Para evitarlo, puede realizarse una espera activa mediante software o bien incluir un condensador en el montaje de la ilustración X que mediante suavice los picos de señal producidos por los contactos metálicos del pulsador.

#### e) LED

Para la implementación del LED notificador en el DMP se ha empleado el siguiente montaje:

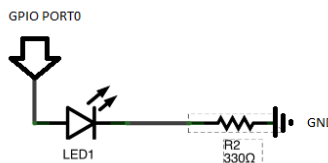


Figura 20: Montaje del LED

#### f) Pulsómetro con función ECG.

Para implementar esta funcionalidad se ha optado por el sensor sparkfun AD8232 integrado en una placa de evaluación que se muestra en la ilustración siguiente:



Figura 21: Placa de evaluación del AD8232

Esta placa de evaluación del sensor de pulso cardíaco AD8232 constituye la mejor opción para la implementación del sensor de pulso en el prototipo del DMP. Dispone de pads para la conexión directa a los pines correspondientes del microcontrolador. Requiere una tensión de alimentación de 3,3 V que puede ser provista directamente por el LPC1769. En la ilustración X se muestra el diagrama funcional del dispositivo:

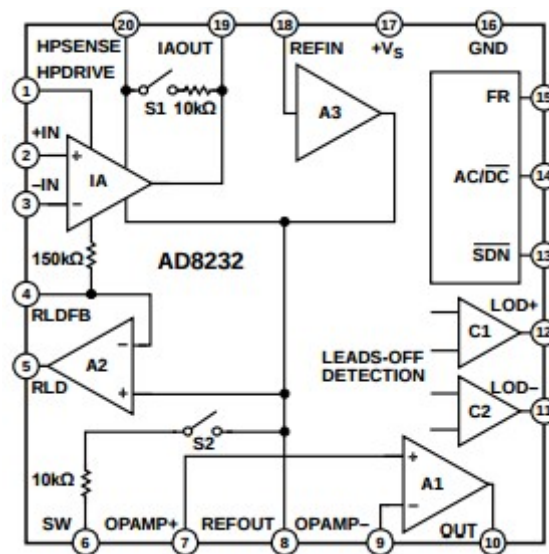


Figura 22: Esquema del AD8382

El dispositivo tiene un consumo de corriente bajo en torno a 170 uA. Además dispone de un pin de apagado o shutdown útil para aplicaciones de bajo consumo. Dispone de dos pines de información a partir de cuyo valor se puede determinar si todos los pads sensores están correctamente colocados para realizar la lectura.

Este dispositivo emplea parches adheridos a la piel para detectar la señal de pulso que se colocarán en el cuerpo del usuario según se muestra en la ilustración siguiente:

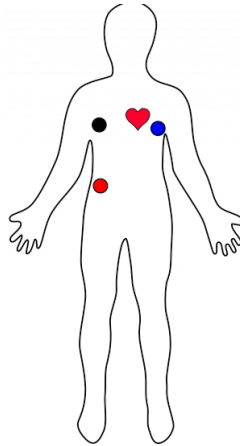


Figura 23: Ubicación de los parches sensores

Según el propio *datasheet* del producto, en caso de emplearse sobre las costillas bajo el pecho no es necesario su empleo ya que apenas hay interferencia entre las señales eléctricas cardíacas con musculares.

Tal y como se ha comentado, este dispositivo constituye la mejor opción para la implementación de este proyecto como prueba de concepto (PoC) atendiendo a criterios de facilidad de integración en el prototipo tanto por pines ofrecidos como por tensión de alimentación requerida, como económicos dado su relativo bajo coste que se sitúa en 18,85 €. No obstante, en caso de continuar el desarrollo del DMP más allá de esta PoC con intención de desarrollar un sistema comercial que integre todas las funcionalidades del sistema completo incluyendo el modo de operación *outdoor*, existen otras opciones más ergonómicas que evitan el uso de pads o parches adheridos para la lectura de la señal cardíaca y que se indicarán en el apartado 7.

#### g) Módulo Wifly RN-XV

Este dispositivo permite dotar al prototipo de conectividad WIFI 802.11 b/g soportando encriptación WEP/WPA y WPA2-PSK.



Figura 24: Módulo Wifly RN-XV

h) Además dispone de las siguientes características:

- Dispone de pila TCP/IP
- Potencia de transmisión configurable en un rango de 0 dBm a +12dBm
- Interfaz TTL UART.
- Dispone de reloj en tiempo real y cliente sNTP para su sincronización via Internet.
- Soporta WPS.
- Dispone de entradas analógicas para conexión directa de sensores.
- Integra DHCP, DNS, ARP, ICMP UDP, FTP y cliente HTML.
- Última versión de firmware 4.41
- Pin RESET.

Por lo que respecta al consumo de energía, el módulo Wifly dispone de modo *sleep* con un consumo de 4 uA, mientras que en funcionamiento supone un consumo de 40 mA en recepción, 180 mA en transmisión(a 10 dBm) y 15 mA en espera. No dispone de regulador de tensión incorporado y admite una tensión de alimentación de 3,3 V en un rango desde 3 voltios a 3,7 voltios pudiendo ser alimentada por la propia placa LPC1769.

El módulo Wifly es fácilmente utilizable desde el controlador mediante el acceso a través de UART accediendo a su modo comando para su configuración y apertura de conexiones y a su modo de datos para la transmisión de éstos vía inalámbrica.

Este dispositivo se usa en combinación con el módulo Xbee que se muestra en la ilustración siguiente:

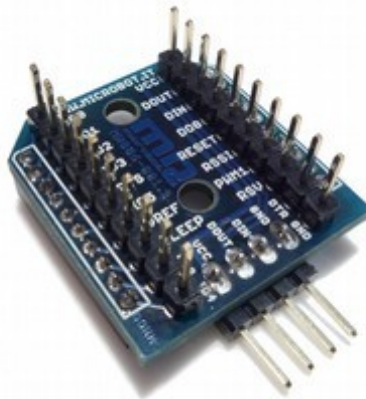


Figura 25: Módulo Xbee

Este módulo Xbee incorpora 4 pines extra en su base que permiten la conexión de la alimentación, GND y RX/TX de forma cómoda.

i) Módulo CP2102 USB/UART

Se trata de un módulo conversor USB – UART que permite la conexión del LPC1769 vía UART con un PC vía USB. En este proyecto es usado para la transmisión de mensajes de información que facilitan el desarrollo y depuración del sistema.



Figura 26: Módulo CP2102 USB-UART

El módulo puede ser alimentado de dos formas. O bien puede tomar la tensión de alimentación directamente del USB con un rango admitido desde 4 V a 5.25 V o bien puede alimentarse directamente sobre los pines de alimentación con dos posibilidades, 3,3 voltios o 5 voltios.

#### 4.2. DMP desde perspectiva software

A nivel software, este proyecto desarrolla una aplicación y una librería de drivers y funciones a disposición de la primera. Estos dos elementos se apoyan en software de sistema compuesto por un sistema operativo en tiempo real, FreeRTOS, ya mencionado anteriormente que facilita la gestión de los sensores y procesado de su información en tiempo real y una librería que simplifica la interacción de la aplicación con el hardware también citada anteriormente. Se trata de la versión 2 de CMSIS.

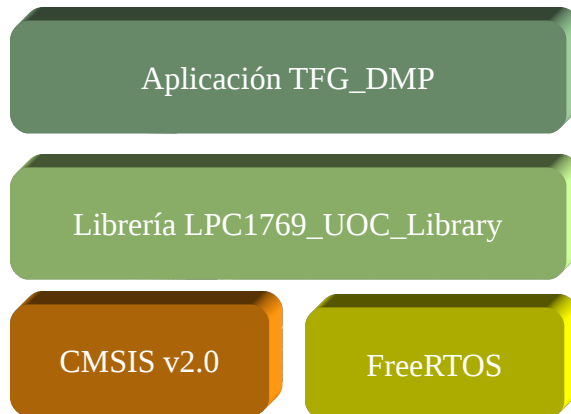


Figura 27: Esquema de software

La aplicación desarrollada está formada por cuatro tareas o procesos que se ejecutan de forma concurrente gracias al gestor o *sheduler* de tareas proporcionado por FreeRTOS. El siguiente diagrama ilustra el esquema de la aplicación:

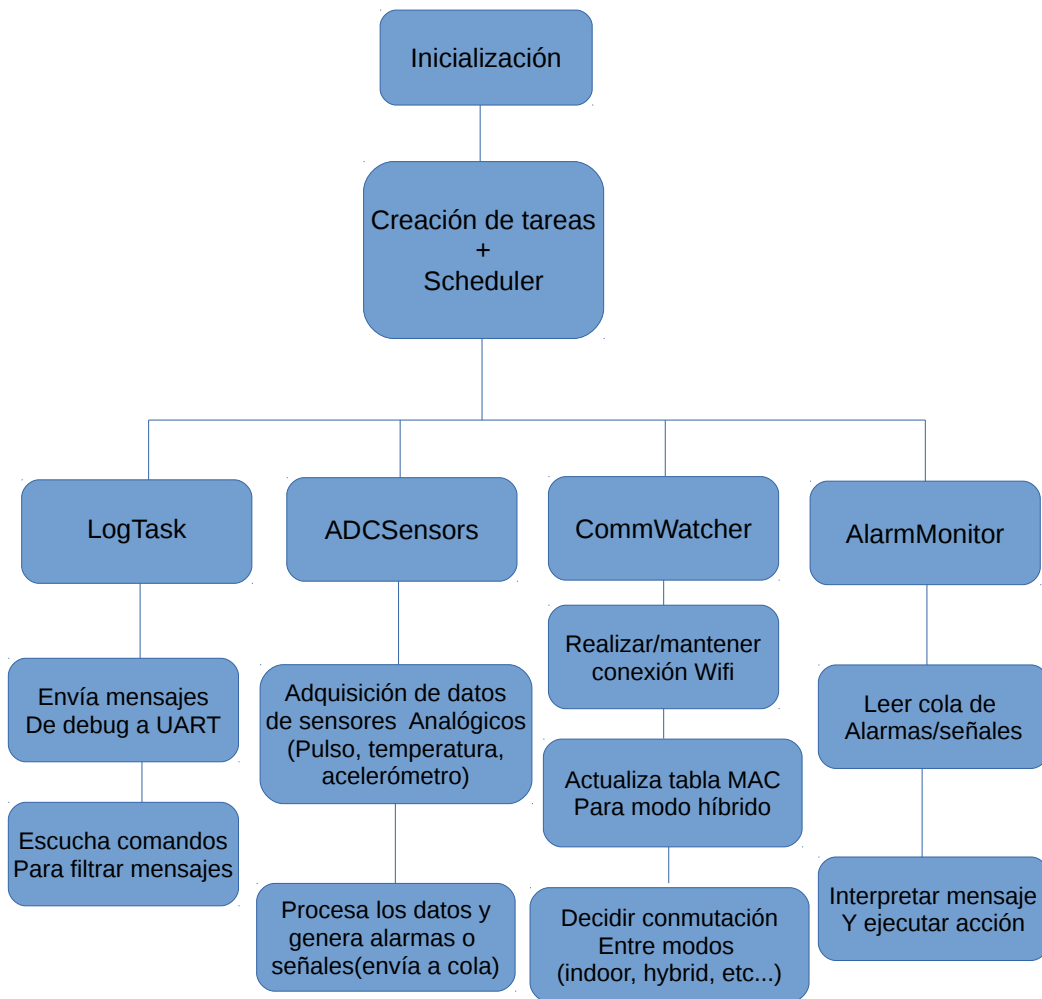


Figura 28: Esquema de aplicación software

Tras realizar la inicialización del sistema(activación de IRQs, inicio de ADC, etc...) se procede a la creación de las cuatro tareas que componen la aplicación y que se describen a continuación:

- **LogTask:** Esta tarea interacciona con el módulo de log de la librería desarrollada en el proyecto para enviar a UART mensajes faciliten las tareas de desarrollo del proyecto. Tal y como se explicará posteriormente, el módulo de librería log permite establecer filtros de mensajes en función del módulo emisor de modo que el desarrollador puede decidir que tipo de mensajes desea que le sean mostrados en tiempo de ejecución. Mediante otro módulo de la librería ,UARTScanf, el log es capaz de “escuchar” e interpretar comandos que envíe el desarrollador a través del teclado del PC para activar o desactivar filtros en tiempo de ejecución.
- **ADCSensors.** Esta tarea constituye el núcleo en cuanto a adquisición de datos se refiere. Interacciona con diversos módulos de la librería que implementan drivers y lógica de los sensores utilizados: acelerómetro, pulsómetro, termómetro. Además interacciona con el módulo AIMonitor, en el que se encapsula la cola de mensajes que implementa el buffer de alarmas y señales que genera el sistema y que constituye la espina dorsal del mismo.

Esta tarea mantiene el pulsómetro en estado shutdown adquiriendo datos del acelerómetro y del termómetro con un período de 800 milisegundos aproximadamente mediante el respectivo driver del ADC. Mediante el acceso a los métodos correspondientes de los módulos de librería de cada sensor, procesa los datos adquiridos del ADC y se generan las correspondientes alarmas (caídas, inactividad, zona de temperatura de riesgo) y/o señales de datos que son enviadas a la cola de mensajes mediante el método de adición del módulo de librería AIMonitor. Las alarmas y señales comparten la misma estructura de datos, si bien en cada caso se utilizarán unos campos u otros. La descripción de estos se ha realizado en el capítulo 3.

En caso de que se haya generado una alarma de inactividad, la tarea cambia su período de ejecución reduciéndolo a 5 milisegundos aproximadamente y activa el pulsómetro. De este modo, se muestrearán las medidas del sensor de pulso con un período de 5 milisegundos, una en cada ejecución de la tarea, hasta una duración total de 5 segundos, con lo que se dispondrá de un total de 1000 muestras almacenadas en un buffer. Este conjunto de muestras es enviado a través de socket al NCG de modo que se dispone en el servidor de streams de 5 segundos del pulso cardíaco del



usuario. Tras el envío la tarea se suspende durante otros 5 segundos para no saturar el microcontrolador y permitir ejecución de otras tareas que pueden necesitar tiempo de ejecución importante tal como la que gestiona la conectividad(CommWatcher).

Por otro lado, no es posible continuar realizando la adquisición de datos de otros sensores y su procesado en paralelo con el muestreo de la señal de pulso. En concreto el módulo que procesa los datos del acelerómetro realiza cálculos sobre tipos *float* para calcular la magnitud de las aceleraciones y los ángulos respecto a tierra. Este tipo de cálculos suponen un tiempo de procesamiento no despreciable que implicaría la imposibilidad de realizar un muestreo del pulso con un período suficientemente pequeño para obtener una señal muestreada útil.

Para evitar esta interferencia, en caso que la tarea deba muestrear el pulso cardíaco, cambiará la frecuencia de adquisición y procesado de datos del resto de sensores elevándola de 800 ms a más de 5 segundos, tras la lectura de un bloque de 1000 muestras. De este modo se garantiza su no interferencia en el muestreo.

Si bien a priori puede parecer excesivo elevar de tal modo el período de comprobación de aceleraciones que permitiría salir de la situación de muestreo de pulso regresando a una situación normal, las pruebas realizadas demuestran este nuevo período no supone mayores implicaciones.

- CommWatcher. Esta tarea se encarga de chequear las opciones de conectividad disponibles en cada momento y generar alarmas de conmutación que permiten que el sistema evolucione entre los diferentes modos de operación disponibles (indoor, hybrid o outdoor). La tarea hace uso del módulo de librería desarrollado para el componente Wifly que permite la conexión con puntos de acceso WIFI. En cada ejecución intentará realizar conexión a la wifi domiciliaria si esta está accesible o comprobará mediante comando ping si está sigue funcionando en caso de encontrarse ya conectado a ella.

Además, mediante el mismo módulo de librería desarrollado para el dispositivo Wifly siempre que se encuentre en modo indoor, es decir conectado a la red Wifi domiciliaria, realizará con una frecuencia configurable en la propia librería el mantenimiento de una tabla compuesta por las direcciones MAC de los tres primeros routers WIFI que sea capaz de recibir. De este modo si se pierde la conexión con la wifi domiciliaria, se habilita la posibilidad del modo hybrid realizando el posicionamiento mediante el uso de

dicha tabla, con lo que se pospone el uso del GPS con el consiguiente ahorro de batería. Este modo pretende evitar la transición directa al modo outdoor en caso de que el usuario abandone el domicilio pero continúe en sus proximidades, bien en la vivienda de un vecino, portal, o caso similar.

- AlarmMonitor: Esta tarea realiza la escucha de la cola de mensajes interpretando el contenido de cada uno que reciba, ya sea señal de información que enviará al NCG, alarma de cambio de modo de operación(indoor, hybrid, outdoor) que también enviará además de realizar la conmutación del sistema a dicho modo o alarmas de sensor, enviándola y actualizando el array que almacena el estado actual de todas las alarmas posibles. Esta tarea permite elaborar acciones respuesta particularizadas no solo para cada alarma o señal sino también para el tipo de transición de esta, bien se trate de una activación o desactivación de la alarma.

Realizada la descripción de la aplicación, se continúa con la descripción de la librería de drivers y lógica de sensores y otros dispositivos. La librería se compone de los siguientes módulos:

- Log: Contiene los métodos necesarios para la inicialización del servicio log con UART y velocidad de comunicación en baudios que se desee. Incorpora métodos locales que permiten la gestión del sistema de filtros para los mensajes que se envíen. Dispone de un método que muestra las opciones de filtrado que existen, y el estado actual de cada filtro(1 activo, 0 inactivo) además de permitir la opción de Reset, que solo permite el envío de mensajes de categoría general. Las categorías o filtros posibles se configuran en el fichero de cabecera del módulo y para este proyecto se definen los siguientes:
  - mGENER: Mensajes de interés general. Siempre se mostrarán ya que no es posible bloquear su envío. Pertenecen a esta categoría los mensajes que indican inicialización de servicios, impresión del menú de estado de filtros propio del módulo, y cualquiera que requiera emisión permanente por la relevancia de su contenido.
  - M THERM: Permite o bloquea la emisión de mensajes particulares relacionados con el sensor termómetro.
  - mACCEL: Actúa sobre mensajes provenientes del acelerómetro.
  - mANALO: Bloquea o permite mensajes sobre las mediciones del ADC.
  - MPULSO: Actúa sobre mensajes relacionados con el pulsómetro.

- mCOMMU: Bloquea o permite mensajes relacionados con Wifly o CommWatcher.
- Accelerometer: Este módulo realiza los cálculos a partir de mediciones del ADC sobre el MMA7361LC para obtener como resultado el valor de la aceleración en cada eje y su ángulo respectivo respecto a tierra. Además es capaz de generar las alarmas de caída o inactividad enviándolas a la cola de mensajes y los sumatorios de datos comentados anteriormente que le permiten generar señales de información relativos a la actividad del usuario.
- ADC: Este módulo permite la lectura de los canales del ADC empleados en este proyecto para la conexión de los sensores. En el caso del acelerómetro, debido a que en diversas pruebas se han detectado lecturas incorrectas de ocurrencia aleatoria que generaban malfuncionamiento en la lógica del sistema, el módulo ADC realiza una estimación media sobre un total de 300 lecturas de dicho sensor, de forma que puede retornar un resultado fiable.
- Thermometer: este módulo gestiona el sensor de temperatura. Permite establecer límites térmicos, hasta un máximo de seis, que determinarán la generación de zonas de temperatura. Dispone de métodos locales que permiten obtener valores de temperatura a partir de mediciones del ADC. Además dispone de métodos públicos que permiten saber si la temperatura a la que está expuesta el usuario sufre un cambio que implique conmutación a otra zona de las definidas el sistema y de que zona se trata, además de permitir el seguimiento de la evolución de temperatura de exposición que permite generar señales de datos del modo que es explicó en el capítulo 3.
- UART y UARTScanf: Son drivers que permiten acceso a la UART tanto para enviar datos como para recibirlos como ocurre en el caso del log.
- ButtonGPIO: Este módulo dispone de un método que permite habilitar la interrupción que permite la implementación del botón del pánico además de la función que sobrecarga la rutina de servicio de la misma. Genera una alarma y la envía a la cola de mensajes del módulo AIMonitor.
- Wifly: Este módulo implementa métodos para inicializar y configurar el dispositivo wifly de modo que permita la conexión con la red wifi generada por el punto de acceso del domicilio del usuario. Este módulo permite utilizar el cliente NTP del

dispositivo de modo que obtiene el valor RTC que proporciona el servidor hora.rediris.es

Además dispone de métodos que permiten el almacenamiento y renovación si procede de la tabla de direcciones MAC que da soporte al modo hybrid. En su fichero de cabecera la frecuencia con la que se actualizará dicha tabla y el período con el que se realizarán las tareas de mantenimiento de la conexión y conmutación entre modos de operación.

Este módulo implementados métodos para enviar datos al socket, uno para enviar un buffer de datos, utilizado para el envío de las muestras de la señal de pulso cardíaco y otro para envío de alarmas y señales. Respecto a este último y dado que la gestión y almacenamiento de alarmas pendientes de envío se hace mediante una cola de mensajes, se ha implementado la estrategia de mantener abierta la conexión al socket mientras queden elementos por enviar en la cola de mensajes, de este modo se evita abrir y cerrar el socket para cada elemento a enviar en caso de que se generen varias alarmas o señales de forma muy continuada.

- **AlMonitor:** Este módulo encapsula la cola de mensajes que sirve de columna vertebral del sistema. Dispone de métodos para añadir alarmas o señales a la cola, así como para leerlos y retirarlos. Además dispone de métodos para conmutar el modo de operación del DMP. También permite conocer el número de elementos que existen en la cola en un momento dado. Este módulo determina el modo de envío de una señal o alarma dada en función del modo de operación en que se encuentre el sistema de forma que en caso de tratarse de los modos hybrid o outdoor simplemente envía un mensaje al Log simulando su transmisión vía GSM. En caso de encontrarse en modo indoor, realiza uso del módulo Wifly para transmitirlo vía WIFI. Además implementa un sistema de retransmisión que aporta robustez frente a la caída temporal del socket, aunque la red wifi o el equipo servidor continúen operativos. En caso de superarse un número de retransmisiones preestablecido en la configuración del módulo, el sistema finalmente se apoyará en GSM para garantizar el envío de la alarma.

La librería incorpora otros módulos de menor envergadura que implementan otras funcionalidades que se citan a continuación:

- **LED:** proporciona en un único método público la opción de activar el led informativo.

- GPIO: Proporciona métodos para otros módulos de la librería que permiten configurar pines de propósito general y modificar sus niveles.
- Utils: Incluye un método que permite obtener el número serie del dispositivo y otro para realizar esperas activas.
- Pulse: Permite inicializar el pulsómetro y conmutarlo entre los modos activo y shutdown.

## 5. Viabilidad técnica

El objetivo de este proyecto es realizar un prototipo que suponga una prueba de concepto sobre una versión limitada de la solución global propuesta, el apartado 1.2. Por tanto no se pretende desarrollar un producto comercial, sino un prototipo que permita validar la viabilidad del proyecto global, aportando además valiosa información y resultados producto del proceso de desarrollo progresivo del prototipo. Estos resultados serán pieza fundamental para el desarrollo de un producto comercial que sí integre la totalidad de las funcionalidades descritas al principio de este documento, y que será fruto de la continuación del trabajo más allá del alcance de este proyecto.

Se ha comprobado que la tecnología elegida, tanto microcontrolador como sensores y módulos de conectividad, son válidos para la realización del prototipo ya que se ha logrado el desarrollo de éste siendo plenamente operativo. Además tal y como se ha planificado existe posibilidad de migración dentro de la tecnología ARM en caso de que sea necesario recurrir a controladores con otras capacidades para la implementación del producto global.

También resultan válidos los protocolos y software utilizados. En el plano de los primeros, resulta la elección de TCP/IP en lugar de UDP es la adecuada para la transmisión de los datos al NCG, ya que no se toleran pérdidas en ningún tipo de información y este requisito no variará en el desarrollo del sistema comercial. Si bien se ha empleado el convertor ADC para la adquisición de medidas realizadas por los sensores utilizados con éxito, la incorporación de otros sensores, incluso de naturaleza digital puede requerir utilización de otros protocolos como el I2C desarrollado por Philips.

Desde el punto de vista de la conectividad se ha comprobado la viabilidad del modo indoor y conmutación con los demás modos. Sin embargo, tal y como se ha indicado en el capítulo uno la necesidad del sistema se sitúa en el ámbito rural, que en la

Comunidad de Galicia presenta una orografía montañosa que puede suponer problemas de cobertura GSM. Si bien la viabilidad en cuanto a conectividad del prototipo esta demostrada, la viabilidad de una solución global que incorpore el modo outdoor depende de forma capital de la existencia de cobertura GSM-GPRS en dichas zonas o bien de alguna alternativa tal como Sigfox. No obstante en este último caso, se obliga a un rediseño del funcionamiento del sistema en modo outdoor ya que Sigfox limita a 12 bytes la longitud de los mensajes y permite hasta un máximo de 140 mensajes enviados por día.

## 6. Análisis y valoración de costes

El coste de la realización del prototipo PoC que desarrolla este proyecto se resume en la tabla 3: diferenciadores

<i>Concepto</i>	<i>Precio unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total</i>
Placa LPCxpresso basada en LPC1769	23,30	1	23,30
Placa pulsómetro AD8232	18,90	1	18,90
Acelerómetro MMA7361LC	6,01	1	6,01
Sensor temperatura TMP36	2,24	1	2,24
Módulo Wifly RN-XV	38,66	1	38,66
Resistencias	0,2	5	1
Condensadores cerámicos	0,2	2	0,4
Pulsador	0,6	1	0,6
XBEE adaptador para wifly	4	1	4
Módulo CP2102 USB/UART	4,06	1	4,06
Placa protoboard	2,07	1	2,07
Cables para protoboard(paquete de 20)	5	1	5
Diodo LED	0,11	1	0,11
Horas de trabajo	15	272	4080
<b>Total</b>			<b>4144,15€</b>

Tabla 3. Coste económico del prototipo PoC DMP

Dado que el producto consiste en una prueba de concepto y no un producto final y comercial plenamente operativo, no procede realizar un análisis de costes de su fabricación en masa para su comercialización u otros costes como los de implantación, mantenimiento, o certificaciones que pudieran proceder. Además el coste de prototipo variará al continuar el desarrollo hacia un producto comercial completo.

No obstante si que es posible añadir algunas consideraciones de carácter económico sobre dicha continuación del trabajo:

- Costes de fabricación en masa: Si bien no es posible disponer de una orientación clara en cuanto este coste hasta conocer la lista de materiales completa que requerirá un sistema completo y comercial, se puede conocer una estimación del coste de fabricación por volumen del producto. Mediante la web de la empresa [www.pcbcart.com](http://www.pcbcart.com) se ha obtenido un coste de fabricación del circuito aproximado a partir de 340 dólares un lote de 1000 unidades ascendiendo a un mínimo de 1100 dólares a partir de las 5000 unidades y superando los 2000 dólares a partir de las 10000 unidades. A estos costes hay que sumar el coste de los componentes electrónicos y su ensamblado, también proporcionado por la propia empresa y los impuestos aduaneros al recibir el producto, ya que la empresa se encuentra situada en China.
- Costes de conectividad en exteriores: La conectividad exterior GSM para poder implementar el modo outdoor representará un incremento en coste de implantación.
- Coste de desarrollo del NCG: Si bien este proyecto se dirige al desarrollo del sistema empotrado DMP, el desarrollo de un sistema completo comercializable requiere la implementación del servidor central o nodo gestor central(NCG) con el correspondiente aplicativo web.

## **7. Trabajo futuro y continuación desarrollo**

Una vez logrado el prototipo propuesto por este proyecto, cabe escrutar las posibilidades de continuación del trabajo hasta desarrollar un sistema completo y comercial.

Dado que el prototipo obtenido no es un producto comercial, sino una versión limitada del mismo, y que el sistema se verá ampliado con más funcionalidades, cabe

plantearse la posibilidad de que sea exigible realizar una migración a otro microcontrolador como el Kinetis, de bajo consumo y altas prestaciones, del mismo fabricante del utilizado en este proyecto y basado también en arquitectura ARM apoyado en soluciones de conectividad y sensores que proporciona NXP.

Otra opción es utilizar una placa de desarrollo de NXP orientada a aplicaciones de telemedicina como la Health Analog Front End basada en microcontrolador Kinetis ARM cortex – M4 que incorpora ADC y DSP y front ends para espirometría, pulso, sensor de glucosa, presión sanguínea.

NXP proporciona una amplia biblioteca de diseños y recursos para trasladar acortar el tiempo entre prototipo y producto comercial. Además dispone de un plan de soporte a largo plazo y un programa de *sponsorship* con el que apoya el desarrollo de proyectos seleccionados entre los que le son enviados en el marco de este programa.

Desde el punto de vista de sensores, es necesario evaluar la posible inclusión de nuevos dispositivos que añadan nuevas funcionalidades y al mismo tiempo mejorar las prestaciones de los empleados en este proyecto. Respecto al primer punto, entre los sensores candidatos a ser añadidos al dispositivo pueden encontrarse los siguientes:

- Sensor de humo, y gases combustibles. Una funcionalidad importante a ser añadida es la capacidad de detección de humos o fugas de gases combustibles como el butano o el propano. Se han documentado casos de personas pertenecientes al público objetivo de este proyecto que han sufrido situaciones de peligro por incendios o fugas de gas en sus domicilios. La inclusión de este tipo de sensor, como el que se muestra en la ilustración 28, en el DMP añade esta protección al usuario con el valor añadido de que esta protección continuará aunque el usuario abandone su domicilio y se traslade a otro local o establecimiento. La protección se centra por tanto en el usuario, no en la infraestructura siguiendo vigente las 24 horas del día independientemente de donde se encuentre éste.



Figura 29: Sensor de humo y gas MQ-2



Como ejemplo de mejora de un sensor de los utilizados en este proyecto, puede citarse la sustitución de los parches basados en gel que utiliza el sensor de pulso cardíaco por sensores sin contacto que registran el pulso cardíaco sin necesidad de usar geles electroestimuladores. Un ejemplo son los desarrollados por Quasar [QUA1] y que además son integrables en prendas de vestir, con lo podrían usarse en una banda pectoral.

## **8. Conclusiones finales**

Se han conseguido los objetivos previstos en el apartado 1.4. Se ha desarrollado un prototipo que cumple con los requerimientos establecidos en los objetivos básicos y secundarios y además se han completado objetivos extra explorado la posibilidad de nuevos sensores de posible incorporación al sistema, mejora de los existentes además de la posibilidad de continuar el desarrollo del producto más allá de este trabajo.

Tal y como se pretendía, el desarrollo de la prueba de concepto ha proporcionado no solo un producto prototipo sino un importante bagaje de conocimientos tanto sobre el diseño de sistemas de esta naturaleza como sobre el problema concreto que se pretende resolver.

Se ha podido comprobar como la integración del hardware y su uso, concretamente en el caso de los sensores constituye una de las partes más duras y complicadas del proyecto y sin duda la mayor fuente de retrasos e inconvenientes.

Por otro lado, la planificación de riesgos sobre la planificación temporal, el análisis previo de su impacto sobre el proyecto y la previsión de medidas de contingencia sobre estos se ha revelado como fundamental.

Tal y como se ha comentado en dicho apartado ha sido preciso aplicar dos medidas de contingencia, una de ellas internas, una debido a retraso en el desarrollo del driver del acelerómetro, y otra externa debida a retrasos en el suministro de sensores de pulso y temperatura por parte del proveedor. No obstante la primera de ellas no ha afectado gravemente a plazos ya que la aplicación de la medida correctora fue suficiente. Tras aplicar la medida correctora #1, la incidencia se resolvió en las 24 horas siguientes a la fecha prevista de finalización.

En el segundo caso se ha procedido a una reordenación de tareas posponiendo la codificación de los drivers de dichos sensores, de modo que ésta se ha realizado íntegramente durante la fase tres, en lugar de repartirse entre las fases dos y tres, mientras que la implementación completa de la conectividad WIFI y la conmutación entre modos indoor/hybrid/outdoor se ha implementado completamente durante la fase 2, en lugar de repartirse entre ambas fases, tal y como se había planteado en el apartado 1.6.

Finalmente, la posibilidad de continuar el desarrollo del sistema hasta lograr un sistema completo y comercial se muestra que posible tal y como se ha planteado en el apartado 7 resultando la implementación del modo outdoor como uno de los principales factores diferenciadores del producto frente a otras soluciones.

## 9. Glosario

**DMP:** Dispositivo monitor de personas

**NCG:** Nodo gestor central

**GPS:** Global positioning system

**ADC:** Conversor analógico-digital

**RFID:** Identificación mediante radiofrecuencia

**Socket:** Combinación de dirección IP y puerto para conexión entre aplicaciones.

**Wampp:** Servidor local orientado al desarrollo web.

**MySQL:** Sistema de gestión de bases de datos relacionales

**IDE:** Entorno para desarrollo de proyectos de software

**PHP:** Preprocesador de hipertexto.

**I2C:** Bus de comunicación serie para interconexión de sensores con microcontrolador.

**LPC1769:** Microcontrolador con tipo de arquitectura ARM Cortex

**UART:** Dispositivo para transmisión y recepción serie de modo asíncrono.

## 10. Bibliografía

[ABC1] Web: <http://www.abc.es/local-galicia/20140301/abci-perdidos-propios-pasos-201402271819.html>, Fecha 07/01/2017

[ACC1] Web: [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MMA7361LC.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7361LC.pdf), Fecha 07/01/2017

[CRZ1] Web: <http://www.cruzvermella.org/area/teleasistencia?lang=es>  
Fecha 07/01/2017

[IGE1] Instituto galego de estadística. Encuesta estructural a hogares, Galicia 2011, [www.ige.eu](http://www.ige.eu), 21/12/2016

[IGE2] Instituto galego de estadística. Encuesta estructural a hogares, Galicia 2014, [www.ige.eu](http://www.ige.eu), 21/12/2016

[IGE3] Instituto galego de estadística. Encuesta estructural a hogares, Galicia 2015, [www.ige.eu](http://www.ige.eu), 21/12/2016

[INE1] Instituto nacional de estadística. Encuesta Nacional de Salud, año 2006. [www.ine.es](http://www.ine.es), 21/12/2016

[INE2] Instituto nacional de estadística. Encuesta Nacional de Salud 2011-2012. [www.ine.es](http://www.ine.es), 21/12/2016

[LPC1] Web: [http://www.nxp.com/documents/user\\_manual/UM10360.pdf](http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10360.pdf),  
Fecha 07/01/2017

[PLS1] Web: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/AD8232.pdf>,  
Fecha 07/01/2017

[PRG1] Web: <http://elprogreso.galiciae.com/noticia/317566/buscan-un-quiroygues-que-desaparecio-en-la-montana>, Fecha 07/01/2017

[PRG2] Web: <http://elprogreso.galiciae.com/noticia/598122/hallan-un-septuagenario-que-daban-por-desaparecido-en-lugo>, Fecha 07/01/2017

[QUA1] Web: [http://www.quasarusa.com/technology\\_sensors.htm](http://www.quasarusa.com/technology_sensors.htm), Fecha 07/01/2017

[NXP1] Web: [http://www.nxp.com/support/university-programs/project-  
sponsorship:UNIVPROGRAM\\_STUSPONSORSHIP\\_CAT](http://www.nxp.com/support/university-programs/project-sponsorship:UNIVPROGRAM_STUSPONSORSHIP_CAT), Fecha 07/01/2017

[TMP1] Web: [http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-  
sheets/TMP35\\_36\\_37.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP35_36_37.pdf), Fecha 07/01/2017

[VOZ1] Web: [http://www.lavozdeg Galicia.es/sociedad/2009/10/01/0003\\_8007126.htm](http://www.lavozdeg Galicia.es/sociedad/2009/10/01/0003_8007126.htm),  
Fecha 07/01/2017

[VOZ2] Web: [http://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/sociedad/2013/08/21/sistema-  
gallego-permite-buscar-desaparecidos-alta-montana/0003\\_201308G21P26996.htm](http://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/sociedad/2013/08/21/sistema-gallego-permite-buscar-desaparecidos-alta-montana/0003_201308G21P26996.htm),  
Fecha 07/01/2017

[VOZ3] Web: [http://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/galicia/2016/01/17/alguien-visto-  
gumersinda/0003\\_201601G17P2993.htm](http://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/galicia/2016/01/17/alguien-visto-gumersinda/0003_201601G17P2993.htm), Fecha 07/01/2017