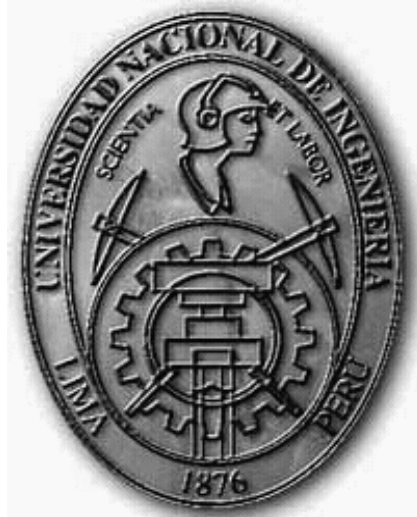


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ALERTA PERSONAL PARA PREVENCIÓN DE LESIONES Y  
MUERTE DE BOMBEROS EN LA ATENCIÓN DE  
EMERGENCIAS CON RIESGO DE DERRUMBE ESTRUCTURAL**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR:

**VANESSA JULIA GAMERO SOBERO**

PROMOCIÓN

2008-I

LIMA-PERÚ

2012

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA PERSONAL  
PARA PREVENCIÓN DE LESIONES DE BOMBEROS EN LA ATENCIÓN DE  
EMERGENCIAS CON RIESGO DE DERRUMBE ESTRUCTURAL**

Dedico esta tesis:

Especialmente a mi madre  
Emilia Sobero, por su apoyo  
incondicional.

A mi padre y mis hermanos  
Patricia y Sandino, por sus  
consejos que siempre me han  
ayudado.

## SUMARIO

Las emergencias con riesgo de derrumbe estructural suceden en la actualidad con frecuencia en nuestro país. Los bomberos atienden estas emergencias muchas veces sin contar con los dispositivos y equipos necesarios que salvaguarden su integridad física debido a la falta de recursos en las estaciones de bomberos. Este problema, los expone a quedar lesionados, atrapados o a sufrir caídas de consideración ante un derrumbe no previsto de la infraestructura. El diseño e implementación de un sistema de alerta personal para los bomberos fue desarrollado en esta tesis con el objetivo de ayudar a prevenir lesiones y muerte de bomberos en la atención de emergencias con riesgos de derrumbe estructural.

El Sistema de Alerta Personal está conformado por un módulo para el bombero (Módulo Portátil) y un módulo para el comandante (Módulo Central). En ambos módulos se implementó una interfaz para comunicación por voz que es controlada desde el Módulo Central donde se realiza el monitoreo del bombero. La función principal del Módulo Portátil es sensar continuamente el movimiento del bombero, usando un acelerómetro de tres ejes. Los datos del acelerómetro son procesados por un microcontrolador mediante un algoritmo basado en el método de los umbrales y la orientación del cuerpo para detectar ausencia de movimiento y caídas que el bombero haya podido sufrir. Los datos del sensado de movimiento del bombero son enviados hacia el Módulo Central vía radiofrecuencia. En los resultados del algoritmo se obtuvo un porcentaje de 90% de acierto en la detección de caídas y un porcentaje de 94% de acierto en la detección de ausencia de movimiento.

## INDICE

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Revisión de los sistemas de alerta propuesto para lo bomberos.....	2
1.2.1	Sistema de Gestión de Telemetría para Emergencias.....	2
1.2.2	Sistema ProeTex.....	3
1.2.3	Sistema de Monitoreo de Navegación en Interiores para Bomberos y Personas con Deficiencia Visual.....	4
1.2.4	Sistema de Seguridad de Alerta Personal (PASS).....	5
1.3	Planteamiento del problema.....	5
1.4	Objetivos.....	6
1.4.1	Objetivo principal.....	6
1.4.2	Objetivos específicos.....	6
1.5	Justificación.....	7
1.6	Metodología.....	7
1.7	Organización de la tesis.....	7
1.8	Agradecimientos.....	8

### CAPÍTULO II

#### MONITOREO DEL MOVIMIENTO DEL BOMBERO

2.1	El movimiento humano.....	10
2.2	Instrumentos usados en la medición del movimiento humano.....	11
2.2.1	Sistema de imágenes.....	11
2.2.2	Sistemas inerciales.....	12
2.3	El acelerómetro.....	13
2.3.1	Principio de funcionamiento.....	13
2.3.2	Clasificación de acelerómetro.....	14
2.3.3	Características dinámicas del acelerómetro.....	16
2.4	Medición del movimiento humano con el acelerómetro.....	18
2.4.1	Ubicación del sensor de movimiento en el bombero.....	18
2.4.2	Atenuación del ruido en la medición del movimiento.....	19

### CAPÍTULO III

#### CONCEPCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA

3.1	Requerimientos.....	20
3.2	Criterios de diseño.....	20
3.3	Propuesta del sistema.....	22
3.3.1	Descripción.....	22
3.3.2	Diagrama de bloques de los módulos del sistema.....	23
3.4	Hardware del sistema.....	25
3.4.1	Interfaz para la adquisición de voz.....	25

3.4.2	Interfaz para la reproducción de voz.....	30
3.4.3	Interfaz para el sensado de movimiento.....	30
3.4.4	Interfaz de las alarmas.....	31
3.4.5	El módem de radio.....	33
3.4.6	Microcontrolador del sistema.....	34
3.5	Alcances del sistema.....	37
3.6	Limitaciones del sistema.....	37

## **CAPÍTULO IV**

### **CONTROL DEL SISTEMA**

4.1	Microcontrolador PIC32MX360F512L.....	38
4.1.1	Características.....	38
4.1.2	Arquitectura.....	38
4.1.3	Organización de la memoria.....	39
4.2	Monitoreo de los movimientos del bombero.....	40
4.2.1	Configuración del acelerómetro para el sensado de movimiento.....	40
4.2.2	Pre-procesamiento de los datos del acelerómetro.....	40
4.2.3	Algoritmo para detección de ausencia de movimiento y caídas.....	40
4.3	Comunicación por voz.....	44
4.3.1	Adquisición de la señal de voz.....	44
4.3.2	Compresión ADPCM para las muestras de voz.....	45
4.3.3	Reproducción de voz.....	48
4.4	Configuración del módem de radio.....	49
4.5	Transmisión por RF de los paquetes de voz y datos.....	51
4.5.1	Protocolo para la transmisión de los paquetes.....	51

## **CAPITULO V**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

5.1	Pruebas con el sensor de movimiento.....	53
5.1.1	Pruebas de calibración del acelerómetro.....	53
5.1.2	Pruebas de atenuación de ruido en las lecturas del acelerómetro.....	57
5.1.3	Pruebas para la determinación de los valores umbrales de ausencia de movimiento y caídas.....	58
5.2	Pruebas de verificación de la señal de voz.....	61
5.3	Pruebas de alcance con los módems de radio.....	61

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>62</b>
--------------------------------------------	-----------

### **ANEXO A**

Circuitos esquemáticos del Sistema de Alerta Personal.....	64
------------------------------------------------------------	----

### **ANEXO B**

Lista de componentes y costo de implementación del Sistema de Alerta Personal.....	69
------------------------------------------------------------------------------------	----

### **ANEXO C**

Código fuente del Sistema de Alerta Personal .....	72
----------------------------------------------------	----

### **ANEXO D**

Fotografías del Sistema de Alerta Personal .....	81
--------------------------------------------------	----

**ANEXO E**

Especificaciones técnicas de los componentes del Sistema de alerta Personal..... 87

**BIBLIOGRAFIA**..... 99

# CAPITULO I INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

Las emergencias con riesgo de derrumbe estructural pueden ocurrir durante un incendio, debido a que las altas temperaturas debilitan las estructuras, por problemas estructurales en la construcción de edificaciones o por desastres naturales como sismos o terremotos.

Las emergencias con riesgo de derrumbe estructural debido a incendios son muy recurrentes ya que según las estadísticas del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios [1] en el año 2011 se registraron 11088 emergencias por incendios.

Como antecedente, podemos citar lo ocurrido en mayo de 2011 en el incendio del Centro Aéreo Comercial del Callao que ocasionó el colapso del techo. El comandante de los bomberos, Antonio Zavala, detalló que el incendio no dejó heridos ni muertos aunque se supo de dos bomberos que tuvieron síntomas de asfixia y otros dos sufrieron caídas por las dificultades de la emergencia [2]. Las emergencias con riesgo de derrumbe estructural debido a sismos o terremotos o por malas construcciones son atendidas en el Perú por los bomberos especializados del grupo USAR (Urban Search and Rescue). Podemos citar dos ejemplos de estas emergencias; el rescate de personas en el terremoto de Pisco en agosto de 2007 (ver figura 1.1) y la emergencia ocurrida por el derrumbe de un edificio en México el 2010 donde se realizó labores de rescate. Son varios los riesgos para el bombero que atiende una emergencia con riesgo de derrumbe estructural, como el quedar aislado debido al colapso de una estructura, sufrir alguna caída, perder la conciencia por el impacto de algún elemento estructural, etc. Este último caso puede dejar al bombero sin la posibilidad de pedir ayuda o incluso ocasionarle la muerte como ha sucedido en emergencias con riesgo de derrumbe estructural en otros países. Las normas de seguridad de la NFPA (National Fire Protection Association) indican el uso obligatorio de dispositivos de alerta personal complementarios al equipamiento de protección como cascos, botas y guantes en emergencias que implican un alto riesgo para el bombero.



El NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) de Los Estados Unidos recomienda el uso de un PASS (*Personal Alert Safety System*) y una radio para comunicación en emergencias con riesgo de derrumbe estructural además recomienda que el comandante siga de cerca la ubicación del personal que ingresa a atender la emergencia. Los bomberos en Perú enfrentan desde hace varios años la falta de equipos, en un número suficiente para cada bombero o gran parte de sus equipos son obsoletos, esta situación no permite que se cumplan las normas de la NFPA y las recomendaciones del NIOSH en su totalidad. El incumplimiento de estas normas pone en riesgo la integridad física del bombero y su vida.



**Figura 1.1** Bomberos del grupo USAR buscando víctimas del terremoto en Pico en agosto de 2007 [4].



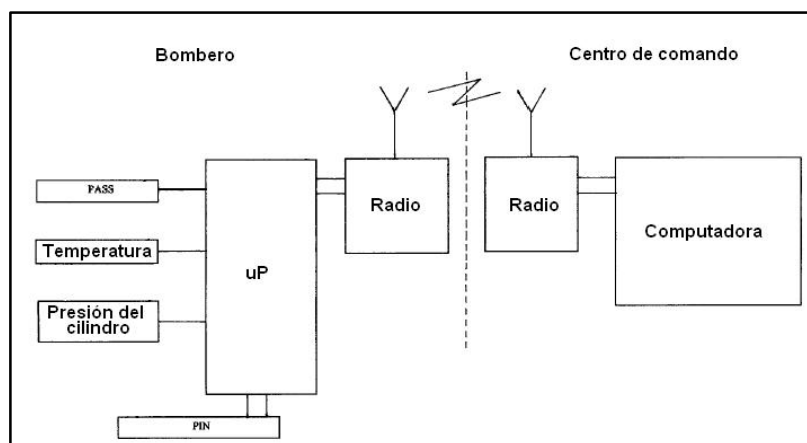
**Figura 1.2** Labores de rescate en el derrumbe de un edificio en México [3].

## 1.2 Revisión de los sistemas de alerta propuestos para los bomberos

### 1.2.1 Sistema de Gestión de Telemetría para Emergencias

Este sistema cuenta con una patente que fue aprobada el 23 de setiembre del 2008 en Los Estados Unidos.

El sistema cuenta con sensores para el monitoreo de volumen de aire comprimido del tanque del bombero, sensores para medir la temperatura exterior y un sensor para el monitoreo de los movimientos del bombero. La información de los sensores es enviada vía un enlace de radiofrecuencia hacia una computadora que se encuentra en un punto remoto. El diagrama de bloques del Sistema de Gestión de Telemetría para Emergencias se muestra en la figura 1.3.



**Figura 1.3** Diagrama de bloques del Sistema de Gestión Inalámbrico de Telemetría para Emergencias.

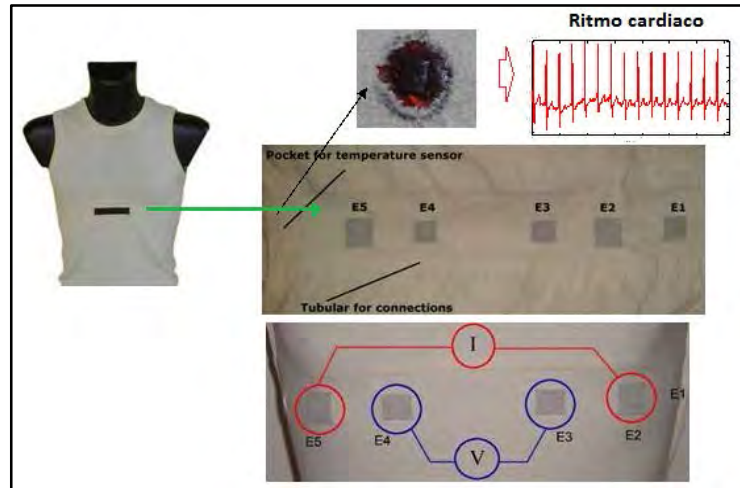
### 1.2.2 Sistema ProeTex

Este proyecto se desarrolló en Europa, basado en la combinación de la electrónica con los textiles para crear las “prendas *inteligentes*”. El sistema ProeTex tiene dos prendas para el bombero una interior que cuenta sensores biológicos, desarrollados con micro tecnología, para el monitoreo de los signos vitales del bombero (respiración y ritmo cardiaco).

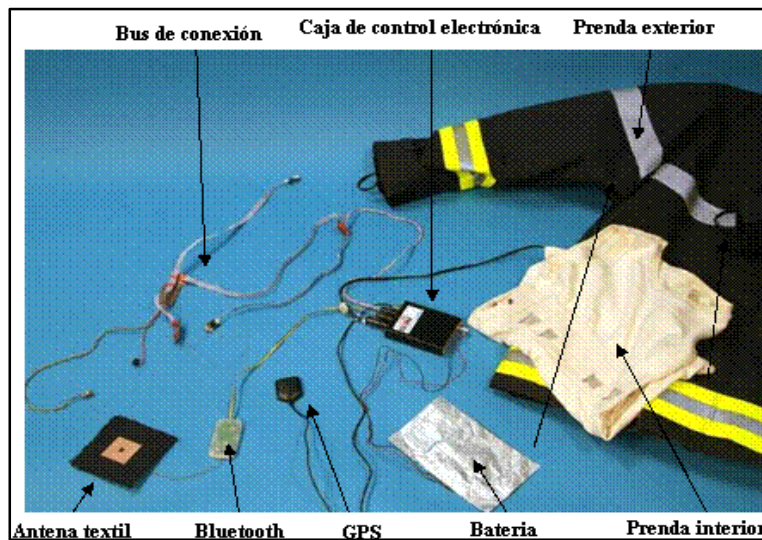
La prenda exterior es un chaleco que tiene sensores de temperatura, un sensor de movimiento, un dispositivo GPS (Global Positioning System) y un módulo de comunicación inalámbrico para enviar los datos hacia una central de monitoreo.

El sistema ProeTex se coloca en el exterior del traje del bombero e incluye un accesorio para la víctima que se le coloca cuando es rescatada, para monitorear sus señales biomédicas. El sistema fue realizado por varias universidades de Europa y fue probado a fines del año 2010. La estructura de la prenda interior, con la posición de los sensores de temperatura y de Electrocardiograma (ECG) que son colocados en una camiseta a la altura del tórax del rescatista, se muestra en la figura 1.4.

La prenda exterior y los componentes de todo el sistema ProeTex se muestran en la figura 1.5.



**Figura 1.4** Prenda interior del sistema Proetex con los sensores biomédico [5].

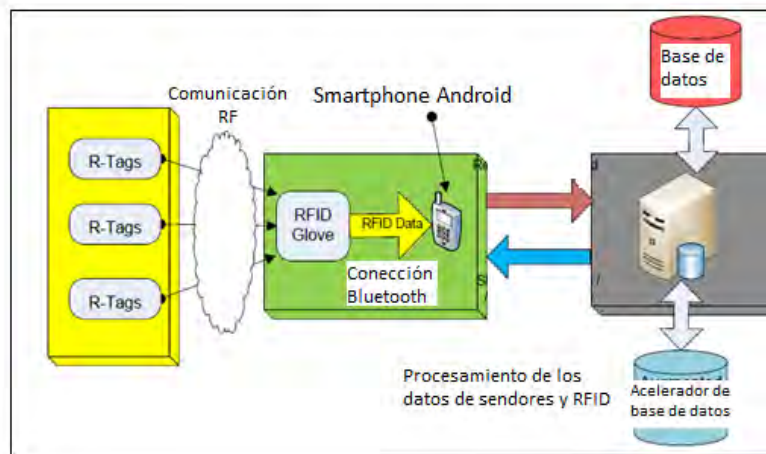


**Figura 1.5** Prenda exterior del sistema Proetex con sus accesorios [5].

### 1.2.3 Sistema de Monitoreo de Navegación en Interiores para Bomberos y Personas con Deficiencia Visual en Tiempo Real

Este sistema fue desarrollado en una tesis doctoral [6] en mayo de 2011. El sistema fue desarrollado en un dispositivo móvil que trabajaba con el sistema operativo Android, para localizar y monitorear a un bombero o una persona con deficiencia visual en ambientes interiores usando RFID (Radio Frequency IDentification) para identificarlos. Los datos son enviados vía un enlace de radiofrecuencia hacia el dispositivo móvil, este a su vez transmite los datos hacia una computadora vía bluetooth, donde los datos son procesados y puede obtenerse la ubicación del bombero.

En la figura 1.6 se muestra el diagrama de bloques del sistema de monitoreo.



**Figura 1.6** Arquitectura del Sistema de Monitoreo de Navegación en Interiores para los Bomberos y Personas con Deficiencia Visual en Tiempo Real [6].

#### 1.2.4 Sistema de Seguridad de Alerta Personal (PASS)

Este sistema es conocido también como “sistema de alarma de hombre quieto” es un dispositivo personal usado en emergencias que implican altos riesgos para el bombero, para su seguridad. El PASS sensa el movimiento del bombero constantemente y cuando detecta ausencia de movimiento durante un periodo de tiempo (el cual puede ser configurable), emite una señal auditiva y una señal visual de luz con la finalidad de ayudar a localizar al bombero.

En la figura 1.7 se muestra un dispositivo PASS de la marca Dräger y un dispositivo PASS de la marca Grace modelo SuperPASS.



**Figura 1.7** Dispositivos PASS.

### 1.3 Planteamiento del problema

En la actualidad, en nuestro país existe el problema de darles mayor seguridad a los bomberos cuando acuden a atender una emergencia con riesgo de derrumbe estructural.

En una emergencia con riesgo de derrumbe estructural el bombero expone su integridad física y su vida, si no cuenta con un equipamiento adecuado de protección y de alerta personal con el que su actividad pueda ser monitoreada constantemente durante la emergencia. La mayoría de bomberos en nuestro país no cuenta con este equipamiento debido a que el Cuerpo General de Bomberos es una entidad de pocos recursos y generalmente los dispositivos de alerta personal no se encuentran en el mercado local lo que dificulta que el bombero pueda adquirir uno por medios propios.

Al conocer este problema se plantea una solución viable que consiste en el diseño e implementación de un sistema de alerta personal de bajo costo para los bomberos con el cual se pueda monitorear su actividad en tiempo real mediante un sensor de movimiento y que además este sistema tenga una interfaz que permita al bombero comunicarse por voz.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo principal**

El objetivo principal es realizar el diseño e implementación de un Sistema de Alerta Personal para los bomberos que ayude a prevenir lesiones y muerte en la atención de emergencias con riesgo de derrumbe estructural.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Para alcanzar el objetivo principal enunciado anteriormente se deberán lograr los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar e implementar un módulo portátil para el bombero que acude directamente a la emergencia. Este módulo incluirá un sensor de movimiento, una interfaz de adquisición/ reproducción de voz, un microcontrolador, una interfaz generadora de sonido, una interfaz de emisora de luz y una interfaz de comunicación por radiofrecuencia.
- Diseñar e implementar un módulo central para el comandante, que visualizará la información del bombero de forma remota. Este módulo incluirá una interfaz de adquisición/ reproducción de voz, una interfaz de comunicación por RF, un microcontrolador y una unidad indicadora de mensajes.
- Desarrollar y programar los algoritmos en los microcontroladores de cada módulo del sistema de alerta.

## **1.5 Justificación**

El diseño e implementación del sistema de alerta personal de esta tesis tiene dos tipos de aportes importantes, uno del tipo social por el motivo de salvaguardar la vida del bombero que acude a la emergencia y el otro del tipo tecnológico debido a que el módulo portátil del sistema de alerta personal integra un detector de movimiento y un modem de radio que permite conmutar voz y datos.

## **1.6 Metodología**

Para el desarrollo de la tesis se realizó primero una investigación basada en entrevistas con los bomberos de las estaciones de Santa Anita, San Martín de Porres y Miraflores. Se obtuvo información sobre las emergencias más recurrentes y los equipos de protección y seguridad con los que cuentan los bomberos en su estación. En base a esta información se encontró que las emergencias con riesgo de derrumbe estructural son muy recurrentes, principalmente en los incendios, se encontró además que los bomberos cuentan con pocas unidades (algunas muy antiguas) y en un número insuficiente para los bomberos que atienden la emergencia o en algunos casos no cuentan con ningún dispositivo de alerta personal.

Por ello se decidió realizar un aporte a la seguridad de los bomberos mediante el diseño y la implementación un sistema de alerta personal. En entrevistas posteriores se reunió la información sobre los requerimientos más importantes para el diseño del sistema. En base a estos requerimientos se realizó el diseño de un prototipo. El siguiente paso fue la implementación del prototipo y la etapa de pruebas, los resultados se analizaron para obtener las conclusiones de la tesis.

## **1.7 Organización de la tesis**

El trabajo de tesis está organizado de la siguiente forma:

### **Capítulo I**

En este capítulo se plantea el tema de la tesis; los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación del trabajo de tesis y la metodología usada.

### **Capítulo II**

En este capítulo se realiza una introducción a la tecnología para el monitoreo del movimiento del bombero. Se describe las características del movimiento humano, los instrumentos utilizados en la medición de movimiento. Luego se detalla el principio del

funcionamiento del acelerómetro como sensor elegido y se detalla como se realiza la medición de movimiento del bombero.

### **Capítulo III**

En este capítulo se detalla como fue concebido el diseño del sistema. Para ello Se describen los requerimientos para el sistema, los criterios de diseño tomados para el sistema propuesto.

### **Capítulo IV**

En este capítulo se explica en forma detallada como se realiza el control de las funcionalidades del sistema.

### **Capítulo V**

En este capítulo se detallan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

### **Conclusiones y recomendaciones**

En esta sección se exponen las conclusiones de la tesis.

### **Anexos**

La tesis concluye con cuatro anexos para una mejor comprensión, cuyo contenido se describe a continuación:

En el anexo A se muestran los diagramas de los circuitos electrónicos del Sistema de Alerta Personal.

En el anexo B se detalla la lista de componentes del Sistema de Alerta Personal y su presupuesto.

En el anexo C se muestra las características técnicas más importantes de los componentes del Sistema de Alerta Personal

En el anexo D se muestra el código fuente del firmware del Sistema de Alerta Personal.

En el anexo E se muestra las imágenes del Sistema de Alerta Personal.

### **Bibliografía**

En esta sección se detalla la documentación perteneciente a otros autores y la información obtenida en páginas web.

## **1.8 Agradecimientos**

Quisiera expresar mi agradecimiento al Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones (INICTEL – UNI) por la oportunidad brindada para desarrollar el presente trabajo de tesis en sus instalaciones. A los Ingenieros Daniel Díaz Ataucuri,

Roxana Morán Morales y Modesto Palma García, actual Director Ejecutivo de INICTEL-UNI, por la oportunidad brindada.

Al Ing. Juan Meza Arrieta (†), primer asesor de la tesis, que con su apoyo y consejos hizo posible el desarrollo y culminación de este trabajo, al Ing. Domingo Lazo Ochoa, segundo asesor, quien realizó las correcciones finales y al Mg. Eleazar Sal y Rosas especialista de la tesis.

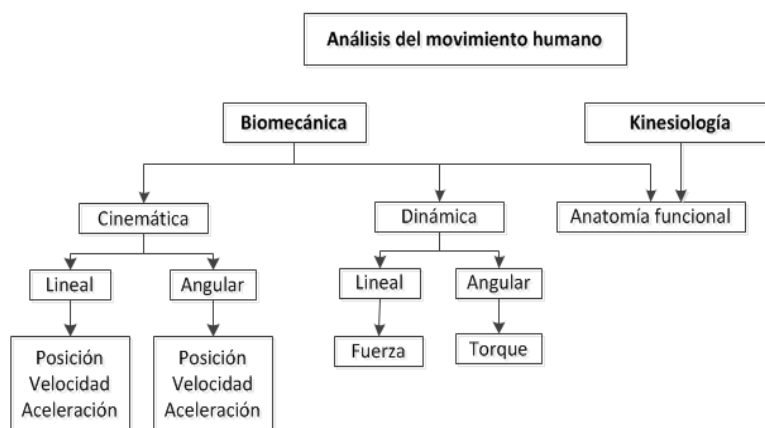
De modo especial a mis compañeros de trabajo, Ing. Rubén Acosta, Mg. Sergio Salas, Ing. Ricardo Yauri y amigos de la universidad Bach. Keitel Cervantez y Bach. Moisés Almeyda, quienes con su amistad y gran aprecio me motivaron constantemente en la realización de esta tesis.



## CAPITULO II MONITOREO DEL MOVIMIENTO DEL BOMBERO

### 2.1 El movimiento humano

El movimiento humano es estudiado por la Biomecánica y la Kinesiología. La Biomecánica estudia la estructura mecánica de los seres vivos principalmente el del ser humano. Para ello se apoya en los conocimientos de la anatomía, la mecánica y la fisiología [7]. En la figura 2.1 se muestran los componentes de la Biomecánica para el estudio del movimiento.



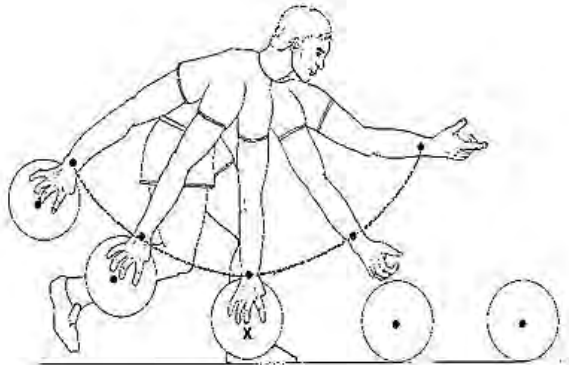
**Figura 2.1** Componentes de la Biomecánica para el estudio del movimiento humano.

Las dos ramas principales de la Biomecánica para el estudio del movimiento son la cinemática y la dinámica. La cinemática estudia las características del movimiento en el espacio y tiempo sin analizar las causas que producen el movimiento y la dinámica estudia y analiza las causas que originan un movimiento. Debido a que el objetivo en esta tesis, es el monitoreo de los movimientos del bombero solo será de interés el estudio cinemático del movimiento.

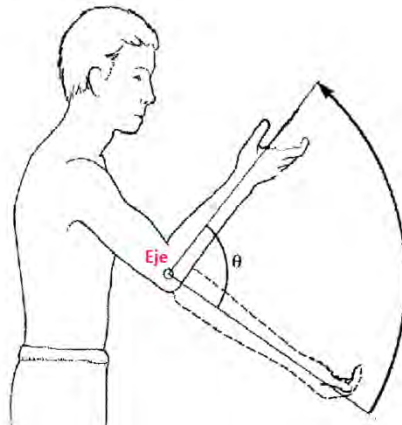
El movimiento humano visto desde la cinemática puede ser clasificado en movimientos de traslación y rotación. En el movimiento de traslación o movimiento lineal todos los puntos

del cuerpo o de un segmento del cuerpo se desplazan en una trayectoria recta o curvilínea. Un ejemplo de movimiento lineal es el realizado por la muñeca al lanzar una pelota, tal como se muestra en la figura 2.2.

En el movimiento angular todos los puntos del cuerpo o de un segmento del cuerpo rotan alrededor de un eje con ángulos iguales. Un ejemplo de movimiento angular es el realizado al flexionar el antebrazo teniendo como eje al codo, tal como se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.2** Movimiento lineal de la muñeca al lanzar una pelota



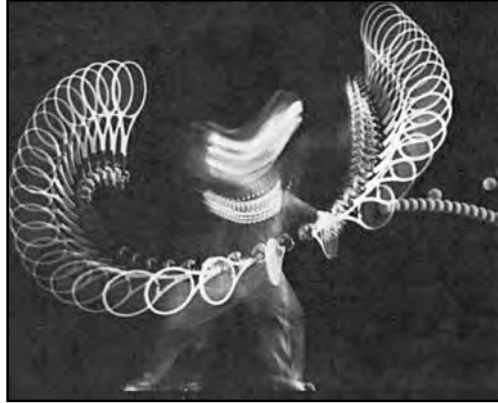
**Figura 2.3** Movimiento angular del antebrazo con eje en el codo

## 2.2 Instrumentos utilizados en la medición del movimiento humano

### 2.2.1 Sistemas de imágenes

El sistema de imágenes usa cámaras fijas, cámaras de alta velocidad y video para la captura de los movimientos de una persona. Para capturar la imagen del movimiento se colocan marcadores luminosos en los puntos de sensado sobre el cuerpo y se realizan las pruebas en un cuarto oscuro, donde las cámaras fijas toman múltiples imágenes y el movimiento

aparece como una secuencia de rayos de luz, tal como se muestra en la figura 2.4. Las cámaras de alta velocidad (500-20,000 cuadros por segundo) proporcionan un amplio número de datos para el análisis de movimientos rápidos, a diferencia de las cámaras fijas las pruebas se realizan en un ambiente iluminado, tal como se muestra en la figura 2.5.



**Figura 2.4** Captura de movimiento usando cámaras fijas [9].



**Figura 2.5** Captura de movimiento utilizando cámaras de alta velocidad [9].

### 2.2.2 Sensores inerciales

Los sensores inerciales usados comúnmente para el monitoreo de las diferentes partes del cuerpo son el acelerómetro y el giroscopio, basados en la tecnología MEMS (*Microelectromechanical Systems*). El acelerómetro mide la aceleración de un cuerpo y el giroscopio mide la velocidad angular de un cuerpo, ambos sensores pueden realizar mediciones en uno o tres ejes.

Un acelerómetro con respuesta a la aceleración estática (aceleración de la gravedad) puede medir la inclinación del cuerpo (orientación) según su ubicación y puede ser usado para clasificar ciertas posturas. Para el objetivo del estudio de la tesis donde se requiere la detección de ausencia de movimiento y caídas es suficiente el uso de un acelerómetro.

## 2.3 El acelerómetro

### 2.3.1 Principio de funcionamiento

El sistema del acelerómetro está compuesto por una masa unida a un elemento de suspensión mecánico (resorte) con un extremo anclado al marco de referencia del sistema [10], tal como se muestra en la figura 2.6. Donde  $M$  es la masa,  $K$  la constante del resorte y  $b$  el coeficiente de amortiguación o “damping”.

Cuando el sistema es acelerado la fuerza de inercia provoca la deflexión de la masa, el desplazamiento será proporcional a la aceleración del sistema. Según la Segunda Ley de Newton el sistema tendrá la siguiente ecuación:

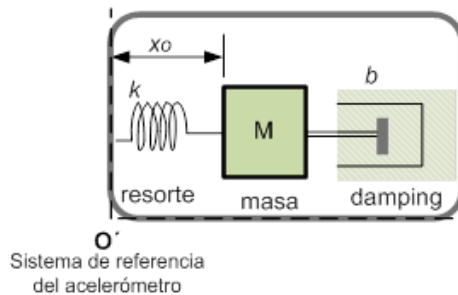
$$-kx = Ma' \quad (2.1)$$

Donde  $x$  es el desplazamiento de la masa y  $a'$  es la aceleración de la masa relativa a un sistema de referencia inercial, como se muestra en la figura 2.7. Se tiene la siguiente ecuación para  $a'$ :

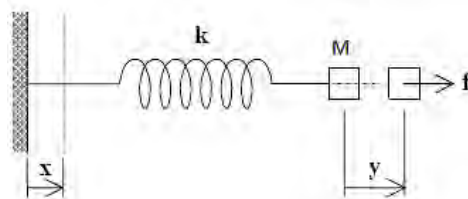
$$a' = \frac{d^2y}{dt^2} \quad (2.2)$$

Reemplazando la ecuación (2.2) en (2.1) tenemos la ecuación para el sistema:

$$kx = \frac{d^2y}{dt^2} + k \frac{dy}{dt} \quad (2.3)$$



**Figura 2.6** Sistema del acelerómetro.



**Figura 2.7** Desplazamiento de la masa del sistema del acelerómetro.

### 2.3.2 Clasificación del acelerómetro

#### ➤ Acelerómetro Capacitivo

El acelerómetro capacitivo está conformado por placas estacionarias (capacitores) ancladas internamente al sustrato y una masa con placas incrustadas (capacitores). La masa es sujeta en sus extremos por anillos, como se muestra en la figura 2.8. Cuando la masa se desplaza entre las placas ancladas, la capacitancia del sistema varía. En reposo las capacitancias entre las placas son iguales, es decir  $C_a = C_b = C_0$ , cuando la masa se desplaza los nuevos valores de capacitancia son:

$$C_a = \epsilon_0 \frac{S}{d + \epsilon} \quad C_b = \epsilon_0 \frac{S}{d - \epsilon} \quad (2.4)$$

Esto se muestra en la figura 2.9. Donde  $S$  es la superficie de las placas,  $\epsilon$  es el desplazamiento relativo entre la placa central y las placas ancladas, y  $d$  es la distancia en reposo entre la placa central y las placas ancladas.

La diferencia de capacitancia es detectada colocando dos capacitores como un arreglo resistivo y polarizando de forma inversa sus extremos. Dado que cuando el sistema es acelerado  $C_a \neq C_b$ , se tiene que la nueva diferencia de potencial entre las placas, donde  $V_1(s)$  es la inicial:

$$V_2(s) = \frac{C_b - C_a}{C_b + C_a} V_1(s) \quad (2.5)$$

La ecuación anterior también puede expresarse como:

$$v_2(t) = \frac{v_1(t)}{d} = \frac{a(t)}{\omega_0^2 d} v_1(t) \quad (2.6)$$

La ecuación anterior muestra que la tensión de salida es proporcional a la aceleración. Por lo tanto la aceleración será proporcional al desplazamiento de las placas.

#### ➤ Acelerómetro Piezoeléctrico

Su funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico que consiste en la polarización temporal de la superficie de un material piezoeléctrico cuando es sometido a una tensión mecánica. El sistema del acelerómetro piezoeléctrico (ver figura 2.10) está conformado por

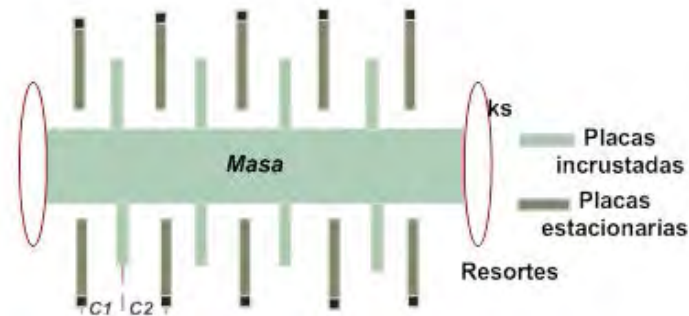
una masa, un elemento piezoeléctrico. Cuando el sistema experimenta aceleración la masa ejerce una fuerza sobre el material piezoeléctrico generando una diferencia de potencial como respuesta.

### ➤ Acelerómetro Piezoresistivo

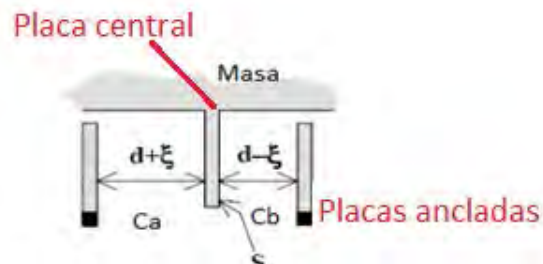
Su funcionamiento se basa en el efecto piezoresistivo que consiste en la variación de la resistencia de un material cuando es sometido a un esfuerzo. Cuando el sistema del acelerómetro piezoresistivo (ver figura 2.11) experimenta aceleración la masa del sistema ejerce una fuerza sobre el sustrato deformándolo temporalmente. Las variaciones de resistencia son detectadas por un puente Wheatstone formado por elementos piezoresistivos.

### ➤ Acelerómetros MEMS

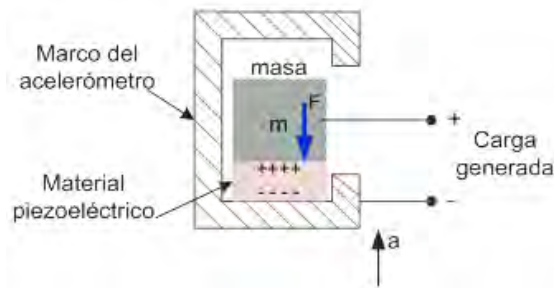
La aplicación de la tecnología MEMS en la fabricación de acelerómetros ha permitido la miniaturización a escala micrométrica de muchos sensores entre ellos el acelerómetro, reduciendo los costos de fabricación. Actualmente bajo esta tecnología se pueden fabricar acelerómetros del tipo capacitivo, piezoeléctrico, piezoresistivo y óptico. En la tabla 2.2 se muestra un resumen de las principales características según el tipo del acelerómetro.



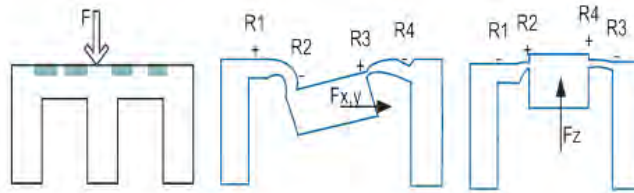
**Figura 2.8** Estructura de un acelerómetro capacitivo.



**Figura 2.9** Detalle de la geometría del acelerómetro capacitivo.



**Figura 2.10** Elementos de un acelerómetro piezoeléctrico.



**Figura 2.11** Aplicación de una fuerza externa en el acelerómetro piezoresistivo.

**Tabla N°2.2** Comparación de características según el tipo de acelerómetro.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
<b>Capacitivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena linealidad.</li> <li>• Bajo ruido de salida.</li> <li>• Bajo consumo.</li> <li>• Costo relativamente bajo.</li> <li>• Puede medir aceleración estática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja resolución</li> <li>• Frágiles</li> </ul>
<b>Piezoeléctrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio rango dinámico (2Hz-15khz). Debido a esta característica puede ser usado en la medición de vibraciones y grandes impactos.</li> <li>• Muy buena linealidad sobre su rango dinámico.</li> <li>• Amplio rango de frecuencias.</li> <li>• Baja sensibilidad a la temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No posee respuesta en DC.</li> <li>• Requiere un acondicionador externo de carga.</li> <li>• Relativamente frágil con las caídas, el cristal puede dañarse y dar falsas lecturas o dejar inoperativo al dispositivo.</li> </ul>
<b>Piezoresistivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede medir aceleración estática.</li> <li>• Costo alto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta sensibilidad a la temperatura.</li> <li>• Resolución limitada debido al ruido resistivo.</li> </ul>

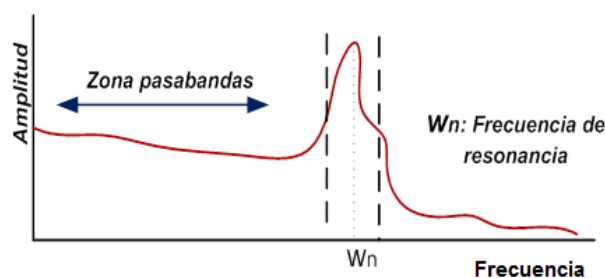
### 2.3.3 Características dinámicas del acelerómetro

#### ➤ Sensibilidad

La sensibilidad es la medida del cambio en los valores de salida del sensor ante los cambios de aceleración (valores de entrada). Este parámetro se usa como factor de escala en la interpretación de las lecturas del acelerómetro.

### ➤ Respuesta en frecuencia

Su valor representa el porcentaje de desviación respecto de la sensibilidad nominal en el rango de frecuencias que trabaja el acelerómetro. En la gráfica de respuesta en frecuencia del acelerómetro se puede distinguir tres zonas: resonancia, pasabandas y ruptura. La zona de resonancia es el punto donde la respuesta en frecuencia del acelerómetro tiene la máxima sensibilidad que corresponde a la frecuencia de resonancia ( $w_n$ ). La excitación del acelerómetro en las cercanías a la frecuencia de resonancia resulta en elevados picos de amplitud. La zona con frecuencias en el rango de  $0.2w_n$  a  $0.5w_n$  es la zona pasabandas, el comportamiento del acelerómetro en esta zona es lineal es decir la sensibilidad es independiente de la frecuencia. La zona con frecuencias mayores a  $w_n$  es la zona de ruptura del acelerómetro que se caracteriza por tener valores de amplitud muy atenuados. En la figura 2.12 se muestra las zonas de operación en frecuencia del acelerómetro.



**Figura 2.12** Zonas de operación en frecuencia del acelerómetro.

### ➤ Sensibilidad transversal

La sensibilidad transversal es la sensibilidad del acelerómetro a  $90^\circ$  de su eje axial. Idealmente un acelerómetro debe medir la aceleración en cada eje sin la interferencia de las medidas de los otros ejes, pero en la práctica no sucede esto. Un acelerómetro con valores bajos de sensibilidad transversal asegura que la aceleración en cada eje es producto del movimiento únicamente en la dirección de ese eje. El valor de la sensibilidad transversal los acelerómetros comerciales es generalmente del 5% y en los acelerómetros de mayor precisión el valor de la sensibilidad transversal es menor al 2 %.

### ➤ Rango de aceleración

El rango de aceleración que debe soportar el acelerómetro varía de acuerdo a la aplicación en la que será usado. La documentación revisada [12] [13] brinda una referencia del rango de aceleración en las situaciones que se muestran en la tabla 2.1.



Los valores del rango de aceleración normalmente se expresan con el símbolo de la gravedad 'g'. El valor de g es  $9.8 \frac{m}{s^2}$ .

**Tabla N°2.1** Rangos de aceleración según la aplicación a realizar.

<b>Descripción de la actividad</b>	<b>Rango- g</b>
Contador de pasos cortos, medida de inclinación, detección de caída libre.	1g-2g
Detección de gestos.	1g-4g
Desvanecimiento de personas.	7g
Análisis de impacto.	8g
Monitoreo de vibración.	8g-10g
Detección de un pasajero.	100g
Detección de un gran impacto (activación del airbag).	250g

## 2.4 Medición del movimiento humano con el acelerómetro

Al usar un acelerómetro como sensor para medir los movimientos del bombero intervienen varios factores en la lectura:

1. Aceleración estática o gravitacional.
2. Aceleración debida al movimiento del cuerpo.
3. Vibraciones externas.
4. Aceleraciones espurias por el rozamiento del sensor con otros objetos.

De los factores listados solo 1 y 2 se deben al movimiento propio del cuerpo. La aceleración estática siempre está presente en el eje del acelerómetro que se encuentra paralelo a la dirección de la gravedad. Las vibraciones externas pueden ser causadas por ruido eléctrico y magnético así como el ruido de otros dispositivos cercanos al acelerómetro.

### 2.4.2 Ubicación del sensor de movimiento en el bombero

La colocación del sensor de movimiento en el cuerpo depende del estudio a realizar. Si es necesario medir el movimiento general del bombero, se recomienda colocar el sensor cerca

a uno de los centros de gravedad del cuerpo como la cintura, la espalda o el esternón [7][8][11] debido a que el acelerómetro registrará la trayectoria lineal del cuerpo.

En otros estudios se eligió colocar el sensor de movimiento a la altura de la cintura para registrar el movimiento lineal del cuerpo y detectar caídas además de la facilidad con la que puede sujetarse el sensor por medio de una correa sin intervenir en las actividades de la persona a monitorear.

### 2.4.3 Atenuación del ruido en la medición del movimiento

La atenuación del ruido del acelerómetro en la medición de movimiento del bombero se realiza con el uso de filtros digitales. El filtro a usar dependerá del tipo de ruido que se quiere aislar y el costo computacional requerido para su implementación. A continuación se describe los tipos de filtros seleccionados, por su fácil implementación que se usarán en el procesamiento de los datos del acelerómetro:

#### ➤ Filtro mediana móvil

El principio del filtro mediana es analizar una vecindad de elementos de la señal del tamaño de la ventana del filtro, ordenando los elementos de menor a mayor dentro de la ventana para escoger el de posición media que resulta el más similar a los otros dentro de la vecindad. El filtro mediana es no lineal y se usa para eliminar el ruido impulsivo.

La ecuación del filtro mediana es:

$$y[i] = \text{mediana}(x_i, x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-N+1}) \quad (2.7)$$

Donde N es la longitud de la ventana del filtro.

#### ➤ Filtro FIR

El filtro FIR (Finite Impulse Response) es no recursivo y su respuesta en fase es lineal. Esta característica tiene la ventaja que las diferentes frecuencias del acelerómetro al pasar por el filtro tendrán el mismo retardo. El filtro FIR suele aplicarse en aplicaciones de tiempo real ya que no requiere de los valores de salida anteriores.

La ecuación del filtro FIR es descrito por la siguiente ecuación:

$$y(n) = \alpha_0 x(n) + \alpha_1 x(n-1) + \dots + \alpha_{N-1} x(n-(N-1)) + \alpha_N x(n-N) \quad (2.8)$$

Donde y(n) es la salida, x(n) la entrada y N es el orden del filtro.

## **CAPITULO III CONCEPCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA**

### **3.1 Requerimientos**

Para la concepción del sistema se realizó entrevistas a los comandantes de las estaciones de bomberos de San Martín de Porres, Miraflores y Santa Anita. En estas entrevistas se expuso la idea del diseño e implementación de un sistema de alerta personal que funcione para los bomberos en emergencias con riesgo de derrumbe estructural, la información recopilada sobre los requerimientos más importantes que el sistema debía tener se muestran a continuación:

1. En conjunto el sistema debe tener uno o varios módulos portátiles (usados por un bombero) y un módulo central (usado por el comandante) para el monitoreo de los módulos portátiles.
2. El módulo portátil debe contar con un sensor de movimiento para monitorear los movimientos del bombero y detectar su actividad, una interfaz para comunicación por voz y un indicador de alerta mediante sonido y luz de leds.
3. El módulo central debe contar con una interfaz para comunicación por voz y un indicador de mensajes para visualizar la actividad del bombero.
4. La comunicación por voz en ambos módulos (portátil y central) debe ser remota, por ello cada módulo debe contar con un módem de radio.
5. El movimiento del bombero debe ser sensado en tres dimensiones (x, y, z).
6. El sonido de alerta debe ser calibrado a una frecuencia de 1 kHz.
7. La alerta visual debe ser luz de leds ultra brillantes.

### **3.2 Criterios de diseño**

En base a los requerimientos se aplicaron los siguientes criterios de diseño para el sistema.

#### **Criterio 1: Interfaz para comunicación por voz**

La interfaz para comunicación por voz está conformada por una interfaz para adquisición de voz y una interfaz para reproducción de voz.

En el diseño de la interfaz para adquisición de voz se consideró lo siguiente:

- Una etapa de acondicionamiento para el transductor de voz (micrófono electret) que debe centrar la señal de voz en el rango de 0 - 3.3 V.
- Un filtro analógico pasa baja y pasa alta para acotar el ancho de banda de la señal de la voz en el rango de 100 - 4 kHz.
- Una etapa de digitalización, conformada por un convertidor analógico-digital (ADC) de 12 bits, para mayor resolución en las muestras de voz.

En el diseño de la interfaz para reproducción de voz se consideró lo siguiente:

- Una etapa de conversión digital-análoga por modulación de ancho de pulsos (PWM).
- Un filtro pasa baja analógico a la salida del PWM con frecuencia de corte en 4 kHz.

### **Criterio 2: Monitoreo de los movimientos del bombero**

Para el monitoreo de los movimientos del bombero se consideró:

- Un sensor inercial de aceleración (acelerómetro) que actuará como sensor de los movimientos del bombero en tres dimensiones.

### **Criterio 3: Modem de radio para transmisión inalámbrica de paquetes de voz y datos**

Para la comunicación por voz y el monitoreo de los movimientos del bombero en forma remota es necesario un módem de radio que cumpla con las siguientes características:

- Tasa de transferencia en el aire mayor a 115 kbps para soportar la transmisión de paquetes de voz con las características indicadas anteriormente. Esta tasa de transferencia será suficiente para transmitir los datos del sensor de movimiento.
- Modulación robusta contra factores que pueden afectar al canal de comunicación como interferencias y desvanecimiento por múltiple trayectoria. El desvanecimiento por múltiple trayectoria ocurre cuando dos o más señales transmitidas llegan al receptor en fases opuestas cancelando parcial o completamente la señal.
- Alcance mínimo en la transmisión de 20 metros.
- Funcionamiento en una banda no licenciada, es decir que no haya costos por usar el canal de comunicación.

#### **Criterio 4: Indicador de alerta**

- La alarma sonora estará conformada por un sensor piezoeléctrico que se activará cuando se detecte ausencia de movimiento o caídas durante un periodo de tiempo mayor a 3 min.
- La alarma visual estará conformada por leds ultra brillantes.

### **3.3 Propuesta del sistema**

#### **3.3.1 Descripción**

Siguiendo los requerimientos para el sistema y en base a los criterios de diseño explicados anteriormente, la propuesta para el Sistema de Alerta Personal se basa en el diseño de dos módulos: un Módulo Portátil (MP) y un Módulo Central (MC). Se usará estas abreviaturas para mencionar a los componentes del Sistema de Alerta.

El MP será diseñado para ser usado por el bombero y tendrá como funciones sensor y procesar los datos del movimiento del bombero para detectar caídas y ausencia de movimiento (mayores a tres minutos), además de manejar una interfaz para comunicación por voz entre el bombero y su comandante. El MP estará conformado por las siguientes componentes:

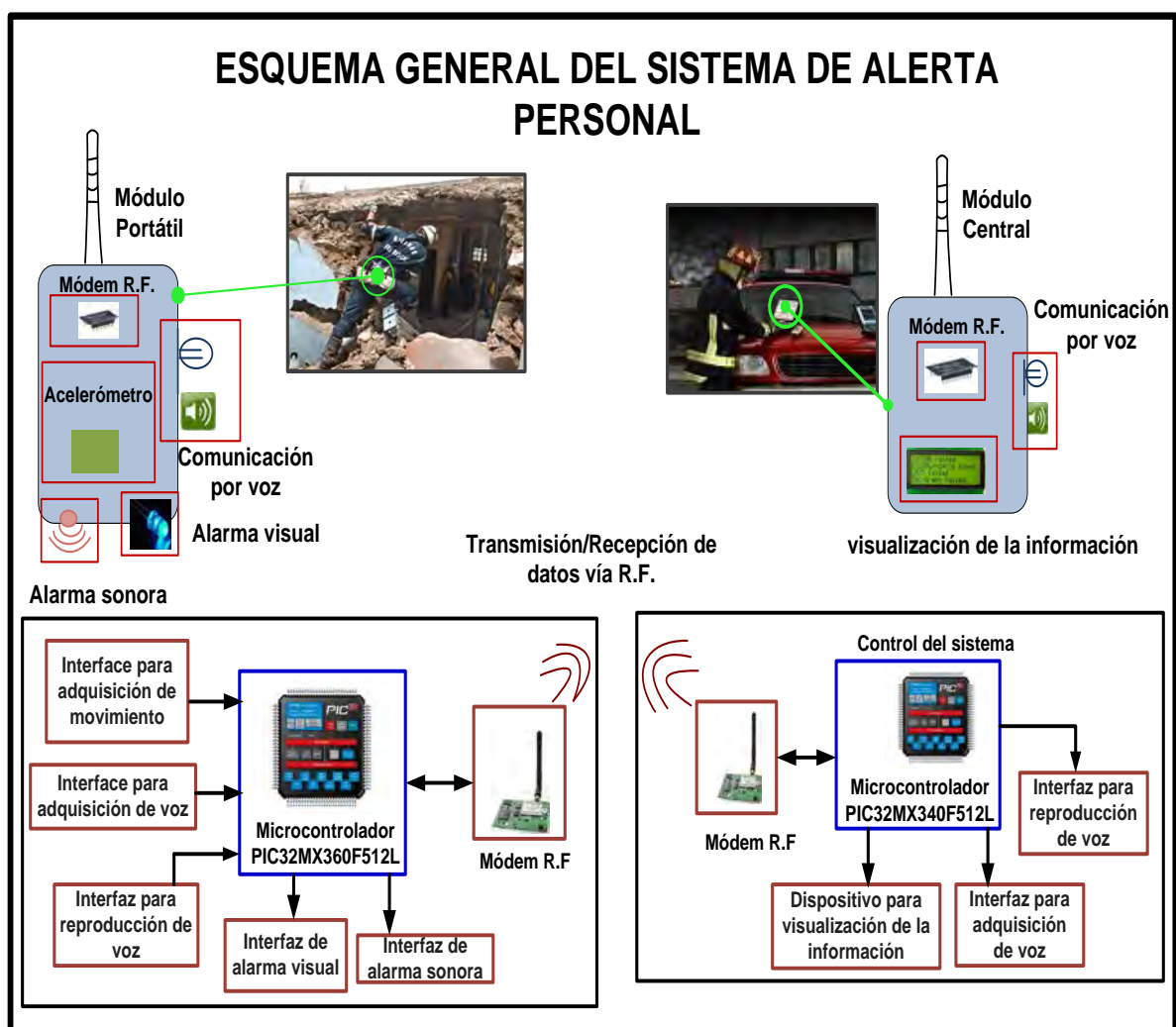
- Un acelerómetro capacitivo de tres ejes.
- Un micrófono electret como transductor de voz.
- Un ADC de 12 bits de hasta 200 ksps (muestras por segundo).
- Un módem de radio que trabaja en la banda UHF no licenciada, con tasa de transferencia configurable hasta 500 kbps.
- Un buzzer piezoeléctrico para generar un tono de alerta a 1kHz.
- Leds ultra brillantes.
- Un microcontrolador de 32 bits el PIC32MX360F512L.

El MC será diseñado para ser usado por el comandante y tendrá como funciones el monitoreo de forma remota de la actividad del bombero y la comunicación por voz con el MP, que se realizará cuando sea solicitada por este módulo. El MC estará conformado por las siguientes componentes:

- Un micrófono electret como transductor de voz.

- Un ADC de 12 bits de hasta 200 ksp/s.
- Un modem de radio en la banda UHF no licenciada, con tasa de transferencia configurable hasta 500 Kbps.
- Una pantalla de cristal líquido (LCD) para la visualización de mensajes enviados desde el MP.
- Un microcontrolador de 32 bits el PIC32MX360F512L.

En la figura 3.1 se muestra el esquema general del Sistema de Alerta Personal.



**Figura 3.1** Esquema general del Sistema de Alerta Personal

### 3.3.2 Diagrama de bloques de los módulos del sistema

El diagrama de bloques del MP se muestra en la figura 3.2 y el diagrama de bloques del MC se muestra en la figura 3.3.

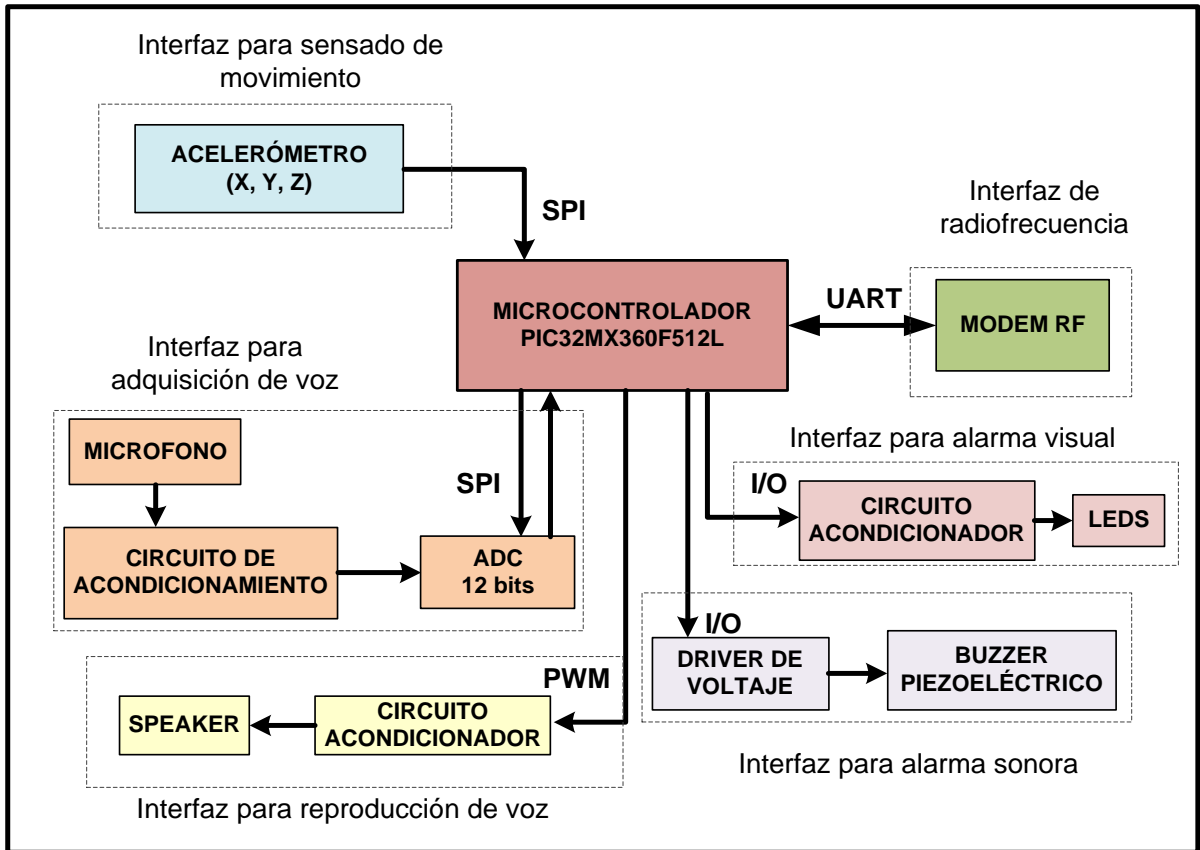


Figura 3.2 Diagrama de bloques del MP.

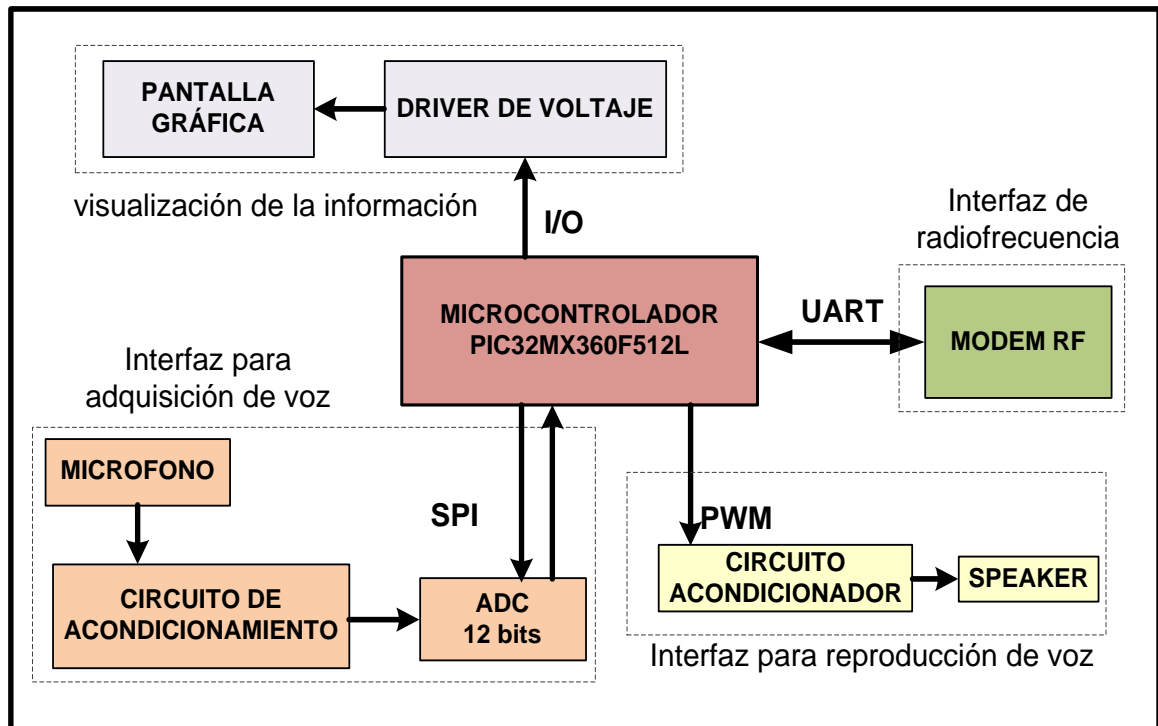


Figura 3.3 Diagrama de bloques del MC.

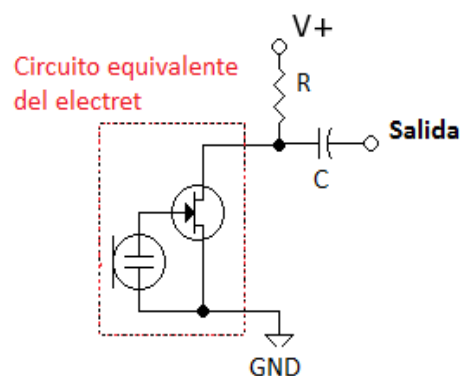
### 3.4 Hardware del sistema

#### 3.4.1 Interfaz para adquisición de voz

El transductor usado para la captura de voz es un micrófono electret. Este fue seleccionado debido a su disponibilidad en el mercado local, su bajo costo y su desempeño. Sus principales características se mencionan a continuación:

- No necesita alimentación externa debido a que tiene un electrodo interno polarizado permanentemente.
- Es del tipo omnidireccional es decir capta el sonido en todas las direcciones.
- Respuesta en frecuencia entre los 20 Hz y 20 kHz.
- Relación señal a ruido (S/N) mayor a 55 dB.
- Voltaje de alimentación entre 2-10V
- Consumo típico de corriente 0.5 mA.
- Impedancia menor a 2.2 k $\Omega$ .

El circuito equivalente del micrófono electret (ver figura 3.4) está conformado por la cápsula electret y un amplificador FET. La cápsula electret fue polarizada durante su fabricación por ello no necesita ser polarizada por una fuente externa, solo el amplificador FET necesita de una alimentación externa. En la hoja técnica del micrófono electret indican que es necesario polarizar al amplificador FET con una resistencia *pull-up* de 1-10 k $\Omega$  y un capacitor de acoplamiento para el paso de la señal de voz.

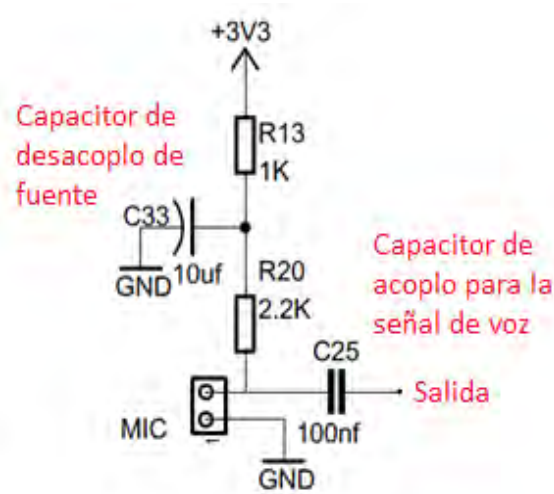


**Figura 3.4** Circuito equivalente del micrófono electret.

El voltaje de polarización para el micrófono electret es 3.3V debido a que el microcontrolador del sistema es de nivel lógico CMOS (0-3.3V). En la hoja técnica recomienda usar un capacitor de desacoplamiento para el voltaje que alimenta al micrófono



electret con el fin de evitar el ruido de alimentación. Siguiendo las recomendaciones del fabricante el circuito de polarización para el micrófono electret se muestra en la figura 3.5.



**Figura 3.5** Circuito de polarización del micrófono electret.

La corriente de polarización del micrófono es calculada como:

$$I_{mic} = \frac{3.3V}{2(R13 + R20)} = 0.51 \text{ mA} \quad (3.1)$$

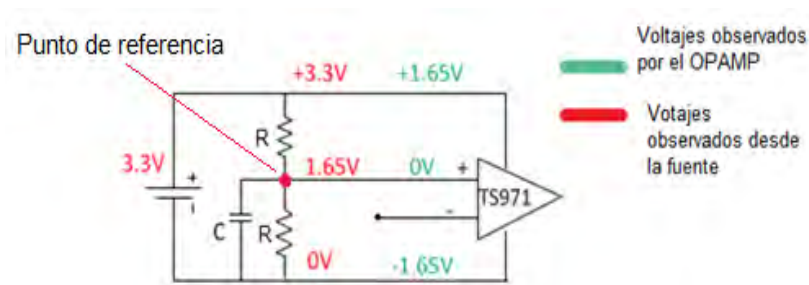
La salida del circuito de polarización tiene niveles de voltaje muy bajos que no pueden ingresar directamente al ADC por ello la señal necesita pasar por una etapa de acondicionamiento para adecuarse a niveles lógicos del ADC (0-3.3V) y acotar el rango de frecuencias de la señal de voz de 100-4 kHz.

Se usó un amplificador operacional (OPAMP) en la etapa de acondicionamiento para amplificar la señal de voz y como un filtro pasa bajo. El OPAMP elegido fue el TS971, de *Analog Devices*, por las siguientes características:

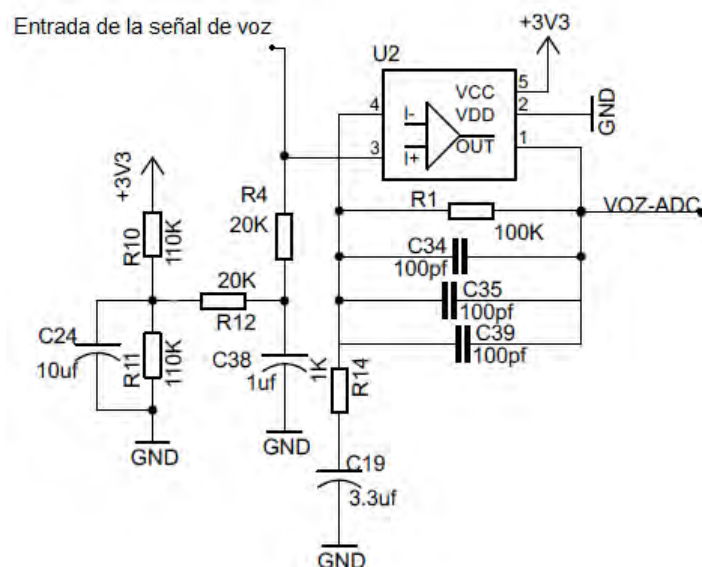
- Voltaje de alimentación, con fuente única, de 2.7-10V que se adecua al rango del voltaje salida de la señal de voz del electret a 3.3V.
- Bajo consumo de corriente  $I_{cc} = 2 \text{ mA}$ .
- *Slew rate* de  $4 \text{ V}/\mu\text{s}$ .
- Salida de señal rail to rail.
- Está disponible en un empaquetado pequeño modelo SOT23-5 (2.8 x 2.9 mm).

Para que la porción negativa de la señal de voz pueda pasar por el OPAMP es necesario realizar una configuración de “*tierra artificial*”. Esta configuración se realizó colocando un divisor resistivo en la entrada no inversora, para situar el punto de referencia del OPAMP a la mitad de su voltaje de alimentación, este punto será la referencia a tierra del OPAMP o “*tierra artificial*” (ver figura 3.6). Los valores que observa el OPAMP desde el punto de referencia son  $+\frac{V_{cc}}{2}$  y  $-\frac{V_{cc}}{2}$  donde  $V_{cc}$  es el voltaje de alimentación, tal como se muestra en la figura 3.6. El OPAMP además es configurado como un circuito pasa bajo no inversor, con una frecuencia de corte cercana a los 4 kHz.

El circuito de acondicionamiento para la señal de voz se muestra en la figura 3.7.



**Figura 3.6** Polarización del OPAMP TS971



**Figura 3.7** Circuito de acondicionamiento para la señal de voz

La impedancia de entrada del OPAMP está dada por la resistencia R4, su valor no debe ser muy bajo para evitar bloquear la señal del micrófono electret, por ello se eligió el valor de 20 k $\Omega$  para R4.

Para el divisor resistivo de voltaje el valor de las resistencias R10 y R11 escogido 110 k $\Omega$ , ya que solo es necesario como voltaje de referencia, el capacitor C24 de 10  $\mu$ F se utiliza para mantener estable el voltaje de referencia. Además para limitar la corriente de entrada al OPAMP se coloca la resistencia R12 de 20 k $\Omega$  a la salida del divisor de tensión.

En el análisis DC del circuito de acondicionamiento debe cumplirse:

$$R1 = R4 + R12 + \frac{(R10 * R11)}{R10 + R11} \quad (3.2)$$

Con los valores definidos para las resistencias, se realizó el cálculo:

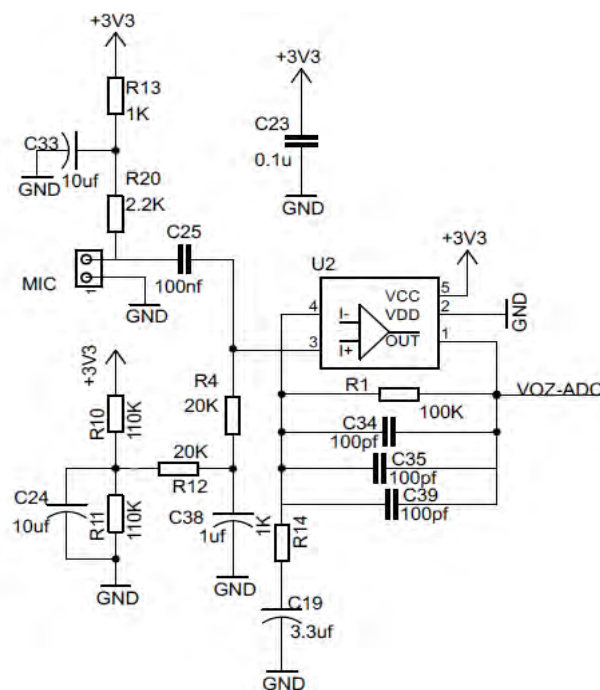
$$100 \text{ k}\Omega = 20 \text{ k}\Omega + 20 \text{ k}\Omega + 55 \text{ k}\Omega \quad (3.3)$$

El resultado indica que existe una diferencia de 5 k $\Omega$  que ocasionará un pequeño offset en la señal de voz.

Para el factor de amplificación de la señal de voz (ganancia del OPAMP) G se escogió los valores de 100 k $\Omega$  para R1 y 1 k $\Omega$  para R14, con los cuales es calculado G:

$$G = \frac{R1}{R14} = 100 \quad (3.4)$$

El circuito completo de acondicionamiento para la señal de voz se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3.8** Circuito de acondicionamiento para la señal de voz.

En el circuito de acondicionamiento para la señal de voz se observan dos filtros, un filtro pasa alta conformado por las resistencias R20, R4 y C25 con frecuencia de corte ( $F_{CL}$ ) dada por:

$$F_{CL} = \frac{1}{2 * \pi * (R20 + R4) * C25} = 71.72 \text{ Hz} \quad (3.5)$$

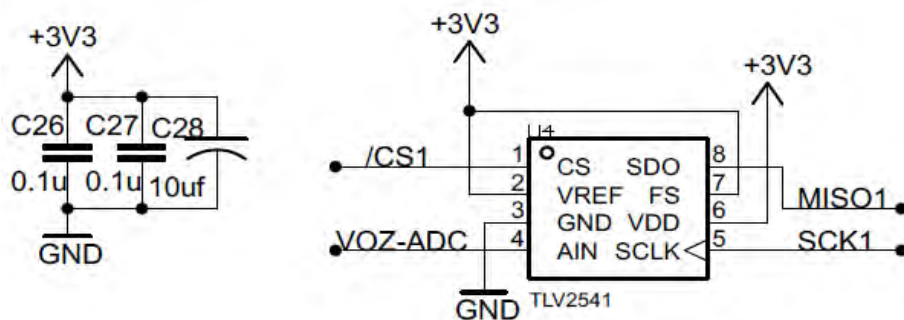
El segundo filtro es un filtro pasa baja conformado por la resistencia R1 y los condensadores C1, C2 y C3 con frecuencia de corte dada por:

$$F_{CH} = \frac{1}{2 * \pi * R1 * (C34 + C35 + C39)} = 5.3 \text{ kHz} \quad (3.6)$$

Al pasar por el circuito de acondicionamiento la señal de voz ingresa a la etapa de digitalización. El ADC elegido es el TLV2541 por lo siguiente:

- Resolución de 12 bits.
- Fuente única con voltaje de operación de 2.7- 5V que se adecua al rango de salida de la señal de voz acondicionada (0-3.3V).
- Entrada analógica *rail to rail*.
- Velocidad máxima de transferencia de datos de 200 ksps, usando el protocolo SPI.
- Empaquetado pequeño SOIC-8 de dimensiones 3 x 5 mm.

El circuito que realiza la digitalización de la señal de voz se muestra en la figura 3.9. En la hoja de datos del TLV2541 el fabricante recomienda colocar capacitores de desacoplo en el voltaje de alimentación del TLV2541, estos capacitores están dados por C26, C27 y C28.

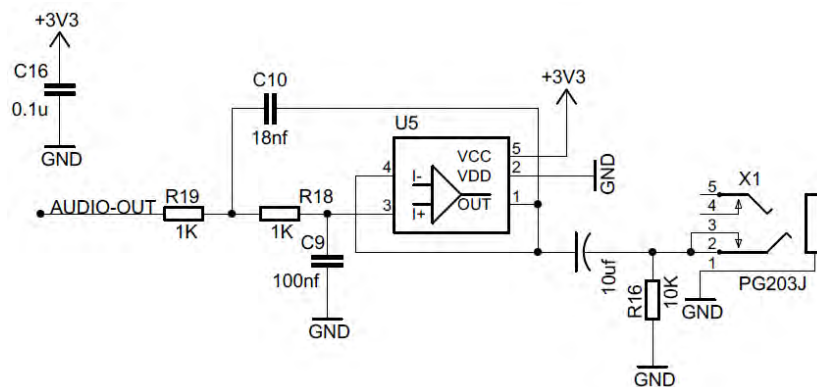


**Figura 3.9** Circuito para la digitalización de voz.

### 3.4.2 Interfaz para reproducción de voz

En la reproducción de voz se usa el PWM como un DAC. Por ello es necesario usar un filtro analógico pasa baja a la salida de la señal PWM para eliminar su componente fundamental de frecuencia y los armónicos generados. Sólo las frecuencias correspondientes a las variaciones del ancho de pulso de las muestras de voz alimentarán a los audífonos para la reproducción de voz.

El filtro pasa bajo usado es el filtro Butterworth de segundo orden, configurando al OPAMP con topología Sallen-Key como se muestra en la figura 3.10. El OPAMP usado es el TS971 del cual se explicó anteriormente sus características.



**Figura 3.10** Circuito para la reproducción de voz.

El cálculo de la frecuencia de corte del filtro pasa bajo ( $F_{CH}$ ) está dado por:

$$F_{CH} = \frac{1}{2 * \pi \sqrt{R1 * R2 * C9 * C10}} \quad (3.4)$$

$$F_{CH} = \frac{1}{2 * 3.14 \sqrt{(1k) * (1k) * (18nf) * (18nf)}} = 8.8kHz \quad (3.5)$$

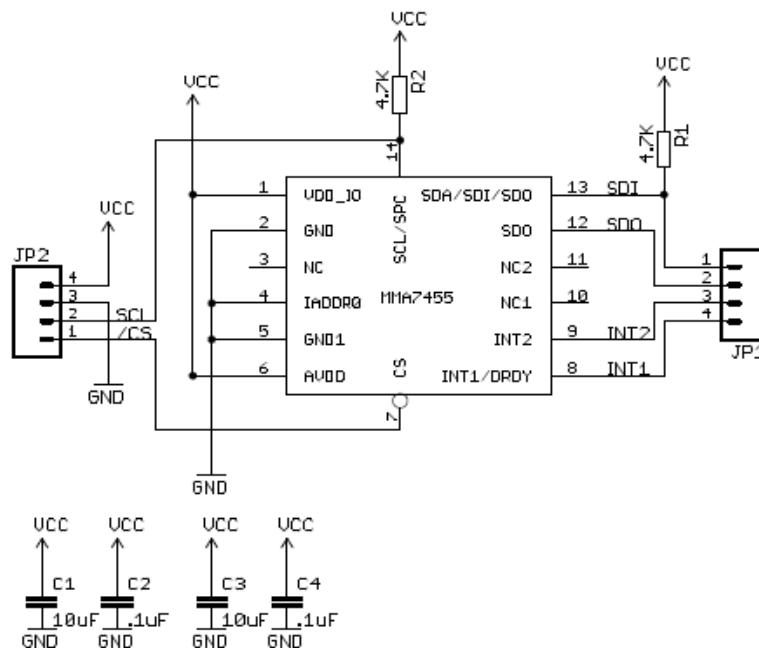
### 3.4.3 Interfaz para el sensado del movimiento del bombero

La interfaz para el sensado del movimiento del bombero está conformada por un acelerómetro capacitivo MMA7455 de la familia Freescale [16]. Este acelerómetro fue elegido, siguiendo los criterios de las notas de aplicación sobre cómo elegir un acelerómetro [14][15], donde especifican que el acelerómetro para el monitoreo de movimientos corporales debe entregar un valor de lectura en movimientos uniformes.

El MMA7455 fue elegido por tener las siguientes características:

- Tres ejes de sensado (x, y, z).
- Interface de salida digital, con un ADC embebido de resolución configurable a 8 o 10 bits.
- Voltaje de alimentación de 2.7-3.5V.
- Rangos de sensibilidad configurables a 2g, 4g y 8g.
- Ancho de banda mayor al necesario para el sensado de movimiento (10 Hz).
- Protocolo de comunicación serial SPI.
- Bajo costo a comparación de otros acelerómetros similares.
- Empaquetado de pequeñas dimensiones, LGA-14 de 3 x 5 mm.

El circuito para el sensado de movimiento se muestra en la figura 3.11. En la hoja de datos del MMA7455 el fabricante recomienda el uso de condensadores de desacoplo que deben ser colocados en la fuente de alimentación, estos condensadores están dados por C1, C2, C3 y C4.



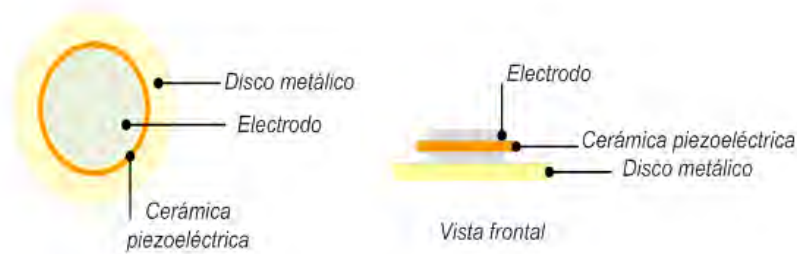
**Figura 3.11** Circuito para el sensado del movimiento del bombero.

### 3.4.4 Interfaz de las alarmas

Las alarmas del sistema son de dos tipos: sonora y visual. Estas alarmas se encuentran únicamente en el módulo que lleva el bombero y se activan si se detecta ausencia de movimiento durante o una caída.

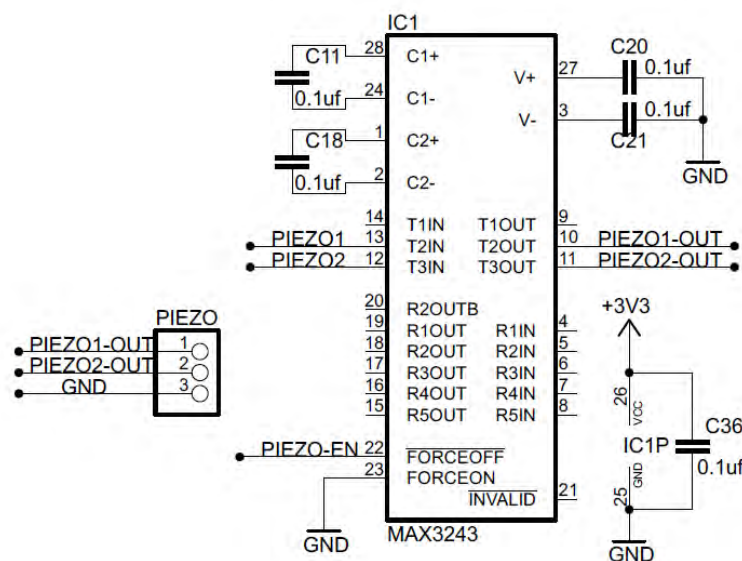
### ➤ Alarma Sonora

La alarma sonora está formada por un buzzer piezoeléctrico. El cual está conformado por un disco metálico unido a un transductor piezoeléctrico por electrodos como se muestra en la figura 3.12



**Figura 3.12** Estructura del disco piezoeléctrico.

Se eligió usar un circuito de acondicionamiento para el buzzer piezoeléctrico para elevar la amplitud de la señal de excitación, ya que el PIC32 solo genera señales con niveles de 0-3.3V y el nivel sonoro del buzzer es muy bajo. Se eligió usar el MAX3243 en el circuito de acondicionamiento, debido a que este dispositivo genera salidas con nivel lógico RS232 (-12 - +12V) a partir de una entrada CMOS (0-3.6v), se usan dos pines del MAX3243 para generar pulsos invertidos y eliminar el nivel DC de la señal generada que es una recomendación del fabricante. En la figura 3.13 se muestra el circuito de acondicionamiento para la alarma sonora. En la hoja de datos del MAX3243 recomiendan el uso de capacitores de desacoplo que están dados por C20, C21 y C36. Además para estabilizar la polarización del MAX3243 son necesarios los capacitores C11 y C18.



**Figura 3.13** Circuito de acondicionamiento para la alarma sonora.

### ➤ **Alarma visual**

La interfaz electrónica de alarma visual está conformada por LEDs de luz azul y resistencias para limitar la corriente que consumen los LEDs. La alarma visual funcionará será cuando se detecte ausencia de movimiento o caídas entonces se activarán los LEDs de forma intermitente.

### ➤ **Pantalla gráfica**

La pantalla gráfica usada en el MC es un display tipo LCD (*Liquid Crystal Display*), se eligió esta pantalla por su bajo precio. El display LCD funciona con niveles TTL, por ello se usó el CD4050 como adaptador de los niveles lógicos (CMOS-TTL) para los comandos que envía el PIC32 al display.

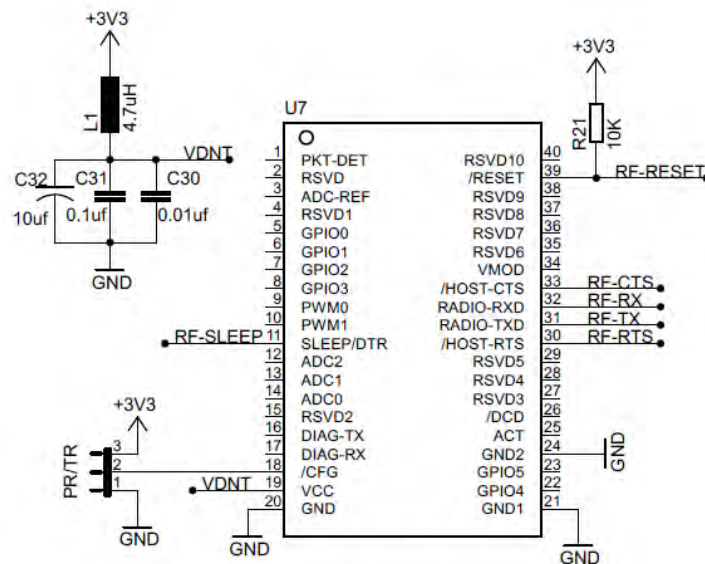
### **3.4.5 El módem de radio**

El módem de radio DNT900 fue elegido por tener las siguientes características:

- Modulación *FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)* o modulación de espectro ensanchado por salto en frecuencia. En FHSS se transmite una señal sobre un rango de frecuencias aleatorias, saltando de una frecuencia a otra con sincronización entre el transmisor y el receptor. Esta modulación es robusta contra el ruido, la interferencia y el desvanecimiento por múltiple trayectoria.
- Funcionamiento en una topología punto a punto o punto a multipunto.
- Opera en una banda no licenciada ISM (902-928 MHz).
- Opción de acceder al canal de datos por TDMA (*Time Division Multiple Access*) o CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*).
- Tasa de transmisión RF configurable en 38.4, 115.2, 200 y 500 kbps
- Alcance máximo en la transmisión de 64km (según el fabricante) con línea de vista usando una antena omnidireccional.
- Nivel de potencia RF configurable de 1, 10, 100, 250, 500mW y 1W.
- Voltaje de alimentación de 3.3-5V.
- Protocolo de comunicación serial UART con tasas de transmisión de datos de 9.6 - 230.4 kpbs.



En la figura 3.14 se muestra el circuito de la interfaz de radiofrecuencia. El fabricante recomienda el uso de capacitores de desacoplo para la alimentación del DNT900, los cuales están dados por C30, C31 y C32. Es necesario una resistencia *pull-up* de 10 k $\Omega$  para el pin de *reset* del radio modem que está dado por R21.



**Figura 3.14** Circuito de polarización para el modem radio.

### 3.4.6 Microcontrolador del sistema

Ambos módulos del sistema de alerta el MP y el MC tienen un microcontrolador de 32 bits, el PIC32MX360F512L de la familia PIC32. Este microcontrolador fue elegido por tener las siguientes características:

- Núcleo de 32 bits.
- Voltaje de alimentación de 2.5-3.6V compatible con las demás interfaces
- Periféricos seriales SPI y UART para el control de las interfaces de adquisición de voz, sensado de movimiento y el módem de radio.
- Vectores de interrupción.
- Módulo PWM para el manejo de la interfaz de reproducción de voz.
- Frecuencia del CPU configurable hasta 80 MHz para generar frecuencias PWM mayores a 16 kHz necesarias para la reproducción de voz.

El circuito básico del PIC32MX360F512L para el funcionamiento del MC se muestra en la figura 3.15 y el circuito básico del PIC32MX360F512L para el funcionamiento del MC se muestra en la figura 3.16.



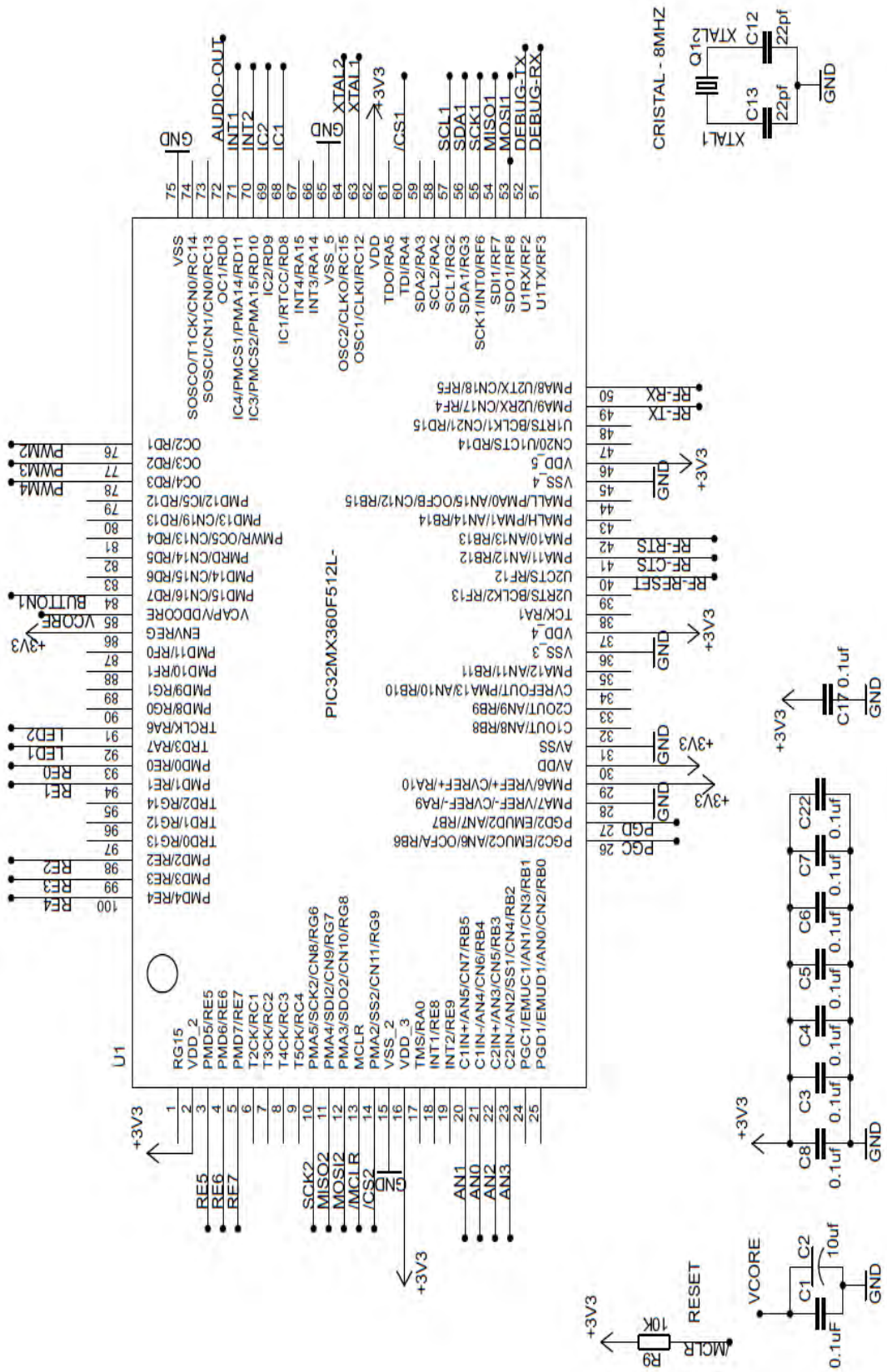


Figura 3.16 Circuito de polarización del PIC32MX360F512H en el MP.

### **3.5 Alcances del sistema**

1. El sistema fue diseñado para ayudar a salvaguardar la integridad física del bombero en casos de emergencias con riesgo de derrumbe estructural.
2. El sistema trabajará con una topología de comunicación punto a punto en modo half-duplex.
3. Se podrá extender la utilidad del sistema como plataforma de entrenamiento para los bomberos.

### **3.6 Limitaciones del sistema**

1. El sistema no podrá ser usado en emergencias generadas por incendios, debido a que los componentes electrónicos trabajan en el rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ , además la carcasa del prototipo del sistema no soporta altas temperaturas.
2. El alcance de comunicación entre dos puntos alcanza los 100m a una potencia de 100mW.

## **CAPITULO IV CONTROL DEL SISTEMA**

### **4.1 El microcontrolador PIC32MX360F512L**

El microcontrolador PIC32MX360F512L será usado en el Módulo Central y el Módulo Personal para realizar las funciones por la cual los módulos fueron concebidos (explicado en el capítulo 3). A continuación se realiza una breve descripción de su arquitectura y sus principales características.

#### **4.1.1 Características**

Los recursos con los que cuenta el PIC32 [17] son:

- CPU de 32 bits del tipo RISC basado en la tecnología MIPS32 M4K.
- Memoria de programa de 512Kbytes.
- Memoria de datos de 32Kbytes.
- Módulo PLL para la configurar la frecuencia de bus hasta 80MHz.
- Módulo de conversión análogo-digital de 10 bits y 16 canales.
- Temporizadores síncronos (*Timers*) de 16 y 32 bits.
- Módulos de comunicación serial síncrona SPI e I<sup>2</sup>C.
- Módulos de comunicación asíncrona UART.
- Cuatro canales DMA.
- 96 vectores de interrupción.
- Puerto de depuración EJTAG e ICSP.

#### **4.1.2 Arquitectura**

El núcleo del PIC32 está basado en la arquitectura Harvard (bus de datos e instrucciones separados) y conecta a los periféricos del PIC32 a través del *Bus Matrix* como se muestra en la figura 4.1. Los periféricos que se conectan directamente al *Bus Matrix* se llaman *SYSCLOCK Peripherals*, el acceso a estos se da en un ciclo de reloj debido a que el *Bus Matrix* corre a la misma velocidad que el CPU.

Los demás periféricos del PIC32 como el SPI, UART, ADC se comunican con el núcleo a través del bus llamado *Peripheral Bus*. Este bus corre a una velocidad determinada por el PBCLK, el cual se deriva del reloj principal SYSCLK. Por medio de los bits de configuración y en tiempo de ejecución se puede configurar la velocidad del PBCLK en tasas de 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8 del SYSCLK.

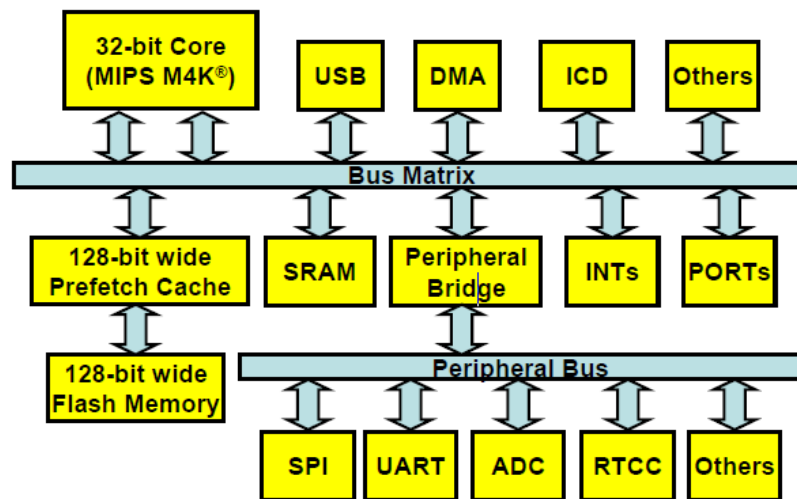


Figura 4.1 Diagrama de bloques del PIC32.

#### 4.1.3 Organización de la memoria

Las direcciones de memoria del PIC32 están divididas en una región de memoria virtual y una región de memoria física. Los recursos hardware como la memoria de programa, memoria de datos y periféricos tienen una dirección memoria física única. La región de memoria virtual es usada únicamente por el CPU para ejecutar instrucciones y acceder a los periféricos.

La cantidad de direcciones de memoria en el PIC32 es de 4GB. Los 2GB de la parte baja forman el segmento de Usuario (dirección de memoria física) y los 2GB de la parte alta forman el espacio de direcciones del Kernel (dirección de memoria virtual). Las direcciones virtuales son mapeadas en direcciones físicas por medio del FMT (*Fixed Mapping Translation*) del núcleo.

En el PIC32 la memoria Flash tiene 128 bits de longitud de palabra. Para mejorar el rendimiento, el núcleo usa un módulo llamado Prefetch Cache el cual almacena la próxima instrucción en una memoria caché de alta velocidad. El módulo Prefetch Cache fue diseñado para almacenar en caché solo el contenido de la memoria Flash. La memoria SRAM corre a la misma velocidad que el CPU y no requiere de ninguna memoria caché



## 4.2 Monitoreo de los movimientos del bombero

### 4.2.1 Configuración del acelerómetro para el sensado de movimiento

Para realizar el sensado de movimientos, los registros del acelerómetro MMA7455 son configurados mediante PIC32 de la siguiente forma:

- Ancho de banda de 62.5 Hz, con frecuencia de muestreo del ADC interno a 125 Hz.
- 8 bits de resolución.
- Habilidad de los tres ejes (x,y,z) para el sensado.
- Sensibilidad de aceleración a 4g.
- Protocolo de comunicación SPI de cuatro hilos, con configuración de la frecuencia de reloj a 500 kHz.

### 4.2.2 Pre-procesamiento de los datos del acelerómetro

Durante el sensado de movimiento el acelerómetro es susceptible a ruidos (explicado previamente en el Capítulo 2). Por este motivo es necesario realizar un pre-procesamiento con los datos obtenidos del sensor antes de ingresarlos al algoritmo de detección de ausencia de movimiento y caídas. Se usó un filtro FIR mediana de orden trece para atenuar los picos de ruido aleatorios que se presentaron en las lecturas del acelerómetro.

### 4.2.3 Algoritmo para detección de ausencia de movimiento y caídas

El proceso de una caída ocurre en cuatro etapas [18] como se muestra en la figura 4.2. El estado inicial, antes de la caída, es la primera etapa. La segunda etapa está marcada por la ocurrencia del fenómeno de ingravidez (*Weightlessness*) que aparece al inicio de una caída debido a que no existe una fuerza de apoyo sobre el cuerpo, la aceleración resultante en esta etapa se encuentre entre 0-0.5g. En la tercera etapa de la caída ocurre el impacto del cuerpo contra una superficie, el sensor alcanza picos de aceleración generalmente mayores a 2g. En la última etapa de la caída, después del impacto, el cuerpo permanece en una posición cuya orientación no cambia rápidamente, sino que como resultado de la caída existe un periodo de ausencia de movimiento.

La orientación del cuerpo ( $\Theta$ ) se puede conocer calculando el ángulo de inclinación en el eje del sensor paralelo a la dirección de la gravedad al inicio del sensado de movimiento, con la siguiente ecuación:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{a_x}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}} \quad (4.1)$$

Donde:

$a_y$ : Aceleración en el eje y.

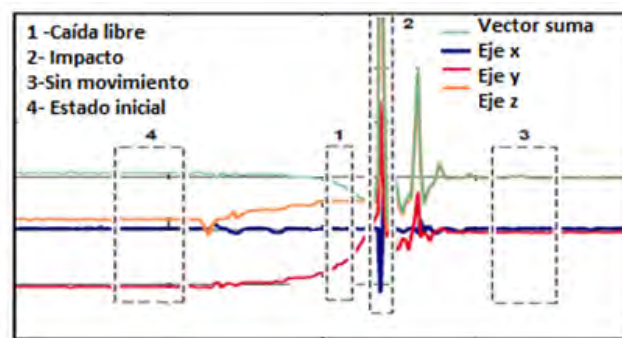
$a_x$ : Aceleración en el eje x.

La posición de los ejes del acelerómetro, al inicio del sensado de movimiento, se muestra en la figura 4.3. El eje x se sitúa en la dirección vertical apuntando hacia abajo, en reposo la lectura en el eje x es +1g. Con la ecuación 4.1 se calcula la orientación:

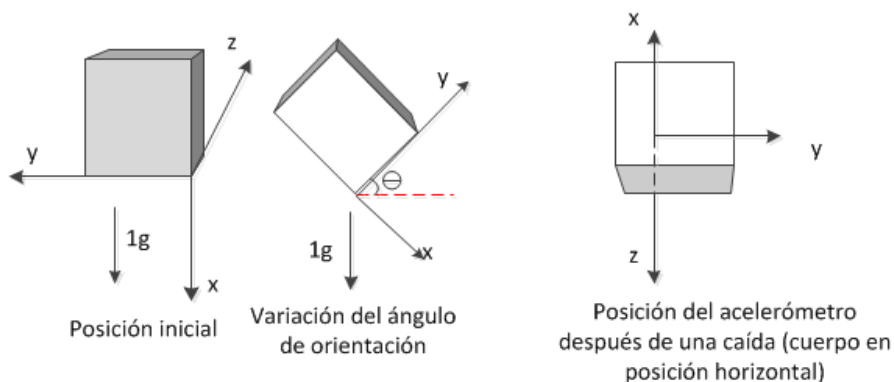
$$\theta = \cos^{-1} \frac{+1g}{\sqrt{(1g)^2 + (0g)^2 + (0g)^2}} = 0^\circ \quad (4.2)$$

Si después de la caída el cuerpo queda en posición horizontal, con los ejes apuntando como en la figura 4.3, la orientación del cuerpo será:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{0g}{\sqrt{(0g)^2 + (0g)^2 + (1g)^2}} = 90^\circ \quad (4.3)$$



**Figura 4.2** Etapas de una caída.



**Figura 4.3** Posición inicial de los ejes para el sensado de movimiento.



Para la detección de una caída, los datos obtenidos del acelerómetro son segmentados en intervalos de tiempo o ventanas (*window*) con la finalidad de que el algoritmo no procese cada muestra recibida del sensor sino un conjunto de muestras que ayuden a reconocer un patrón de una actividad, en este caso el patrón de una caída y de ausencia de movimiento. El tamaño de la ventana está dado por el intervalo de tiempo en el cual se adquieren los datos del acelerómetro. Si una ventana tiene muestras que se intersectan con las muestras de una ventana consecutiva esto se conoce *overlapping sliding window* es decir ventana móvil con superposición.

La longitud del vector de datos de la ventana (número de muestras tomadas del acelerómetro) se eligió considerando que las actividades a reconocer (caídas y ausencia de movimiento) son eventos transitorios, por ello la longitud del vector de datos no debe ser muy grande para detectar mejor los cambios de aceleración. En el caso contrario, si se elige una longitud muy pequeña para el vector de datos, no se tendrá suficiente información para reconocer la actividad que se realiza. Siguiendo este criterio, la longitud del vector de datos es de 30 muestras y longitud de la ventana es de 1s con superposición del 50%. Es decir cada ventana consecutiva tendrá en común un 50% de muestra de aceleración.

Las características de cada vector de datos se conoce calculando sus parámetros estadísticos (ver tabla 4.1) como la media, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y valor resultante de aceleración. Estos parámetros se calculan con la finalidad de establecer valores umbrales de aceleración que aparecen en las etapas de una caída y en ausencia de movimiento.

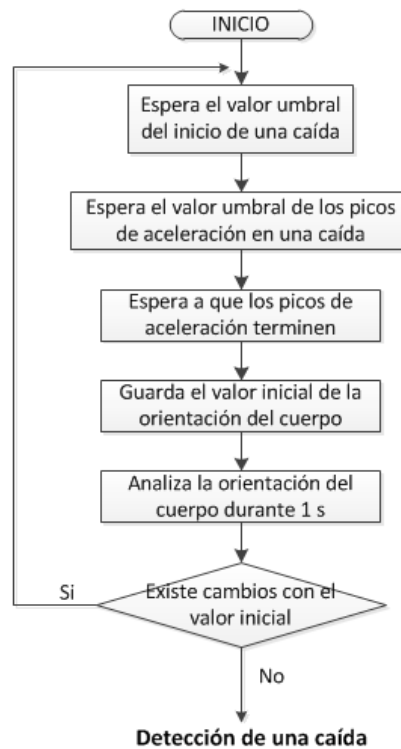
En la detección de una caída, el algoritmo espera el valor umbral de aceleración que caracteriza el inicio de una caída. Si este valor es encontrado, el algoritmo espera el valor umbral de aceleración del impacto de la caída (un pico de aceleración) para calcular el valor inicial de la orientación del cuerpo. Luego el algoritmo espera a que los picos de aceleración desaparezcan de las lecturas del acelerómetro para calcular la orientación del cuerpo actual durante un segundo y realizar una comparación con la orientación inicial del cuerpo. Si no se encuentra diferencias marcadas en la orientación se determina que ha ocurrido una caída.

El algoritmo funciona de igual forma para la detección de ausencia de movimiento, para ello se calcula el valor umbral en ausencia de movimiento. Si este valor es detectado por un periodo de tiempo mayor a 3 s la alarma se activará.

El diagrama de flujo del algoritmo para la detección de una caída se muestra en la figura 4.4.

**Tabla 4.1** Extracción de características de las muestras de movimiento.

Parámetros estadísticos para la extracción de características de una actividad dentro de una ventana de 30 muestras	
Media de aceleración en los ejes x, y, z	$\bar{x} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{i=30} x_i$ $\bar{y} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{i=30} y_i$ $\bar{z} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{i=30} z_i$
Desviación estándar de la aceleración en los ejes x, y, z	$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=30} (x_i - \bar{x})^2}{29}}$ $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=30} (y_i - \bar{y})^2}{29}}$ $\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=30} (z_i - \bar{z})^2}{29}}$
Valor mínimo de aceleración en cada eje	Valor mínimo de la ventana de 30 muestras
Valor máximo de aceleración en cada eje x, y, z	Valor máximo de la ventana de 30 muestras
Valor medio de la aceleración resultante ( $a_{cc}$ )	$a_{cc} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{i=30} acc_i$
Desviación estándar de la aceleración resultante	$\sigma_{acc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=30} (acc_i - \bar{acc})^2}{29}}$



**Figura 4.4** Diagrama de flujo del algoritmo para detección de caídas

### 4.3 Comunicación por voz

La comunicación por voz se divide en dos procesos: adquisición y reproducción de la señal de voz.

#### 4.3.1 Adquisición de la señal de voz

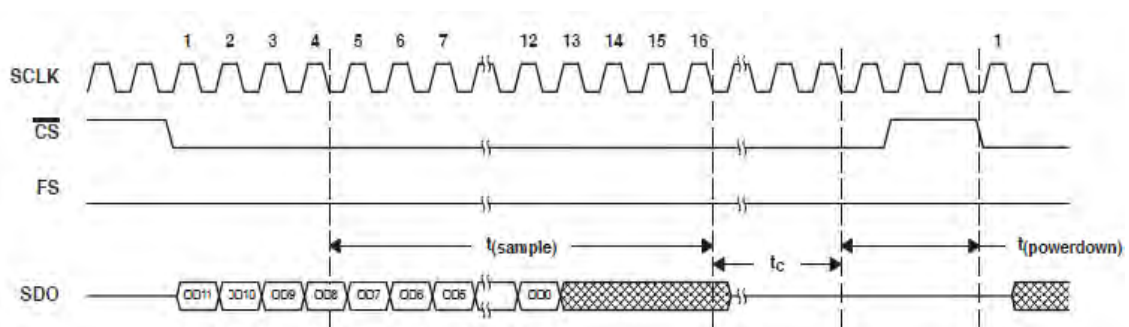
La adquisición de voz se realiza a la frecuencia de muestreo de 8 KHz y 12 bits de resolución. El tiempo de adquisición de una muestra ( $T_{adq}$ ) de voz es la suma del tiempo de muestreo y el tiempo de conversión del TLV2541. Según la hoja técnica del TLV2541 el muestreo se realiza en 16 ciclos de reloj externo y la conversión en 14 ciclos de reloj interno, como se muestra en la figura 4.5.

El reloj externo es proporcionado por la interfaz SPI del PIC32 que es configurada a 2 MHz y el TLV2541 tiene un reloj interno de 4 MHz. Con estos datos el cálculo de  $T_{adq}$  está dado por:

$$T_{adq} = 16 * \left(\frac{1}{2 \text{ MHz}}\right) + 14 * \left(\frac{1}{4 \text{ MHz}}\right) + 0.1 \mu\text{s} = 11.5 \mu\text{s} \quad (4.4)$$

El resultado de  $T_{adq}$  se adapta al tiempo de adquisición de una muestra de voz ( $125 \mu\text{s}$ ) es decir no habrá pérdidas de muestras de voz en la digitalización.

Las muestras de voz adquiridas son almacenadas temporalmente en dos paquetes de voz, cada paquete de voz es un arreglo de 100 elementos de 16 bits. Cuando un paquete de voz se llena el PIC32 lo transmite hacia el módem de radio, mientras almacena paralelamente nuevas muestras en el segundo paquete de voz.



**Figura 4.5** Diagrama de adquisición para una muestra de voz [19].

La tasa de bits con la que el PIC32 transmite el paquete de voz hacia el módem de radio está dado por:

$$\text{Tasa de bits (voz)} = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{s}} \times \frac{16 \text{ bits}}{1 \text{ muestra}} = 128 \text{ kbps} \quad (4.5)$$

El protocolo de comunicación entre el PIC32 y el módem de radio es el protocolo UART. Mediante este protocolo el PIC32 transmite un paquete de voz al módem de radio. Según la tasa de transmisión calculada en la ecuación 4.5, la tasa de transferencia mínima para el envío de un paquete de voz por UART desde el PIC32 al módem de radio es 230.4 kbps. La tasa de transmisión en el aire del módem (tasa de transmisión RF) de radio para transmitir un paquete de voz desde el MC al MP o viceversa debe ser mayor a 230.4 kbps, según las características del módem la tasa de transferencia debe ser configurada a 500 kbps. Los inconvenientes que existen al configurar la tasa de transmisión RF del módem de radio a 500 kbps son que el nivel de potencia RF se limita a 85mW y la modulación FHSS usa menos saltos aleatorios en frecuencia lo que la hace menos robusta contra el ruido. Por este motivo se consideró necesario reducir la tasa de transmisión de un paquete de voz entre el PIC32 y el módem de radio implementando un compresor ADPCM (Adaptative Differential Pulse Code Modulation).

#### 4.3.2 Compresión ADPCM para los paquete de voz

La compresión ADPCM fue propuesta por la Asociación Multimedia Interactiva (IMA), bajo el estándar ITU G.726. La elección de un compresor ADPCM para los paquetes de voz está basado en la correlación que existe entre las muestras consecutivas de voz para estimar una muestra futura usando un predictor fijo, el cual no necesita de muchos recursos de procesamiento y puede ser implementado en el PIC32.

El compresor ADPCM está conformado por un bloque de codificación y un bloque de decodificación.

##### ➤ Bloque de codificación ADPCM

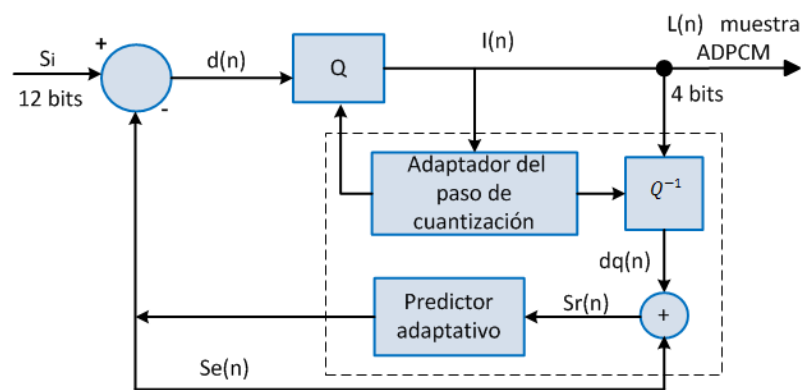
El bloque de codificación ADPCM (ver figura 4.6) tiene como entrada una muestra de 12bits  $S_i$  que es comparada con la estimación de una muestra previa  $S_p$  y produce una diferencia  $d(n)$ . Para generar una muestra codificada  $L(n)$  de 4 bits, la cuantización  $Q$  se realiza sobre la diferencia  $d(n)$  con un paso de cuantización adaptativo. Este paso es adaptativo porque se incrementa o decrementa en función de la magnitud de las diferencias previamente codificadas. Al aplicar el cuantificador inverso  $Q^{-1}$  obtenemos el

valor cuantificado de la señal diferenciada  $d_q(n)$  tal como lo recupera el decodificador. Cuando a este valor se le suma la predicción  $S_e[n]$  se obtiene la señal reconstruida:

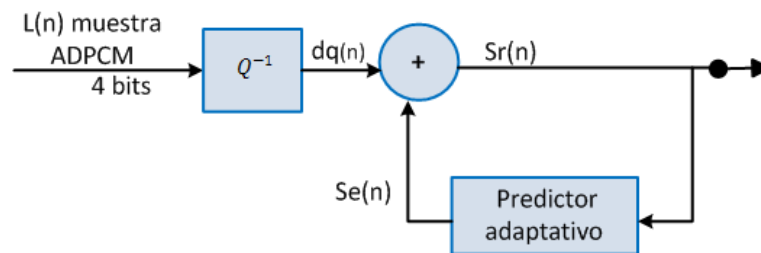
$$S_r(n) = d_q(n) + S_e(n) \dots \dots \dots (4.6)$$

### ➤ Bloque de decodificación ADPCM

En el decodificador ADPCM, la muestra codificada  $L(n)$  ingresa al cuantizador inverso, para generar la diferencia  $d_q$ . Esta diferencia es sumada a la estimación de una muestra previa  $S_e(n)$  para generar la muestra decodificada  $S_r$  de 12 bits. Como se puede observar este bloque se encuentra también en el bloque de codificación debido a que ambos bloques actualizan sus variables internas con el valor de  $L(n)$ . En la figura 4.7 se muestra el diagrama de bloques del decodificador ADPCM.

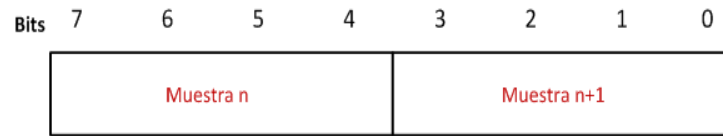


**Figura 4.6** Diagrama de bloques del codificador ADPCM.



**Figura 4.7** Diagrama de bloques del decodificador ADPCM.

Usando la compresión ADPCM una muestra de voz de 12 bits puede ser codificada en una muestra de 4 bits. El algoritmo de compresión ADPCM usa un byte para representar dos muestras ADPCM., con una muestra de voz previa en los 4 bits superiores y una muestra reciente en los 4 bits inferiores. En la figura 4.8 se muestra el almacenamiento de dos muestras ADPCM en un byte.

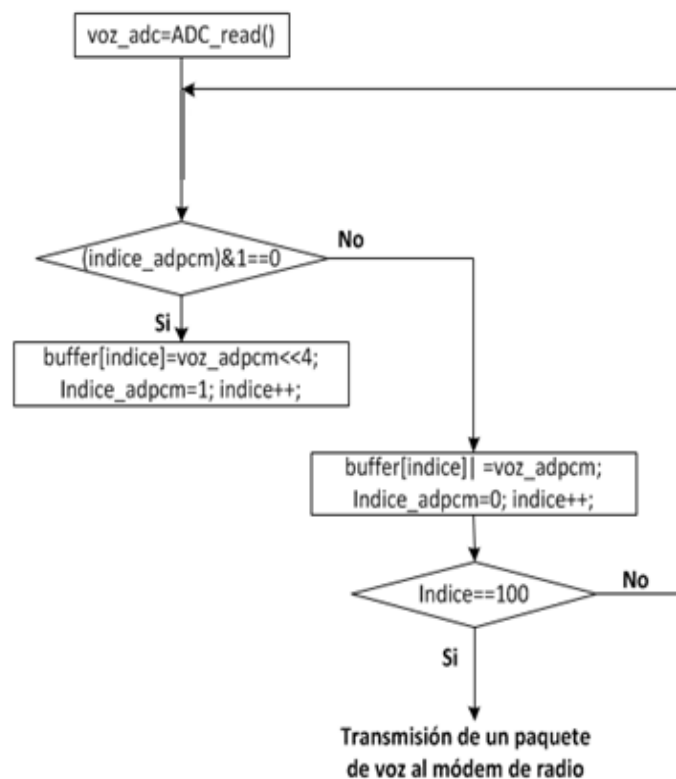


**Figura 4.8** Alineamiento de dos muestras ADPCM en un byte.

La tasa bits para la transmisión de un paquete de voz usando la compresión ADPCM está dada por:

$$\text{Tasa de bits (voz) con ADPCM} = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{s}} \times \frac{8 \text{ bits}}{2 \text{ muestras}} = 32 \text{ Kbps} \quad (4.7)$$

La nueva tasa de transmisión de un paquete de voz desde el PIC32 hacia el módem de radio con la compresión ADPCM es cuatro veces menor a la tasa sin compresión. Esto hace posible configurar la velocidad de transmisión del UART a 115.2 Kbps, con lo cual la tasa de transmisión RF del módem de radio puede ser configurada a 200 Kbps. El diagrama de flujo del algoritmo para adquisición de las muestras de voz se muestra en la figura 4.9.



**Figura 4.9** Diagrama de flujo del algoritmo para la adquisición de las muestras de voz.

### 4.3.3 Reproducción de voz.

En la reproducción de voz el PWM actúa como un DAC para la señal de voz. El módulo “Output Compare” del PIC32 genera los pulsos de ancho variable usando un timer. La resolución del PWM determina la máxima resolución que puede obtenerse en la señal de voz reconstruida y es calculado de la siguiente forma:

$$Resolución\ PWM = \frac{\log_{10}\left(\frac{FPB}{FPWM * TMRy * Prescaler}\right)}{\log_{10} 2} bits \quad (4.8)$$

Donde:

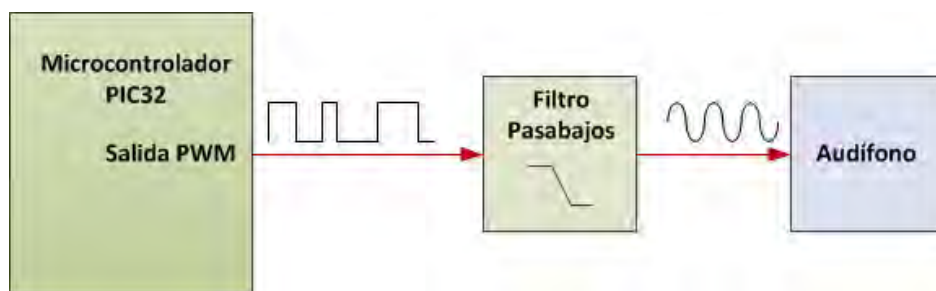
$F_{PB}$ : frecuencia del bus de periféricos del PIC32.

$F_{PWM}$ : frecuencia del PWM.

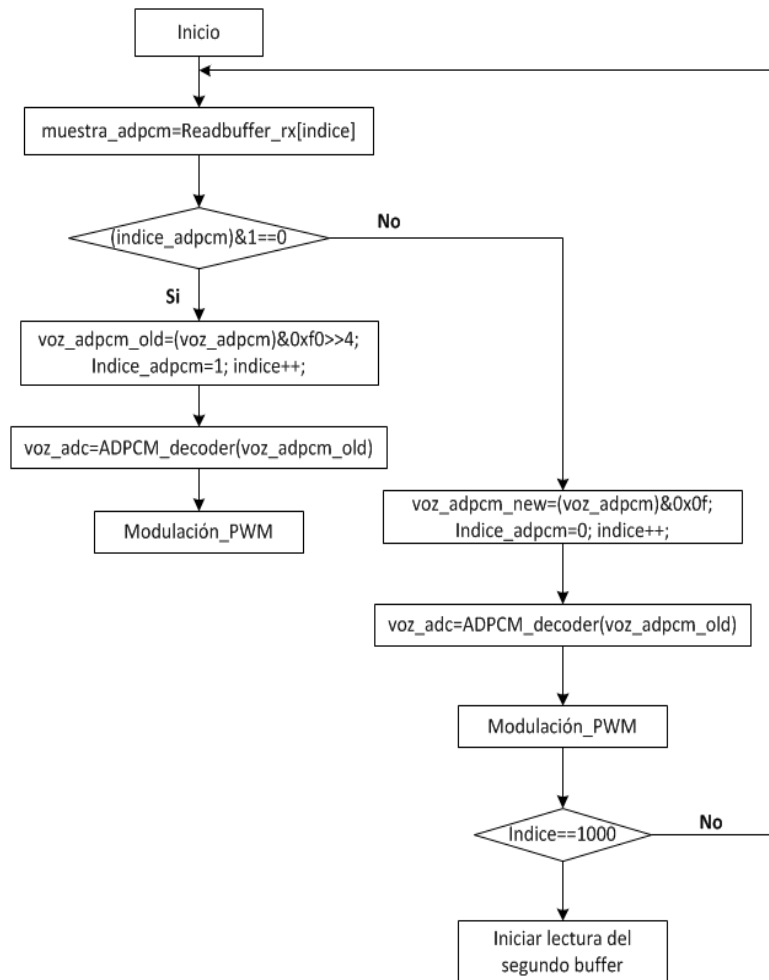
$TMR_y$ : registro de temporización del *timer*.

*Prescaler*: Divisor del *timer*.

Para evitar traslapes en la reconstrucción de la señal analógica es recomendable que la frecuencia del PWM sea al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal [20][21] para que el filtro pasa bajo que debe usarse para eliminar la frecuencia fundamental del PWM sea de bajo orden. Según esta recomendación, los valores para la  $F_{PWM}$  es 36 kHz (casi nueve veces la frecuencia máxima en la señal de voz, limitada a 4 kHz) y el valor de la  $F_{PB}$  es de 72 kHz. Ingresando estos valores en la ecuación 4.5, se obtiene 11 bits de resolución para la señal de voz reconstruida. De forma similar al proceso de adquisición de voz se usan dos arreglos de 200 elementos con longitud de un byte para almacenar temporalmente las muestras de voz codificadas en ADPCM, luego cada muestra de voz ADPCM es decodificada a 8 kHz e ingresada al PWM como se muestra en la figura 4.10. El diagrama de flujo del algoritmo de reproducción de voz se muestra en la figura 4.11.



**Figura 4.10** Reconstrucción de la señal de voz con PWM.



**Figura 4.11** Diagrama de flujo del algoritmo de reproducción de voz.

#### 4.4 Configuración del módem de radio

Para transmitir un paquete de datos que puede ser de voz o del sensor de movimiento el módem de radio debe ser configurado previamente. Esta configuración se realiza mediante el envío de comandos desde un host (PIC32 o PC) al módem. El formato para el envío de un comando al módem se muestra en la figura 4.11.

SOP	Long	PaqTipo	Número variable de argumentos (Arg) ...
-----	------	---------	-----------------------------------------

**Figura 4.11** Formato para el envío de comandos al módem RF.

Dónde:

**SOP:** Es el byte **0xFB**, indicar el inicio de un comando o paquete de datos.

**Long:** Indica la longitud del comando o de un paquete de datos (no incluye al byte SOP).

**PaqTipo:** Es el byte que especifica un evento ocurrido como una transmisión, recepción o cualquier otro evento. La información del evento está contenida en su campo de bits.



**Arg:** Es el argumento del comando o paquete de datos.

#### 4.4.1 Comandos de configuración para el módem de radio

Los principales parámetros que deben configurarse son los siguientes:

- **Modo de operación (*DeviceMode*):** El módem puede configurarse como dispositivo base o como dispositivo remoto. Configurado como dispositivo base el módem centraliza la recepción de datos de los dispositivos configurados como remotos.
- **Tipo de acceso al canal de datos (*AccessMode*):** Es configurado en TDMA dinámico. En este modo, cada dispositivo remoto recibe igual porción de tiempo para transmitir.
- **Tasa de transmisión RF (*RF\_DataRate*):** Es configurada a 200 kb/s .
- **Nivel de potencia RF (*TxPower*):** Es configurado inicialmente a 100 mW.
- **Formato de transmisión de datos:** El formato de transmisión de datos puede ser configurado como transparente o protocolo.
- **Velocidad de transmisión de datos con el host (*SerialRate*):** Es configurado a 115.2kb/s.
- **Duración del salto en frecuencia o hop (*HopDuration*):** Es la trama de datos que se transmite durante un hop en la modulación FHSS. Es configurado en 9 ms en el módem configurado como dispositivo base.
- **Número de bytes por hop (*BaseSlotSize*):** Es el número de bytes que puede enviar durante un salto. Este es configurado a 100 bytes.
- **Longitud mínima del buffer de transmisión (*MinPacketLength*):** Es el mínimo número de bytes en el buffer de transmisión que el módem necesita para activar la transmisión. Este es configurado a 100 bytes.
- **Tiempo de espera en la transmisión (*TxTimeout*):** Es el máximo tiempo que serán retenidos los datos en el buffer de transmisión, incluso si el número de datos es menor que *MinPacketLength*. Es configurado en 9 ms.
- **Guardar configuración en memoria (*MemorySave*):** la configuración permanece después de apagar al módem de radio.

Los comandos de configuración del módem de radio de los módulos del sistema se muestran en la tabla.4.2 y en la tabla 4.3.

**Tabla N° 4.2** Comandos de configuración para el módem de radio del MC.

<b>Comandos</b>								
<i>DeviceMode</i>	0xFB	0x05	0x04	0x00	0x00	0x01	0x01	--
<i>AccessMode</i>	0xFB	0x05	0x04	0x01	0x01	0x01	0x02	--
<i>RF_DataRate</i>	0xFB	0x05	0x04	0x01	0x00	0x01	0x01	--
<i>TxPower</i>	0xFB	0x05	0x04	0x18	0x00	0x01	0x02	--
<i>SerialRate</i>	0xFB	0x06	0x04	0x00	0x03	0x02	0x04	0x00
<i>HopDuration</i>	0xFB	0x06	0x04	0x02	0x00	0x02	0xBE	0x00
<i>BaseSlotSize</i>	0xFB	0x05	0x04	0x02	0x01	0x01	0x64	---
<i>MinPacketLength</i>	0xFB	0x05	0x04	0x03	0x04	0x01	0x64	---
<i>TxTimeout</i>	0xFB	0x05	0x04	0x02	0x04	0x01	0x09	---
<i>MemorySave</i>	0xFB	0x05	0x04	0xFF	0xFF	0x01	0x01	---

**Tabla N° 4.3** Comandos de configuración para el módem de radio del MP.

<b>Comandos</b>								
<i>DeviceMode</i>	0xFB	0x05	0x04	0x00	0x00	0x01	0x00	--
<i>AccessMode</i>	0xFB	0x05	0x04	0x01	0x01	0x01	0x02	--
<i>RF_DataRate</i>	0xFB	0x05	0x04	0x01	0x00	0x01	0x01	--
<i>TxPower</i>	0xFB	0x05	0x04	0x18	0x00	0x01	0x02	--
<i>SerialRate</i>	0xFB	0x06	0x04	0x00	0x03	0x02	0x04	0x00
<i>HopDuration</i>	0xFB	0x06	0x04	0x02	0x00	0x02	0xBE	0x00
<i>MinPacketLength</i>	0xFB	0x05	0x04	0x03	0x04	0x01	0x5D	---
<i>TxTimeout</i>	0xFB	0x05	0x04	0x02	0x04	0x01	0x08	---
<i>MemorySave</i>	0xFB	0x05	0x04	0xFF	0xFF	0x01	0x01	---

## 4.5 Transmisión por RF de los paquetes de voz y datos

### 4.5.1 Protocolo para la transmisión de los paquetes.

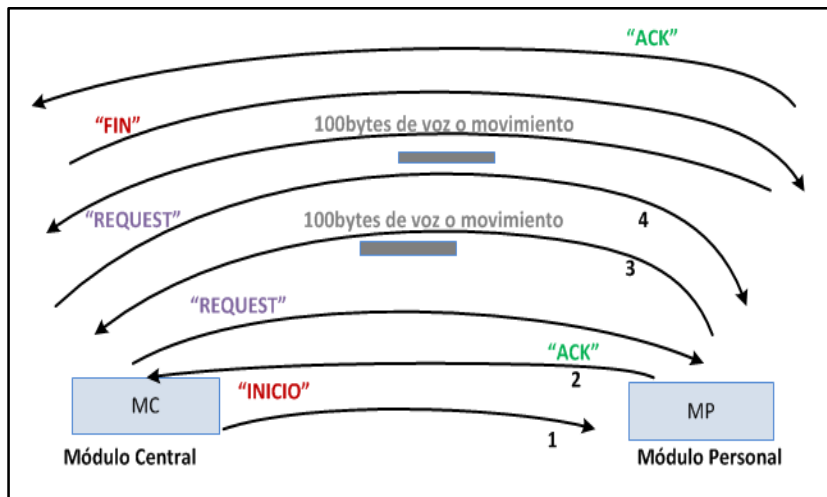
La comunicación entre los módem de radio del sistema es half-dúplex, esto implica que solo un módem puede transmitir a la vez ya sea un paquete de datos o un comando, por ello fue necesario el uso de un protocolo para conmutar la comunicación de un módulo a otro (ver figura 4.12).

Para iniciar la comunicación el MC envía el comando “INICIO” al MP. Este módulo debe responder al MC con el comando “ACK” que indica que recibió este comando. El MC luego envía el comando “REQUEST” al MP para que transmita un paquete de voz o datos que se indica en el comando. El MP responde con un paquete de 100 bytes en ambos casos. El comando “REQUEST” será enviado repetitivamente por el MC hasta que no requiera más paquetes de datos. Para finalizar la comunicación el MC envía el comando “FIN” al MP que responde con un “ACK” para indicar que ha recibido el comando. La trama de un comando enviado por el MC (ver figura 4.13) está compuesto por 13 bytes, en

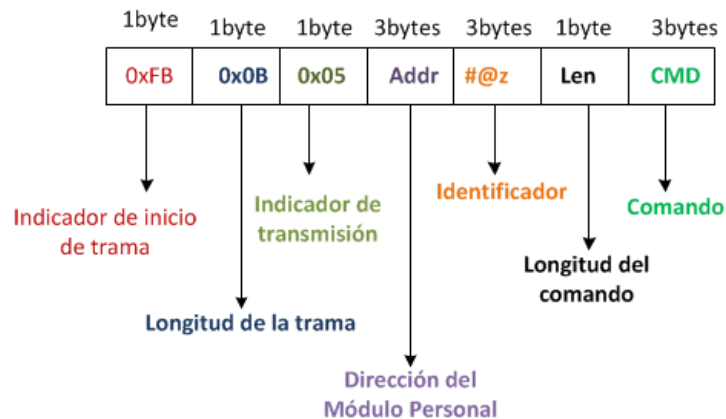
esta trama está incluida un identificador adicional de 3bytes “#@z”. Este encabezado adicional se agrega a pesar del formato de trama del módem de radio debido a que el MP es configurado en el formato de datos transparente por lo que necesita de un identificador de comienzo de trama, la longitud del comando o del paquete de datos o voz (1 byte) y el código del comando (3 bytes) o la información del paquete de datos o voz. El código de los comandos usados por el sistema se muestra en la tabla 4.4.

**Tabla N° 4.4** Comandos del protocolo de comunicación

Comando	Código	Descripción
INICIO	0x49,0x4D,0x20	Inicio de la comunicación
FIN	0x53,0x4D,0x20	Fin de la comunicación
ACK	0x4B,0x20,0x20	Confirmación del comando recibido
REQUEST	0x52,0x4D,0x20	Petición de un nuevo paquete de datos



**Figura 4.12** Proceso de transmisión de datos del MP hacia el MC.



**Figura 4.13** Trama de un comando enviado desde el MC.

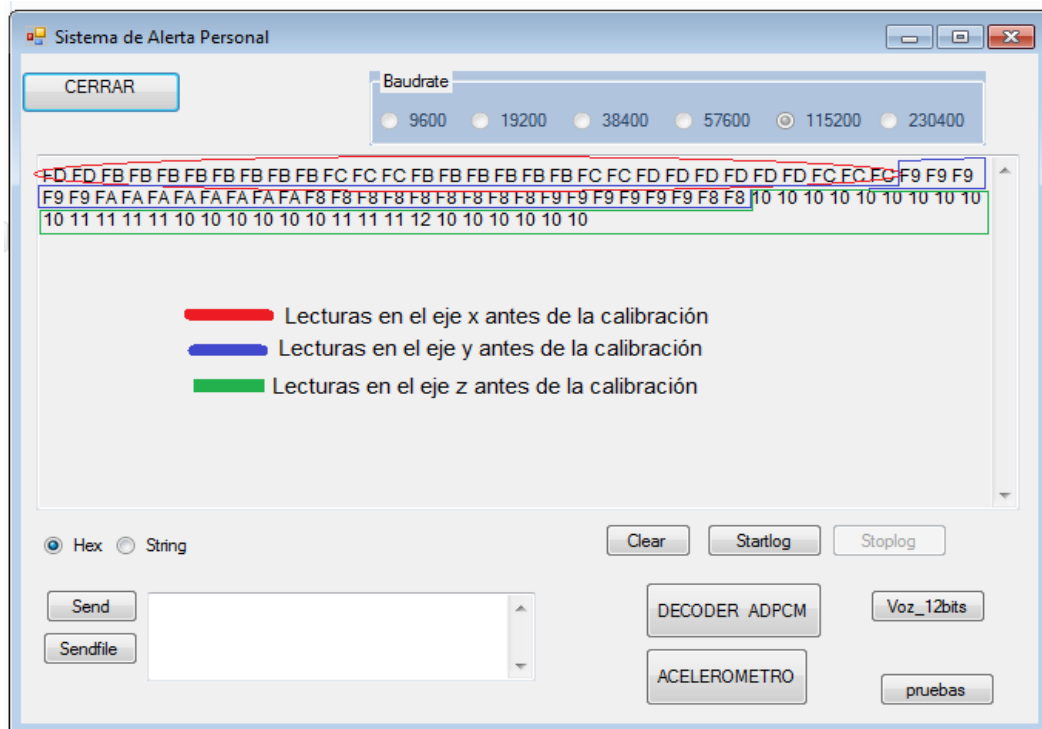
## CAPITULO V PRUEBAS Y RESULTADOS

### 5.1 Pruebas con el sensor de movimiento

#### 5.1.1 Pruebas de calibración del acelerómetro.

Cada vez que se energiza el acelerómetro se pudo observar que este presenta una lectura de valores muy distintos a los valores referenciados por el fabricante en algunos de sus ejes, para corregir esto se realizó las pruebas de calibración del acelerómetro.

La prueba de calibración del acelerómetro se realizó capturando 30 muestras por cada eje, con un aplicativo software creado para el sistema, tal como se muestra en la figura 5.1. La posición del acelerómetro fue con los ejes x e y en el plano horizontal y el eje z en el plano vertical apuntando hacia abajo.



**Figura 5.1** Captura de valores iniciales en los ejes de los acelerómetros enviados hacia el aplicativo software del Sistema de Alerta.

Con las muestras capturadas se calculó el valor promedio de las lecturas en cada eje, dicho valor se ingresó en la ecuación 5.1 para obtener el valor de corrección en cada eje.

$$\text{Valor corrección}_{eje} = (\text{Valor referencia}_{eje} - \text{Valor capturado}_{eje}) * 2 \quad (5.1)$$

Los valores de corrección deben escribirse en los registros *Offset Drift* [16] del acelerómetro para obtener lecturas del acelerómetro corregidas. Después de escribir el valor de corrección de cada eje en sus registros *Offset Drift* se vuelven a capturar nuevas muestras del acelerómetro para verificar que dichos valores corregidos coincidan con los valores de referencia del fabricante. Estos valores se muestra en la tabla 5.1 (en formato complemento a dos).

Las lecturas que deben obtenerse del acelerómetro son:

- Eje x y eje y =0g (debido a que se encuentran en el plano horizontal)
- Eje z = +1g.

**Tabla 5.1** Valores de salida digital de referencia del acelerómetro.

Rango de sensibilidad	Aceleración	Valor de salida digital en hexadecimal
<b>4g</b>	-1g	E1
	0g	00
	+1g	1F

La lectura promedio en el eje x de las 30 muestras capturadas (ver tabla 5.2) fue -1. El cálculo del valor de corrección en el eje x es:

$$\text{Valor corrección}_{eje x} = (0 - (-4))x2 = +8 \quad (5.2)$$

En el eje y el promedio de las 30 muestras capturadas fue -7 (ver tabla 5.3). El valor de corrección en el eje y es:

$$\text{Valor corrección}_{eje y} = (0 - (-7))x2 = +14 \quad (5.3)$$

En el eje z la lectura promedio de las 30 muestras fue +32. El cálculo del valor de corrección en el eje z es:

$$\text{Valor corrección}_{eje z} = (31 - 32)x2 = -2 \quad (5.4)$$

**Tabla 5.2** Lecturas en el eje x sin calibrar

N° muestra	Eje x								
1	0xFB	7	0xFB	13	0xFB	19	0xFB	25	0xFB
2	0xFB	8	0xFB	14	0xFB	20	0xFA	26	0xFA
3	0xFB	9	0xFB	15	0xFB	21	0xFB	27	0xFB
4	0xFB	10	0xFB	16	0xFB	22	0xFB	28	0xFB
5	0xFB	11	0xFB	17	0xFB	23	0xFB	29	0xFB
6	0xFB	12	0xFB	18	0xFB	24	0xFB	30	0xFB

**Tabla 5.3** Lecturas en el eje y sin calibrar

N° muestra	Eje y								
1	0xF8	7	0xF8	13	0xF8	19	0xF7	25	0xF7
2	0xF8	8	0xF8	14	0xF8	20	0xF7	26	0xF7
3	0xF8	9	0xF8	15	0xF8	21	0xF7	27	0xF7
4	0xF8	10	0xF8	16	0xF7	22	0xF7	28	0xF7
5	0xF8	11	0xF8	17	0xF7	23	0xF7	29	0xF7
6	0xF8	12	0xF8	18	0xF7	24	0xF7	30	0xF7

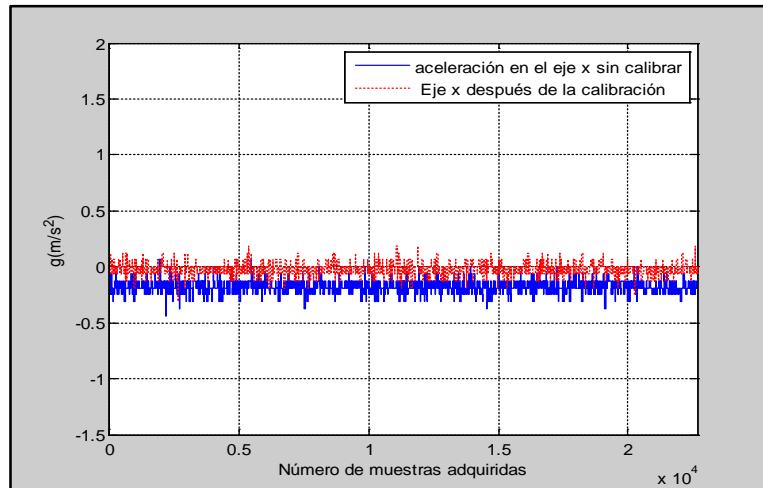
**Tabla 5.4** Lecturas en el eje z sin calibrar

N° muestra	Eje z								
1	0x20	7	0x20	13	0x21	19	0x1F	25	0x1F
2	0x20	8	0x20	14	0x21	20	0x1F	26	0x1F
3	0x20	9	0x20	15	0x21	21	0x1F	27	0x1F
4	0x20	10	0x20	16	0x21	22	0x1F	28	0x21
5	0x20	11	0x20	17	0x21	23	0x1F	29	0x21
6	0x20	12	0x21	18	0x1F	24	0x1F	30	0x21

Después de realizar las calibraciones se observó que las lecturas en el eje x y el eje aún presentaban una desviación significativa de su valor de referencia. En el eje x fue necesario multiplicar por tres a su valor de corrección inicial es decir el valor que se escribió en su registro *Offset Drift* fue +24. En el eje y fue necesario multiplicar por cuatro a su valor de corrección inicial es decir el valor que se escribió en su registro *Offset Drift* fue +56

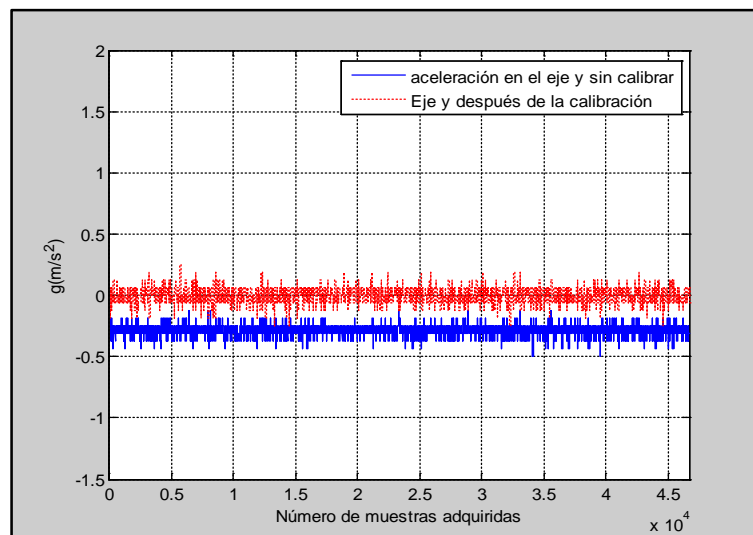
En el eje z las lecturas capturas después de la primera calibración presentaban solo una pequeña desviación de su valor de referencia +1g, por lo que fue necesario multiplicar al valor de corrección inicial en el eje z por dos, es decir el valor que se escribió en su registro de *Offset Drift* fue -4.

En la figura 5.2 se muestra las lecturas antes y después de la calibración en el eje x. Observándose que las lecturas que devuelve el acelerómetro en el eje x después de la calibración están centradas en 0g.



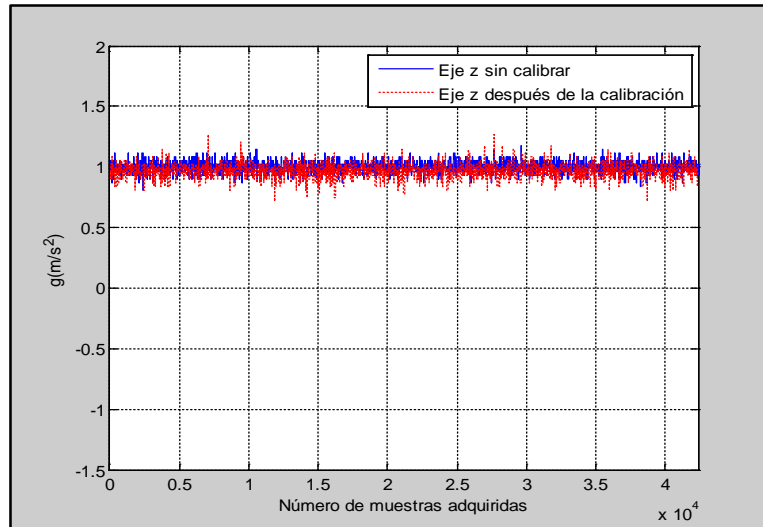
**Figura 5.2** Calibración en el eje x.

En la figura 5.3 se muestran las lecturas antes y después de la calibración en el eje y. Observándose que las lecturas que devuelve el acelerómetro en el eje y después de la calibración están centradas en 0g.



**Figura 5.3** Calibración en el eje y.

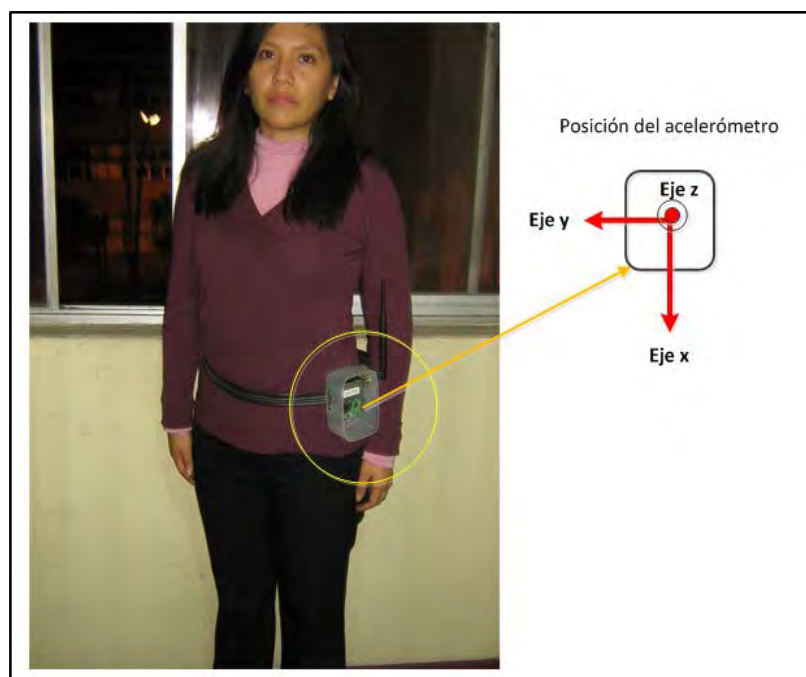
En la figura 5.4 se muestran las lecturas antes y después de la calibración en el eje z. Observándose que las lecturas que devuelve el acelerómetro en el eje z después de la calibración están centradas en +1g.



**Figura 5.4** Calibración en el eje z.

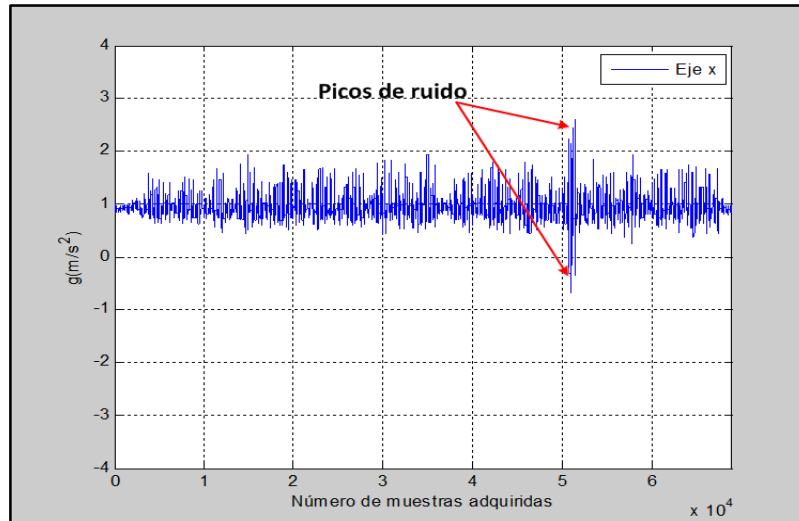
### 5.1.2 Pruebas de atenuación de ruido en las lecturas del acelerómetro

En las pruebas realizadas con el MP colocado en una persona a la altura de la cintura como se muestra en la figura 5.5. Se observaron picos de ruido que aparecían en forma aleatoria, como se muestra en la figura 5.6. Este problema ocasiona una falsa interpretación de las lecturas del acelerómetro, por ello se consideró necesario implementar un filtro FIR mediana de orden 13 para atenuar los picos de ruido.



**Figura 5.5** Posición del acelerómetro al colocar el Módulo Portátil en una persona.

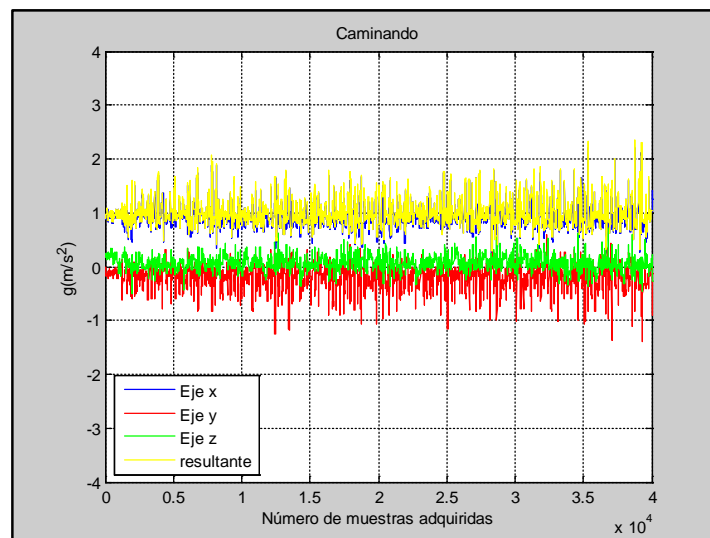




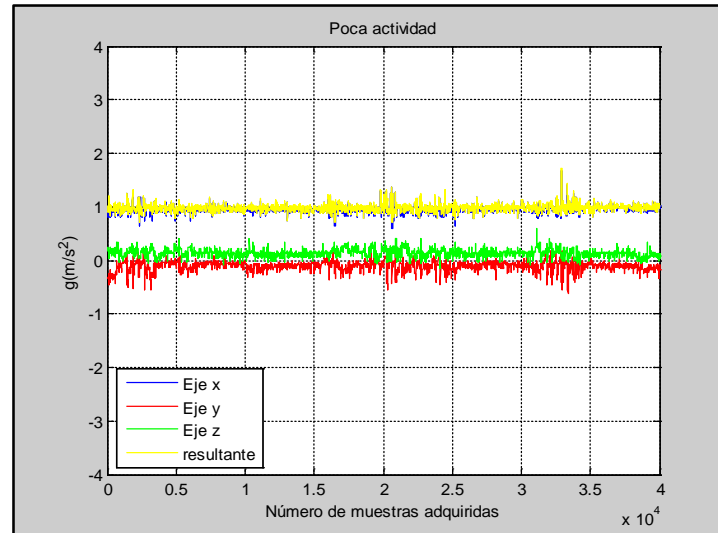
**Figura 5.6** Picos de ruido en el eje x durante una prueba de caminata.

### 5.1.3 Pruebas para la determinación de los umbrales de ausencia de movimiento y caídas.

Para la determinación de los umbrales de ausencia de movimiento se realizaron pruebas de caminatas y pruebas de poca actividad. Las gráficas de la señal del acelerómetro obtenidas en ambas pruebas se muestran en la figura 5.7 y la figura 5.8 respectivamente. La duración de las pruebas de caminatas y poco movimiento fue de 5 min, en la tabla 5.5 y 5.6 se muestran el resultado de los parámetros calculados (según la tabla 4.1) en los primeros 10 s de las pruebas. Según la posición de los ejes del acelerómetro al colocarlo en el sistema, las lecturas más significativas se obtienen en el eje x, por ello se tomara como referencia los valores umbrales obtenidos en este eje.



**Figura 5.7** Movimientos durante una caminata.

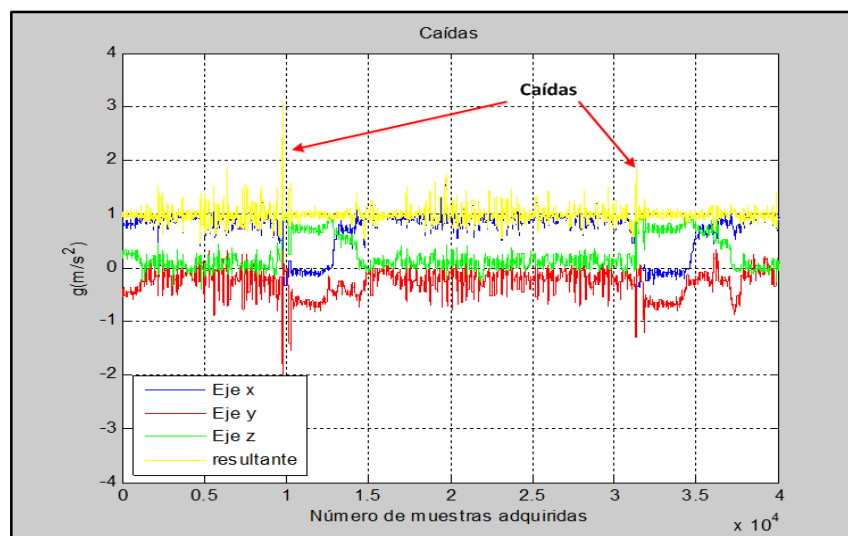


**Figura 5.8** Movimientos al realizar poca actividad.

Los valores umbrales en la prueba de la caminata en el eje x encontrados tienen un valor mínimo de aceleración de 0.6g y valor máximo de 2.1g. El valor resultante de aceleración que se encontró tiene un valor mínimo de aceleración de 0.3g y un valor máximo de 2.4g.

Los valores umbrales en la prueba de poca actividad en el eje x tienen un valor mínimo de aceleración de 0.5g y un valor máximo de 1.4g. El valor resultante de aceleración que se encontró tiene un valor mínimo de aceleración de 0.5g y un valor máximo de 1.7g.

Como se explicó en el capítulo 4, una caída ocurre durante etapas (ver figura 5.9). El valor umbral de la etapa *Weightlessness* tiene un valor mínimo de aceleración de 0.4g y el valor umbral la etapa del impacto de la caída tiene y el valor umbral de la etapa del impacto de la caída tiene un valor mínimo de aceleración de 1.8g y un valor máximo de 3g.



**Fig.5.9** Movimientos durante una caída.

**Tabla 5.5** Parámetros para la determinación de umbrales calculados con los valores obtenidos del acelerómetro durante una caminata.

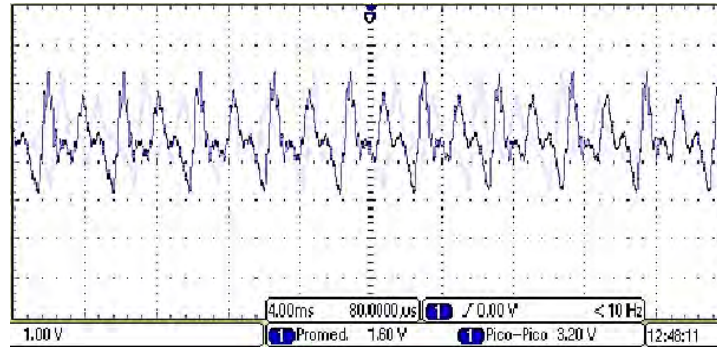
Tiempo	Media Eje x	Media Eje y	Media Eje z	Max Eje x	Max Eje y	Max Eje z	Min Eje x	Min Eje y	Min Eje z	Max at	Min at
0.8 s	0.9055g	0.1243g	0.2269g	0.9300g	0g	0.2480g	0.8680g	0.1860g	0.1860g	0.9803g	0.8963g
1.6 s	0.9796g	0.1503g	0.2058g	1.0540g	0.1240g	0.2480g	0.9300g	0.2170g	0.1240g	1.0872g	0.9630g
2.4 s	0.8875g	0.1206g	0.2210g	0.9300g	0.0620g	0.2790g	0.8370g	0.1550g	0.1550g	0.9749g	0.8563g
3.2 s	0.9412g	0.1321g	0.2244g	0.9920g	0.0310g	0.3410g	0.8990g	0.1860g	0.1240g	1.0393g	0.9295g
4.0 s	0.8947g	0.1135g	0.2105g	0.9300g	0.0930g	0.2480g	0.8060g	0.1550g	0.1860g	0.9749g	0.8324g
4.8 s	0.9201g	0.1147g	0.1984g	0.9920g	0.0930g	0.3410g	0.8060g	0.1550g	0.0310g	1.0314g	0.8301g
5.6 s	0.9257g	0.1181g	0.1538g	0.9920g	0.0620g	0.2480g	0.8680g	0.2170g	0.0930g	1.0244g	0.9059g
6.4 s	0.9663g	0.0418g	0.1507g	1.0540g	0g	0.2790g	0.9300g	0.0930g	0.0620g	1.0653g	0.9341g
7.2 s	0.9728g	0.1659g	0.1516g	1.0230g	0.0620g	0.2790g	0.8990g	0.2170g	0.0930g	1.0421g	0.9096g
8 s	0.9802g	0.1311g	0.0183g	1.0540g	0.0620g	0.0930g	0.8990g	0.2170g	0.0620g	1.0671g	0.9059g
8.8 s	0.9666g	0.0009g	0.0217g	1.0230g	0.0620g	0.1550g	0.8990g	0.0620g	0.1240g	1.0324g	0.9001g
9.6 s	0.9715g	0.0093g	0.0161g	1.0540g	0.0620g	0.0930g	0.8990g	0.0930g	0.1860g	1.0585g	0.9017g
10.4 s	0.9461g	0.2530g	0.1321g	1.0230g	0.1240g	0.2170g	0.7750g	0.6200g	0.0930g	1.1869g	0.8866g

**Tabla 5.6** Parámetros para la determinación de umbrales calculados con los valores obtenidos del acelerómetro durante poca actividad.

Tiempo	Media Eje x	Media Eje y	Media Eje z	Max Eje x	Max Eje y	Max Eje z	Min Eje x	Min Eje y	Min Eje z	Max at	Min at
0.8 s	0.8950g	0.3370g	0.2043g	0.9920g	0.3100g	0.2480g	0.8060g	0.4340g	0.1550g	1.0938g	0.8985g
1.6 s	0.9368g	0.3553g	0.1693g	1.0850g	0.2480g	0.2480g	0.8990g	0.4650g	0.0310g	1.2062g	0.9331g
2.4 s	0.8544g	0.3044g	0.1866g	0.8990g	0.1860g	0.2480g	0.8060g	0.3410g	0.1240g	0.9793g	0.8364g
3.2 s	0.8956g	0.3215g	0.1562g	0.9300g	0.2480g	0.2170g	0.8370g	0.3720g	0.0930g	1.0079g	0.9170g
4.0 s	0.8854g	0.2939g	0.1727g	0.9300g	0.2790g	0.2170g	0.8680g	0.3410g	0.0930g	0.9754g	0.9305g
4.8 s	0.9272g	0.3249g	0.1919g	0.9920g	0.2790g	0.2480g	0.8680g	0.4340g	0.1240g	1.0832g	0.9248g
5.6 s	0.9281g	0.1975g	0.1941g	0.9920g	0.1550g	0.3410g	0.8060g	0.2790g	0.0620g	1.0379g	0.8370g
6.4 s	0.9576g	0.0911g	0.1922g	1.0540g	0g	0.3410g	0.8680g	0.1240g	0.1240g	1.0725g	0.9180g
7.2 s	0.9080g	0.1190g	0.1720g	0.9920g	0g	0.2480g	0.8370g	0.2170g	0.0310g	1.0324g	0.8866g
8 s	0.9461g	0.0663g	0.1534g	1.0540g	0.0310g	0.2170g	0.8060g	0.1240g	0.0930g	1.0774g	0.8353g
8.8 s	0.9241g	0.1423g	0.1283g	0.9920g	0.1240g	0.2170g	0.8370g	0.2170g	0.0310g	1.0230g	0.8552g
9.6 s	0.9777g	0.0397g	0.0375g	1.0540g	0g	0.0930g	0.8680g	0.0620g	0g	1.0545g	0.8680g
10.4 s	0.9461g	0.0050g	0.0936g	0.9920g	0g	0.1240g	0.8990g	0.0310g	0.0620g	0.9997g	0.9043g

### 5.2 Pruebas de verificación de la señal de voz

En esta prueba se verificó el rango de amplitudes de la señal voz a la salida del circuito de acondicionamiento usando un osciloscopio, esta gráfica se muestra en la figura 5.10. Como resultado de estas pruebas se observó que los niveles de voltajes de amplitud de la señal de voz eran los adecuados, es decir estaban en el rango de 0-3.3V.



**Fig.5.10** Señal de voz a la salida del circuito de acondicionamiento.

### 5.3 Pruebas de alcance con los módems de radio

El alcance de los módems de radio fue probado a la potencia de 10mW, comprobando que se llega a alcanzar los 20 m, incluso en un ambiente rodeado de paredes sin línea de vista. Los niveles RSSI (*Receive Signal Strength Indication*) que se obtuvieron con el módem de radio en la prueba de alcance sin línea de vista se muestran en la tabla 5.7. También se realizaron a una distancia de 70m y 10mW con línea de vista, los resultados del nivel RSSI se muestran en la tabla 5.8.

**Tabla 5.7** Niveles RSSI de las pruebas con el modem de radio a una distancia de 20 m.

Niveles RSSI a 20 m	
-75 dBm	-67 dBm
-64 dBm	-70 dBm
-69 dBm	-72 dBm

**Tabla 5.8** Niveles RSSI de las pruebas con el modem de radio a una distancia de 70 m.

Niveles RSSI a 70 m	
-79 dBm	-83 dBm
-82 dBm	-82 dBm
-82 dBm	-84 dBm

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones referentes a la parte del sensado de movimiento son:

1. La tecnología del acelerómetro puede usarse para detectar diferentes actividades físicas del bombero.
2. No es necesario configurar el acelerómetro a la sensibilidad máxima de 8g, como inicialmente se configuró, debido que los picos de aceleración que se observaron durante las pruebas simuladas de una caída no fueron mayores a 4g.
3. Con la configuración del acelerómetro a la sensibilidad de 4g se obtuvo valores umbrales máximos y mínimos más diferenciados con los que algoritmo trabajó mejor. A diferencia de la configuración de sensibilidad a 8g donde no se valores muy diferenciados en los umbrales.
4. El filtro mediana se vuelve imprescindible cuando el acelerómetro está configurado a la sensibilidad de 4g debido a que las lecturas del sensor se vuelven más ruidosas.
5. Usando el método de los umbrales para el algoritmo de detección de ausencia de movimiento y caídas se obtuvo un porcentaje de detección correcta mayor al 90% en ambos eventos.

Las conclusiones referentes a la parte de comunicación por voz son:

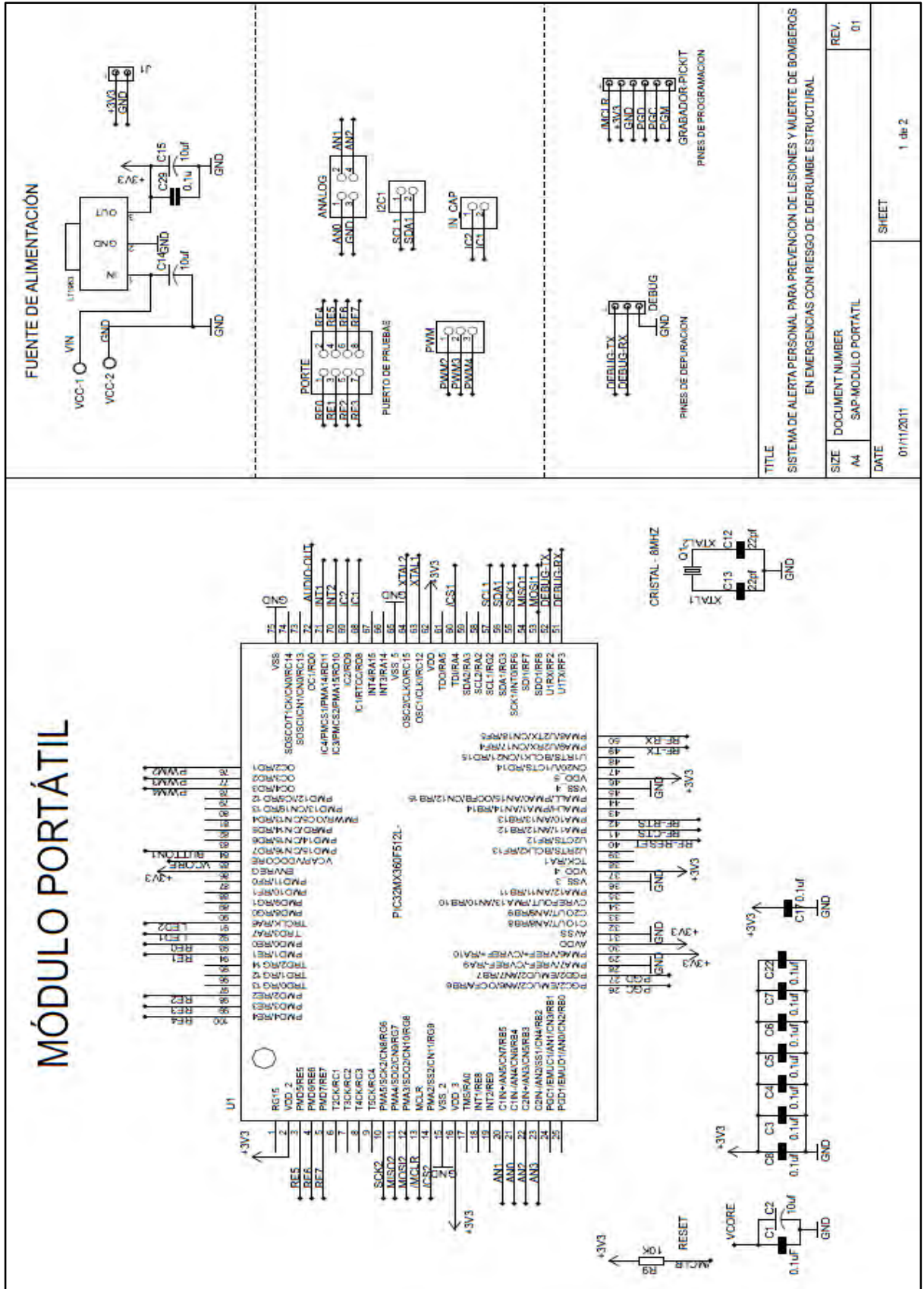
1. El control de la comunicación por voz desde el Módulo Central permite mayor duración de las baterías en el Módulo Portátil.
2. La configuración del modem de radio a la potencia de 10 mW cumple con los requisitos del sistema para una comunicación de 20 m y podría ser utilizada hasta 70m en ambientes con línea de vista.
3. La comunicación por voz puede ayudar a verificar el estado de movimiento del bombero cuando se detecta ausencia de movimiento y caídas.

Para el Sistema de Alerta Personal se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Tratar de colocar el Módulo Portátil fijamente para obtener menor ruido en las lecturas del acelerómetro.
2. Para un mejor funcionamiento del sistema, el bombero debe entrenar con el sistema para conocer sus funcionalidades.
3. Si se requiere detectar más actividades del bombero será necesario realizar pruebas para el cálculo de los valores umbrales de esas actividades.
4. Si en el futuro se quisiera replicar el sistema solo para el monitoreo de movimientos del bombero podría usarse un módem de radio con menos prestaciones, lo que reduciría el costo del sistema.

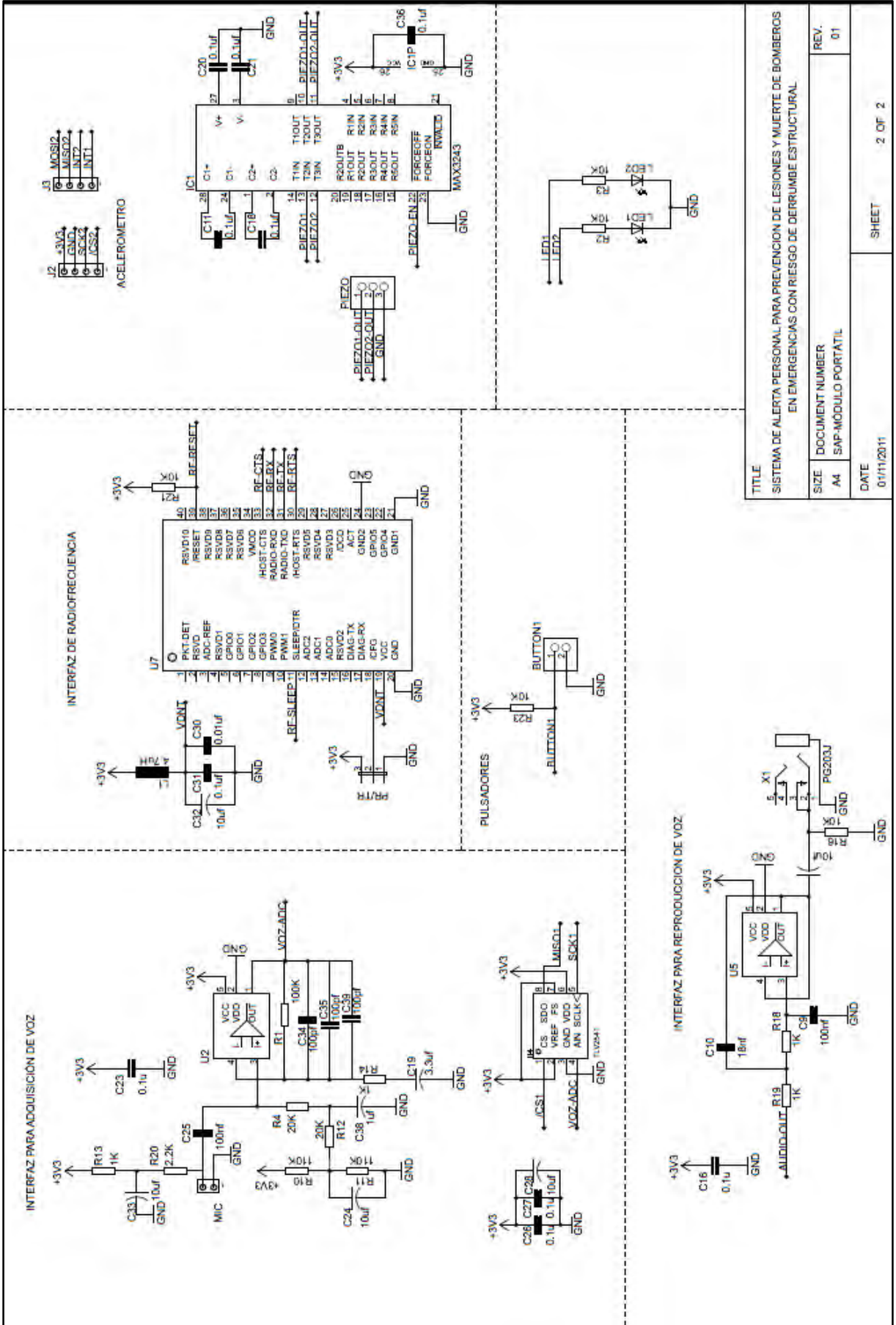
**ANEXO A**  
**CIRCUITOS ESQUEMÁTICOS DEL SISTEMA DE ALERTA PERSONAL**

# A.1 CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO PORTÁTIL



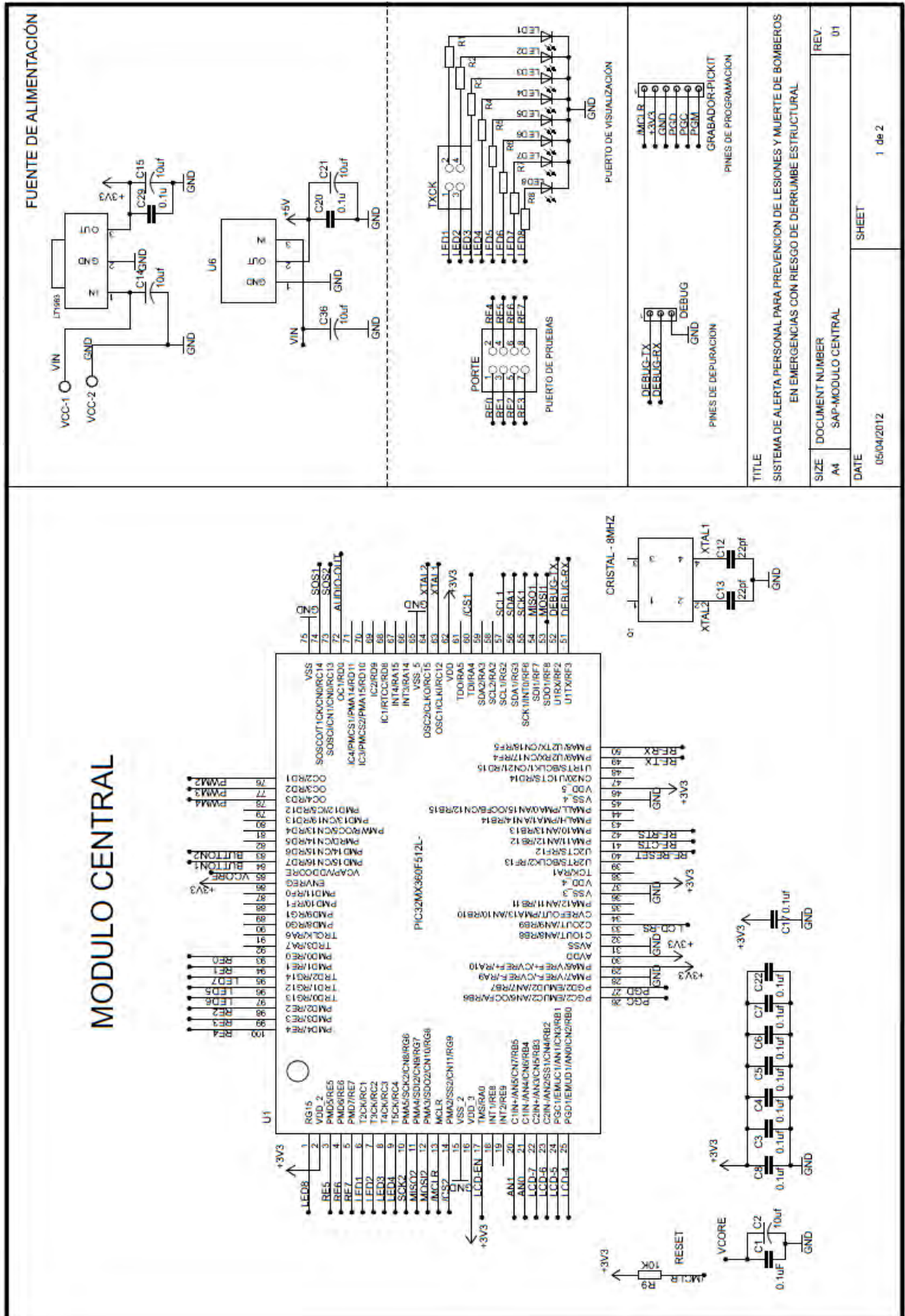
TITLE	
SISTEMA DE ALERTA PERSONAL PARA PREVENCIÓN DE LESIONES Y MUERTE DE BOMBEROS EN EMERGENCIAS CON RIESGO DE DERRUMBE ESTRUCTURAL	
SIZE	REV.
A4	01
DOCUMENT NUMBER	
SAP-MÓDULO PORTÁTIL	
DATE	SHEET
01/11/2011	1 de 2

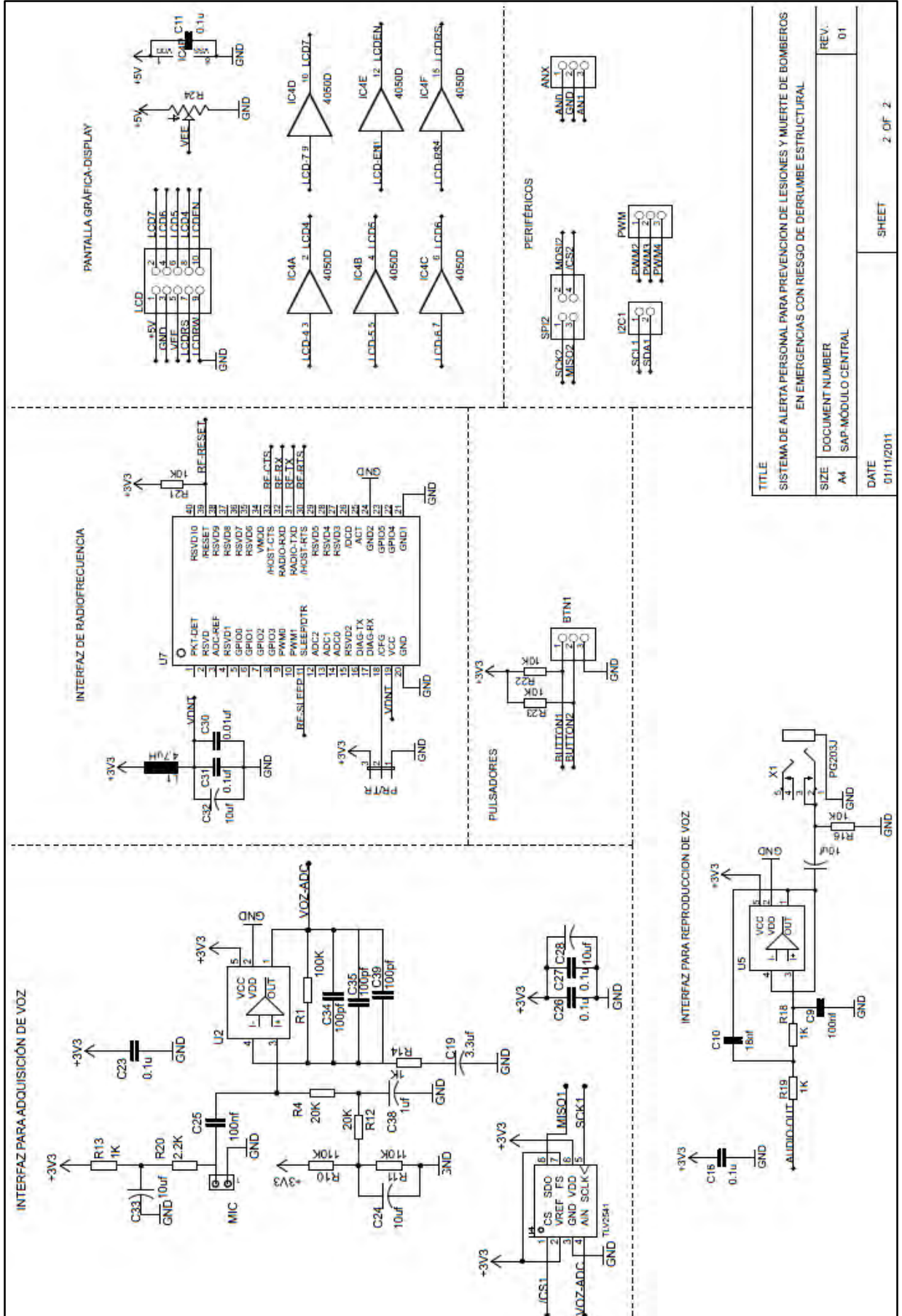




TITLE	
SISTEMA DE ALERTA PERSONAL PARA PREVENCIÓN DE LESIONES Y MUERTE DE BOMBEROS EN EMERGENCIAS CON RIESGO DE DERRUMBE ESTRUCTURAL	
SIZE	DOCUMENT NUMBER
A4	SAP-MODULO PORTATIL
DATE	REV.
01/11/2011	01
SHEET 2 OF 2	

## A.2 CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO CENTRAL





TITLE		SISTEMA DE ALERTA PERSONAL PARA PREVENCIÓN DE LESIONES Y MUERTE DE BOMBEROS EN EMERGENCIAS CON RIESGO DE DERRUMBE ESTRUCTURAL	
SIZE	DOCUMENT NUMBER	REV.	
A4	SAP-MÓDULO CENTRAL	01	
DATE	SHEET	2 OF 2	
01/11/2011			

**ANEXO B**  
**LISTA DE COMPONENTES Y COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**  
**DE ALERTA PERSONAL**

## B.1 Lista de componentes y costo de implementación del Módulo Central

Nº	Referencia circuital	Dispositivo	Costo
1	C1,C3,C4,C5,C9,C11,C16,C20,C22,C23,C26,C27,C31	Capacitor cerámico de 0.1uF tolerancia 10% (SMD 0603)	S/. 1,00
2	C12,C13	Capacitor cerámico de 22pF tolerancia 20% (SMD 0603)	S/. 0,50
3	C2,C14,C15,C21,C24,C28,C32,C33,C36,C37	Capacitor de tantalio de 10uF tolerancia 10% (SMD 1206)	S/. 10,00
4	C10	Capacitor cerámico de 18nF tolerancia 10% (SMD 0603)	S/. 1,00
5	C19	Capacitor cerámico de 3.3uF tolerancia 20% (SMD 0603)	S/. 1,00
6	C30	Capacitor cerámico de 0.01uF tolerancia 10% (SMD 0603)	S/. 0,80
7	C34,C35	Capacitor cerámico de 100pF tolerancia 20%	S/. 0,40
8	IC4	Buffer no inversor CD4050	S/. 1,00
9	R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8,R14,R18,R19,R20	Resistor de 1k Ohm tolerancia 20% (SMD 0805)	S/. 2,40
10	R13	Resistor de 2k Ohm tolerancia 20% (SMD 0805)	S/. 0,20
11	R15,R16,R21,R22,R23	Resistor de 10k Ohm tolerancia 20% (SMD 0805)	S/. 1,20
12	R12	Resistor de 20K Ohm tolerancia 20% (SMD 0805)	S/. 0,50
13	R10,R11	Resistor de 100k Ohm tolerancia 20% (SMD 0805)	S/. 0,60
14	L1	Chip de ferrita de 4.7uH tolerancia 20% (SMD 0805)	S/.1,00
15	R24	Potenciómetro de 20k Ohm	S/. 0,50
16	LT1963	Regulador de voltaje 3.3v - LT1963 (SOT223)	S/. 2,30
17	U6	Regulador de voltaje 5v KA78L05 (SOT223)	S/. 1,50
18	U2, U5	Amplificador Operacional TS971	S/. 2,50
19	U4	ADC de 12 bits- TLV2541 (MSOP08)	S/. 25,00
20	U1	Microcontrolador PIC32MX360F512L (TQFP100)	S/. 40,00
21	U7	Módem de radiofrecuencia DNT900	S/. 350,00
22	--	Antena Dipolo 900Mhz 2dBi	S/. 60,00
23	--	Cable RF -UFL a SMA	S/. 28,00
24	--	Pantalla LCD 2X16	S/. 12,00
25	--	Micrófono electret	S/. 1,00
26	Q1	Cristal de 8Mhz	s/1,00
27	LED1,LED2,LED3,LED4,LED5,LED6,LED7,LED8	Led rojo SMD 1206	S/. 2,40
28	VCC	Molex de 2 pines	S/. 0,50
29	ANX, BTN1, DEBUG, I2C1, LCD, PORTE, PWM, MIC	Conector espadin macho	S/. 2,00
30	GRABADOR PICKIT.	Conector espadin macho 90º	S/. 1,00
31	X1	Conector Jack audio stereo	S/. 0,50

Presupuesto : S/. 550,3

## B.2 Lista de componentes y costos de implementación del Módulo Portátil

Nº	Referencia circuital	Dispositivo	Costo
1	C1,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C11, C16 ,C17,C18,C20,C21,C22,C23,C25, C26,C27,C29, C31,C36	Capacitor cerámico de 0.1uF tolerancia 10%	S/. 1,00
2	C12,C13	Capacitor cerámico de 22pF tolerancia 20%	S/. 0,50
3	C2,C14,C15,C24,C28,C32,C33, C37	Capacitor de tantalio de 10uF tolerancia 10%	S/. 10,00
4	C10	Capacitor cerámico de 18nF tolerancia 10%	S/. 1,00
5	C19	Capacitor cerámico de 3.3uF tolerancia 20%	S/. 1,20
6	C30	Capacitor cerámico de 0.01uF tolerancia 10%	S/. 0,80
7	C34,C35	Capacitor cerámico de 100pF tolerancia 20%	S/. 0,40
9	R14,R18,R19,R20	Resistor de 1k Ohm tolerancia 20%	S/. 0,80
10	R13	Resistor de 2k Ohm tolerancia 20%	S/. 0,20
11	R3,R9,R16,R21,R23	Resistor de 10k Ohm tolerancia 20%	S/. 0,80
12	R12	Resistor de 20K Ohm tolerancia 20%	S/. 0,50
13	R1,R10,R11	Resistor de 100k Ohm tolerancia 20%	S/. 0,60
14	L1	Chip de ferrita de 4.7uH tolerancia 20%	S/. 1,00
15	LT1963	Regulador de voltaje 3.3v - LT1963	S/. 2,30
16	U2,U5	Amplificador Operacional TS971	S/. 2,50
17	--	Acelerómetro MMA7455	S/. 9,00
18	IC1	MAX3243	S/. 3,00
19	U4	ADC de 12 bits- TLV2541 (MSOP08)	S/. 25,00
20	U1	Microcontrolador PIC32MX360F512L (TQFP100)	S/. 40,00
21	U7	Módem de radiofrecuencia DNT900	S/. 350,00
22	--	Antena Dipolo 900Mhz 2dBi	S/. 60,00
23	--	Cable RF -UFL a SMA	S/. 28,00
24	--	Micrófono electret	S/. 1,00
25	Q1	Cristal de 8Mhz	S/. 1,00
26	LED1,LED2	Led azul	S/. 0,60
27	VCC	Molex de 2 pines	S/. 0,50
28	DEBUG,I2C1, PWM,PIEZO,PORTE,IN_CAP	Conector espadin macho	S/. 2,00
29	GRABADOR PICKIT	Conector espadin macho 90º	S/. 1,00
30	X1	Conector Jack audio stereo	S/. 0,50

Presupuesto : S/. 536,20

**ANEXO C**  
**CÓDIGO FUENTE DEL SISTEMA DE ALERTA PERSONAL**

## C.1 Código fuente del proceso de adquisición de voz

### void Procesovoz\_init()

```

{  ADC_init();VOZ_off; /*Iniciando Hardware*/
   PWM_init();PLAY_off;
   indicevoz=0;indice_adpcm=0; /*Iniciando variables*/
/*Flags*/
flags.talkflag=1; flags.playflag=0; //0: vacio, 1: lleno, 3:en espera
flags.txbufferflag=3;          // 3: en espera 1:buffer1 2:buffer2
voz_adc=0; voz_adpcm=0;
registervoz=0;
ADPCMEncoder_init();
}

```

### short ADC\_read()

```

{   ADC_CS=0;
    SPI1BUF=0x00;
    while(!SPI1STATbits.SPIRBF);          //Wait for transfer complete
    adc_high=SPI1BUF;                      //Read the received value
    SPI1BUF=0x00;
    while(!SPI1STATbits.SPIRBF);          //Wait for transfer complete
    adc_low=SPI1BUF;
    ADC_CS=1;
    SPI1BUF=0x00;                          //Trash
    while(!SPI1STATbits.SPIRBF);
    trash=SPI1BUF;
    adc=adc_high;
    adc=adc<<8;
    adc=adc|adc_low;
}

```



```

adc=adc>>4;
s_adc=adc-2048;
return (s_adc); }

```

//Rutina de interrupción para la adquisición de la señal de voz

**void ISR\_talk()**

```

{
    voz_adc=ADC_read();
    temp_vozadpcm=ADPCMEncoder(voz_adc);
    if(indice_adpcm&0x01)
    {
        voz_adpcm=(voz_adpcm<<4)|temp_vozadpcm;
        indice_adpcm++;
        if(flags.activebuffer) //0: Buffer1, 1: Buffer2
        { buffervoz2[indicevoz]=voz_adpcm; indicevoz++;}
        else { buffervoz1[indicevoz]=voz_adpcm; indicevoz++;}
    }
    else {voz_adpcm=temp_vozadpcm;indice_adpcm++;}
    /* Se ha llenado un buffer*/
    if(indicevoz==100)
    {
        if(flags.activebuffer){flags.txbufferflag=2;} else {flags.txbufferflag=1;}
        flags.activebuffer=!flags.activebuffer;
        indicevoz=0; indice_adpcm=0;
    }
}

```

## C.2 Código fuente del algoritmo de codificación ADPCM

//Algoritmo de Compresión ADPCM

# include "ADPCM.h"

#define MAX\_POSITIVO 2047

```

#define MAX_NEGATIVO      -2048
#define MAX_INDICE        48

char IndexTable[16]={ -1,-1,-1,-1,2,4,6,8,
                    -1,-1,-1,-1,2,4,6,8 };

unsigned short StepSizeTable[49] = {
    16, 17, 19, 21, 23, 25, 28, 31, 34, 37, 41, 45,
    50, 55, 60, 66, 73, 80, 88, 97, 107, 118, 130, 143,
    157, 173, 190, 209, 230, 253, 279, 307, 337, 371, 408, 449,
    494, 544, 598, 658, 724, 796, 876, 963, 1060, 1166, 1282, 1411, 1552 };

short step;
short predsample;
short diff,diffq;
short indice;

void ADPCMEncoder_init()
{ state.prevsample=0;
  state.previndice=0; }

unsigned char ADPCMEncoder( short sample)
{
    unsigned char code; /* ADPCM output value*/
    short tempstep;      /* Temporary step size*/
    predsample = state.prevsample; //variacion
    indice = state.previndice;
    step = StepSizeTable[indice];
    diff = sample - predsample;
    if(diff >= 0) code = 0;
    else { code = 8; diff = -diff; }
    tempstep=step;

```

```

if( diff >= tempstep )
{
  code |= 4;
  diff -= tempstep;
}
tempstep >>= 1;
if( diff >= tempstep )
{
  code |= 2;
  diff -= tempstep;
}
tempstep >>= 1;
if( diff >= tempstep )
code |= 1;
diffq=step>>3;
if(code&4)
  diffq+=step;
if(code&2)
  diffq+=step>>1;
if(code&1)
  diffq+=step>>2;
if( code & 8 ) predsamp - = diffq;
else predsamp + = diffq;
if( predsamp > MAX_POSITIVO )
predsamp = MAX_POSITIVO;
else if( predsamp < MAX_NEGATIVO )
predsamp = MAX_NEGATIVO;
/* Find new quantizer stepsize index by adding the old index
to a table lookup using the ADPCM code*/
indice += IndexTable[code];
/* Check for overflow of the new quantizer step size index*/

```

```

if( indice < 0 ) indice= 0;
if( indice > MAX_INDICE ) indice = MAX_INDICE;
/* Save the predicted sample and quantizer step size index for the next iteration */
state.prevsample = predsampl;
state.previndice = indice;

/* Return the new ADPCM code*/
return ( code & 0x0f);
}

```

### **short ADPCMDecoder(unsigned char code)**

```

{
    predsampl = state.prevsampl;
    indice = state.previndice;
    /* Find quantizer step size from lookup table using index */
    step = StepSizeTable[indice];
    /* Inverse quantize the ADPCM code into a difference using
    the quantizer step size */
    diffq = step >> 3;
    if( code & 4 )
        diffq += step;
    if( code & 2 )
        diffq += step >> 1;
    if( code & 1 )
        diffq += step >> 2;
    /* Add the difference to the predicted sample*/
    if( code & 8 ) predsampl -= diffq;
    else predsampl += diffq;
    /* Check for overflow of the new predicted sample */
    if( predsampl > MAX_POSITIVO)

```

```

    predsampl = MAX_POSITIVO;
else if( predsampl <MAX_NEGATIVO)
    predsampl = MAX_NEGATIVO;
/* Find new quantizer step size by adding the old index and a
table lookup using the ADPCM code */
    indice+= IndexTable[code];
/* Check for overflow of the new quantizer step size index */
if( indice < 0 )
    indice = 0;
if( indice > MAX_INDICE )
    indice = MAX_INDICE;
/* Save predicted sample and quantizer step size index for next iteration */
state.prevsampl = predsampl;
state.previndice = indice;
/* Return the new speech sample */
return(predsampl);
}

```

```

// Adquisición de muestras de voz
unsigned char adc_low, adc_high, trash;
unsigned short adc=0; short s_adc;
void ADC_init()
{ /* Variables*/
    adc_low=0;adc_high=0; trash=0;
    adc=0;s_adc=0;
/* Configuración del módulo SPI */
    SPI1CON=0x00;
    SPI1BUF;
    SPI1BRG=17;

```

```

    SPI1CON=0x320;
    SPI1CONSET=0x8000;
}

```

### C.3 Código fuente del proceso de sensado de movimiento

//Lectura del acelerómetro

**void Readbufferacel(unsigned char num,unsigned char \*out)**

```

{   unsigned char i,k;
    for(i=0,i<num;i++)
    {   for(k=0;k<50;k++);
        rawx[i]= readacel(XOUTL); //Formato complement a dos
        rawy[i]=readacel(YOUTL);
        rawz[i]=readacel(ZOUTL);
        for(k=0;k<50;k++);
    }
}

```

//Filtro mediana de orden 13

**void medianfilter(char \*signal, char \*result, unsigned char N)**

```

{   unsigned char i,j,k;
    char window[13],min,temp;
    //Extensión de la señal
    memcpy(extension+6,signal,N*sizeof(char));
    for (i = 0; i < 6; ++i)
    {   extension[i] = signal[5 - i];
        extension[N + 6 + i] = signal[N - 1 - i];
    }
}

```

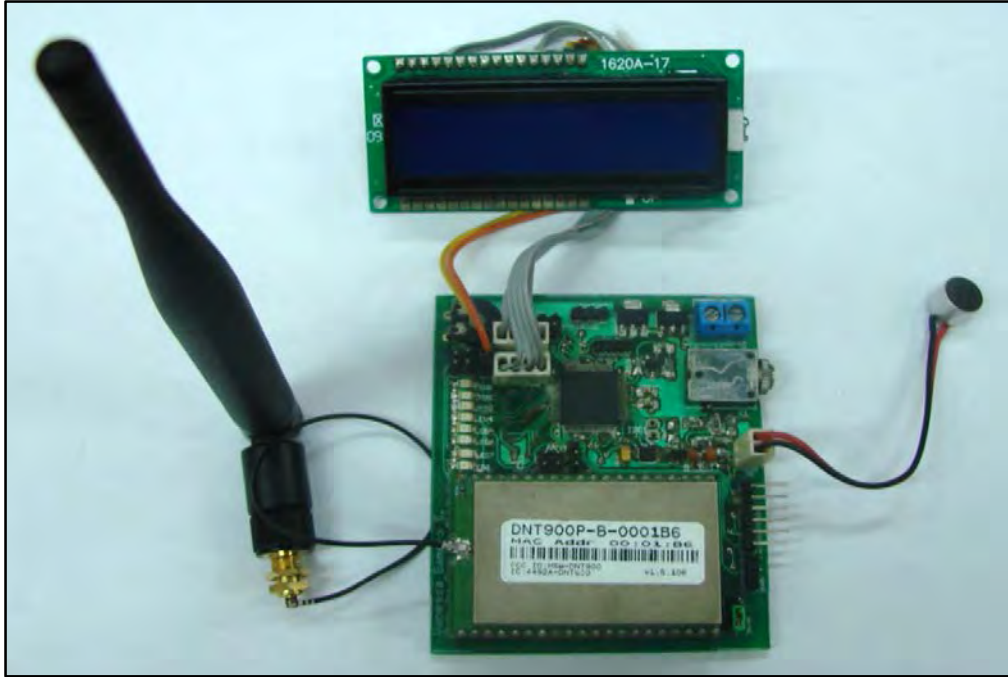
```

//Moviendo la ventana a través de todos los elementos
for (i = 6; i < N+6; ++i)
{ //Escogiendo lo elementos de la ventana
    for (j = 0; j < 9; j++)
        window[j] = extension[i - 6 + j];
//Ordenando solo la mitad de los elementos
for (j = 0; j < 7; j++)
{ //Encontrando la posición del menor elemento
    min = j;
    for (k = j + 1; k < 9; k++)
        if (window[k] < window[min])
            min = k;
//Poniendo el menor elemento en esta posición
    temp = window[j];
    window[j] = window[min];
    window[min] = temp;
}
    result[i - 6] = window[6];
}
}
// Conversión de byte a formato complemento a dos
void byteto2c(unsigned char *source,unsigned char len, char* dest)
{
    unsigned char i=0;
    for(i=0,j=0;i<len;i++)
    {
        if((source[i]>127)){source[i]= source[i]-255;}
        dest[i]= source[i];
    }
}

```

**ANEXO D**  
**FOTOGRAFÍAS DEL SISTEMA DE ALERTA PERSONAL**

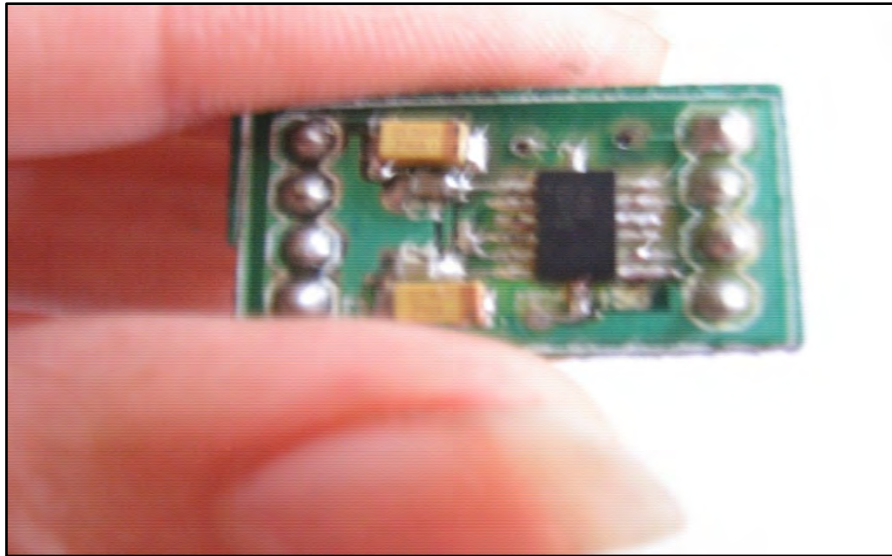




**Figura D.1** Fotografía del Módulo Base



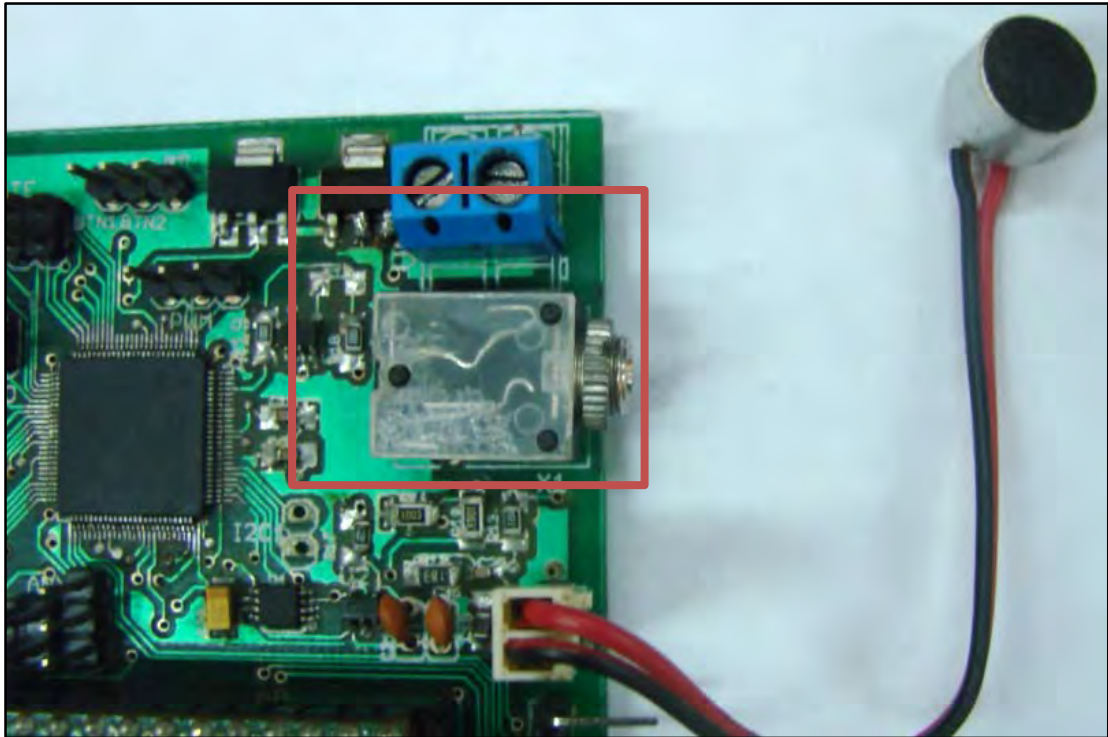
**Figura D.2** Fotografía del Módulo Portátil



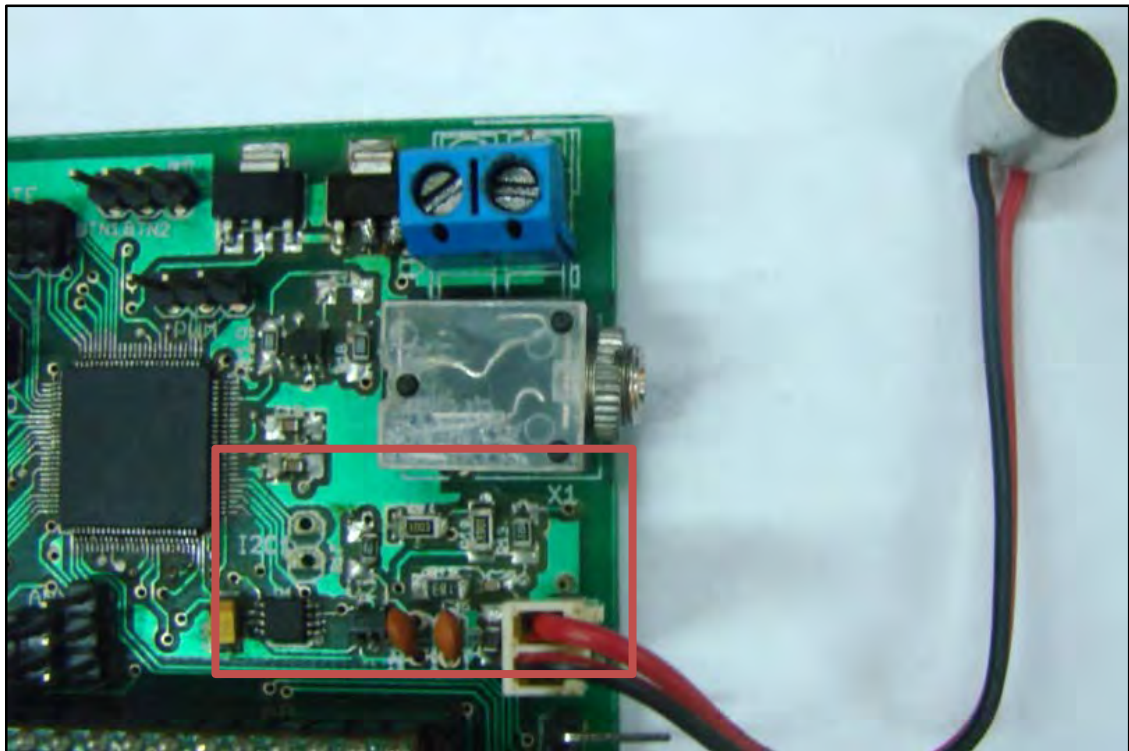
**Figura D.3** Fotografía de la interfaz para el sensado de movimiento.



**Figura D.4** Fotografía del micrófono electret

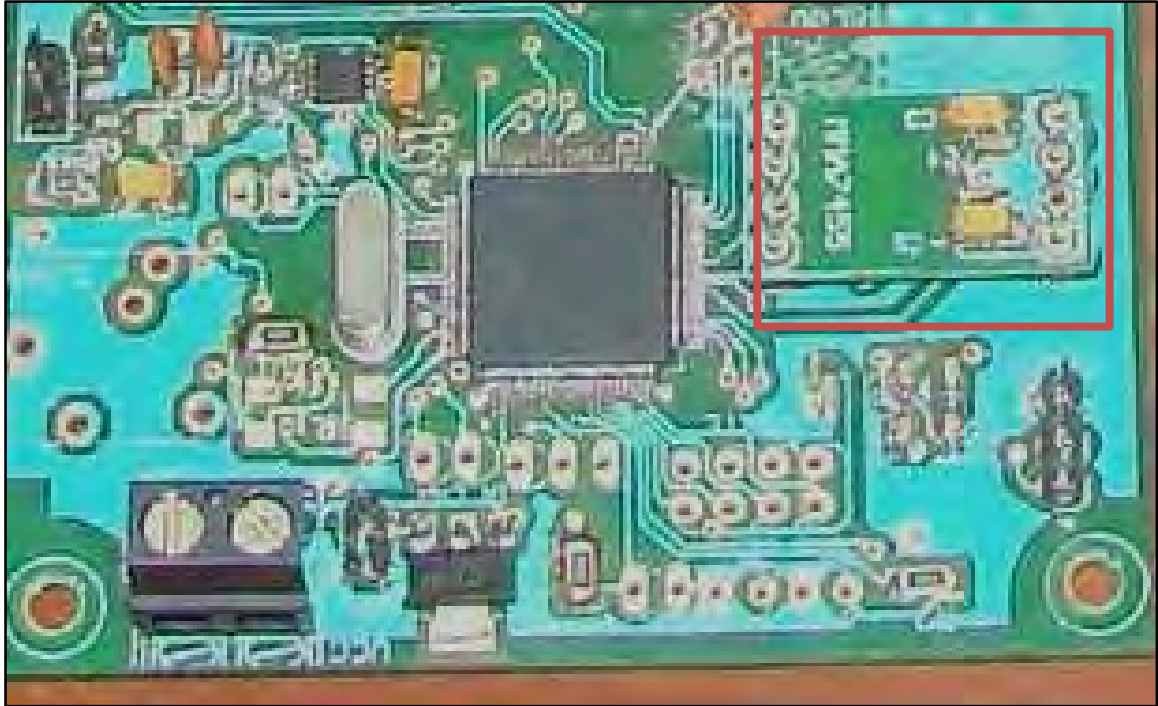


**Figura D.5** Fotografía de la interfaz para reproducción de voz

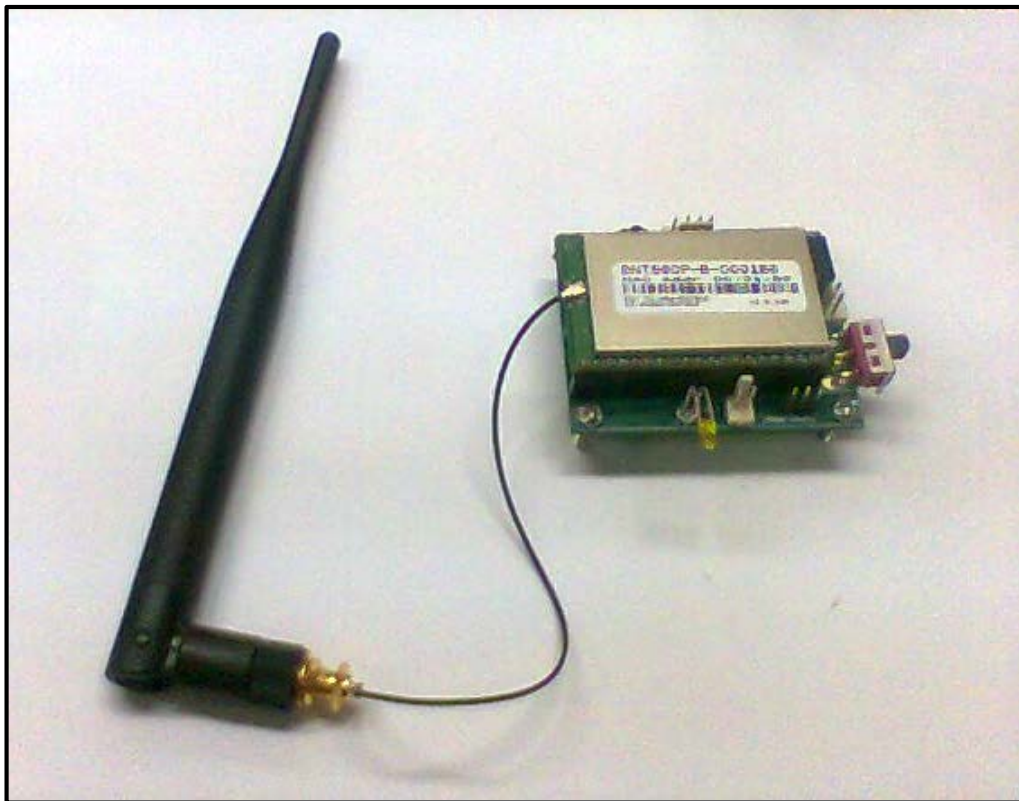


**Figura D.6** Fotografía de la interfaz para adquisición de voz

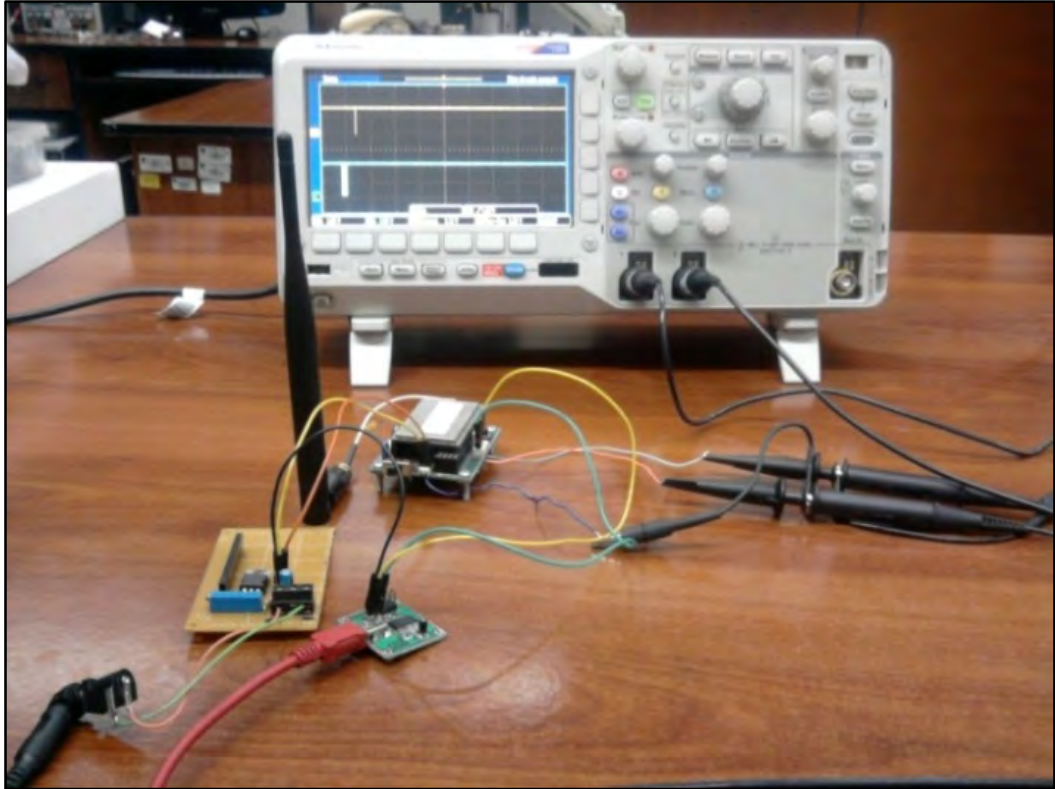




**Figura D.7** Fotografía de la interfaz de sensado de movimiento en el Módulo Portátil



**Figura D.8** Fotografía del módem de radio



**Figura D.9** Fotografía de las pruebas con los módulos de radio

**ANEXO E**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE**  
**ALERTA PERSONAL**

## E.1 Características técnicas del PIC32MX360F512L

**TABLE 29-1: OPERATING MIPS VS. VOLTAGE**

Characteristic	VDD Range (in Volts)	Temp Range (in °C)	Max Frequency
			PIC32MX Family
DC5	2.5-3.6V	-40°C to +85°C	72 MHz <sup>(1)</sup>

Note 1: 20 MHz maximum for PIC32MX300 family variants.

**TABLE 29-2: THERMAL OPERATING CONDITIONS**

Rating	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
PIC32MX Family					
Operating Junction Temperature Range	T <sub>J</sub>	-40	—	+125	°C
Operating Ambient Temperature Range	T <sub>A</sub>	-40	—	+85	°C
Power Dissipation: Internal Chip Power Dissipation: P <sub>INT</sub> = V <sub>DD</sub> × (I <sub>DD</sub> – S I <sub>OH</sub> ) I/O Pin Power Dissipation: I/O = S ((V <sub>DD</sub> – V <sub>OH</sub> ) × I <sub>OH</sub> ) + S (V <sub>OL</sub> × I <sub>OL</sub> )	P <sub>D</sub>	P <sub>INT</sub> + P <sub>I/O</sub>			W
Maximum Allowed Power Dissipation	P <sub>DMAX</sub>	(T <sub>J</sub> – T <sub>A</sub> )/θ <sub>JA</sub>			W

**TABLE 29-3: THERMAL PACKAGING CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Typ	Max	Unit	Notes
Package Thermal Resistance, 100-Pin TQFP (12x12x1 mm)	θ <sub>JA</sub>	52.3	—	°C/W	1
Package Thermal Resistance, 64-Pin TQFP (10x10x1 mm)	θ <sub>JA</sub>	38.3	—	°C/W	1

Note 1: Junction to ambient thermal resistance, Theta-JA (θ<sub>JA</sub>) numbers are achieved by package simulations.

**TABLE 29-4: DC TEMPERATURE AND VOLTAGE SPECIFICATIONS**

DC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions: 2.5V to 3.6V (unless otherwise stated) Operating temperature -40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +85°C for Industrial				
Param No.	Symbol	Characteristic	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Units	Conditions
<b>Operating Voltage</b>							
DC10	<b>Supply Voltage</b>						
	V <sub>DD</sub>		2.5	—	3.6	V	
DC12	V <sub>DR</sub>	RAM Data Retention Voltage <sup>(2)</sup>	—	TBD	—	V	
DC16	V <sub>POR</sub>	V <sub>DD</sub> Start Voltage to Ensure Internal Power-on Reset Signal	—	V <sub>SS</sub>	—	V	
DC17	S <sub>VDD</sub>	V <sub>DD</sub> Rise Rate to Ensure Internal Power-on Reset Signal	0.05	—	—	V/ms	

Legend: TBD = To Be Determined



**TABLE 29-17: PLL CLOCK TIMING SPECIFICATIONS (V<sub>DD</sub> = 2.5V TO 3.6V)**

AC CHARACTERISTICS		Standard Operating Conditions: 2.5V to 3.6V (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for Industrial					
Param No.	Symbol	Characteristic <sup>(1)</sup>	Min	Typ <sup>(2)</sup>	Max	Units	Conditions
OS50	F <sub>PLLI</sub>	PLL Voltage Controlled Oscillator (VCO) Input Frequency Range	4	—	5	MHz	ECPLL, HSPLL, MSPLL, FRCPLL modes
OS51	F <sub>sys</sub>	On-Chip VCO System Frequency	60	—	230	MHz	
OS52	T <sub>loc</sub>	PLL Start-up Time (Lock Time)	TBD	TBD	24	μs	
OS53	D <sub>clk</sub>	CLKO Stability (Jitter)	TBD	+/-1	TBD	%	Measured over 100 ms period

Legend: TBD = To Be Determined

Note 1: These parameters are characterized but not tested in manufacturing.

2: Data in "Typ" column is at 3.3V, 25°C unless otherwise stated. Parameters are for design guidance only and are not tested.

**TABLE 29-18: INTERNAL FRC ACCURACY**

AC CHARACTERISTICS		Standard Operating Conditions: 2.5V to 3.6V (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for Industrial					
Param No.	Characteristic	Min	Typ	Max	Units	Conditions	
Internal FRC Accuracy @ 8.00 MHz <sup>(1)</sup>							
F20	FRC	-2	—	+2	%	+25°C	V <sub>DD</sub> = 3.0 to 3.6V
		-5.0	—	+5.0	%	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$	V <sub>DD</sub> = 3.0 to 3.6V

Note 1: Frequency calibrated at 25°C and 3.3V. TUN bits can be used to compensate for temperature drift.

**TABLE 29-19: INTERNAL RC ACCURACY**

AC CHARACTERISTICS		Standard Operating Conditions: 2.5V to 3.6V (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for Industrial					
Param No.	Characteristic	Min	Typ	Max	Units	Conditions	
LPRC @ 31.25 kHz <sup>(1)</sup>							
F21		TBD	—	TBD	%	+25°C	V <sub>DD</sub> = 2.5 to 3.6V
		-15	—	+15	%	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$	V <sub>DD</sub> = 2.5 to 3.6V

Legend: TBD = To Be Determined

Note 1: Change of LPRC frequency as V<sub>DD</sub> changes.



## E.2 Características técnicas del radio módem DNT900

Characteristic	Sym	Minimum	Typical	Maximum	Units
Operating Frequency Range		902.75		927.25	MHz
Hop Dwell Time		5		200	ms
Number of RF Channels				50	
Modulation		FSK			
RF Data Transmission Rates		38.4, 115.2, 200 and 500			kb/s
Receiver Sensitivity:					
10 <sup>-5</sup> BER @ 38.4 kb/s			-108		dBm
10 <sup>-5</sup> BER @ 200 kb/s		-98			dBm
10 <sup>-5</sup> BER @ 500 kb/s			-94		dBm
Transmitter RF Output Power Levels		1, 10, 100, 250, 500, 1000 at 38.4 to 200 kb/s 1, 10, 85 at 500 kb/s			mW
Optimum Antenna Impedance			50		Ω
RF Connection		DNT900P - U.FL Connector DNT900C - U.FL Connector or PCB Pad			
Network Topologies		Point-to-Point, Point-to-Multipoint			
Access Schemes		TDMA and CSMA			
Number of Network Nodes:					
TDMA				16	
CSMA				unlimited	
ADC Input Range		0		3.3	V
ADC Input Resolution			10		bits
Signal Source Impedance for ADC Reading				10	KΩ
PWM (DAC) Output Range		0		3.3	V
PWM (DAC) Output Resolution				8	bits
PWM Output Period			20		μs
Primary Serial Port Baud Rates		1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 19.2, 28.8, 38.4, 57.6, 76.8, 115.2, 230.4, 460.8			kb/s
Diagnostic Serial Port Baud Rate		38.4			kb/s
Digital I/O:					
Logic Low Input Level		-0.5		0.8	V
Logic High Input Level		2		3.3	V
Logic Input Internal Pull-up Resistor		50		200	KΩ
Logic Input Internal Pull-down Resistor		50		180	KΩ
Power Supply Voltage Range	V <sub>CC</sub>	+3.3		+5.5	V <sub>dC</sub>
Power Supply Voltage Ripple				10	mV <sub>p,p</sub>
Peak Transmit Mode Current, 1 W Output				1200	mA
Average Operating Receive Current:					
Base			105		mA
Remote, No Data Transmission			35		mA
Remote, 9.6 kb/s Continuous Data Stream			40		mA
Remote, 115.2 kb/s Continuous Data Stream			53		mA
Sleep Current				50	μA
Operating Temperature Range		-40		85	°C
Operating Relative Humidity Range (non condensing)		10		90	%

## Registros del radio módem DNT900

Com- mand	Reply	Event	Description	Direction	Arguments
0x00	-	-	EnterProtocolMode	from Host	DNT900 (ASCII characters)
-	0x10	-	EnterProtocolModeReply	from Radio	none
0x01	-	-	ExitProtocolMode	from Host	none
-	0x11	-	ExitProtocolModeReply	from Radio	none
0x02	-	-	SoftwareReset	from Host	BootSelect
-	0x12	-	SoftwareResetReply	from Radio	none
0x03	-	-	GetRegister	from Host	Reg, Bank, Span
-	0x13	-	GetRegisterReply	from Radio	Reg, Bank, Span, Val
0x04	-	-	SetRegister	from Host	Reg, Bank, Span, Val
-	0x14	-	SetRegisterReply	from Radio	none
0x05	-	-	TxDATA	from Host	Addr, Data
-	0x15	-	TxDATAReply	from Radio	TxStatus, Addr, RSSI
-	-	0x26	RxDATA	from Radio	Addr, RSSI, Data
-	-	0x27	Announce	from Radio	AnnStatus, additional fields
-	-	0x28	RxEvent	from Radio	Addr, RSSI, Reg, Bank, Span, Val
0x0A	-	-	GetRemoteRegister	from Host	Addr, Reg, Bank, Span
-	0x1A	-	GetRemoteRegisterReply	from Radio	If command successful: TxStatus, Addr, RSSI, Reg, Bank, Span, Val If command failed: TxStatus, Addr
0x0B	-	-	SetRemoteRegister	from Host	Addr, Reg, Bank, Span, Val
-	0x1B	-	SetRemoteRegisterReply	from Radio	TxStatus, Addr, RSSI

## Bancos de Configuración del DNT900

<b>Bank 0 - Transceiver Setup</b>						
<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>Size in bytes</u>	<u>Range</u>	<u>Default, Options</u>
00	00	DeviceMode	R/W	1	0..2	<b>0 = Remote</b> , 1 = Base, 2 = PTT Remote
00	01	RF_DataRate	R/W	1	0..4	<b>0 = 500</b> , 1 = 200, 2 = 115.2, 3 = 38.4 kb/s, 0xFF = auto
00	02	HopDuration	R/W	2	4..4000	<b>10 ms (0x00C8)</b>
00	04	InitialNwkID	R/W	1	0..255	<b>0xFF = join any network</b>
00	05	SecurityKey	R/W	16	0..2 <sup>128</sup>	<b>all null bytes (0x00) = security disabled</b>
00	15	SleepMode	R/W	1	0..1	<b>0 = off</b> , 1 = timer, 2 = interrupt
00	16	WakeResponseTime	R/W	1	0..255	<b>1 = 50 ms</b> , 0 to disable
00	17	WakeLinkTimeout	R/W	1	0..255	<b>5 s</b>
00	18	TxPower	R/W	1	0..5	<b>0 = 1 mW</b> ; 1 = 10 mW, 2 = 100 mW 3 = 250 mW, 4 = 500 mW, 5 = 1000 mW
00	19	Reserved				
00	1A	DiversityMode	R/W	1	0..2	<b>0 = 0 V</b> , 1 = 3.3 V, 2 = toggle
00	1B	Reserved	-	1	-	
00	1C	UserTag	R/W	16		"DNT900"

**Bank 1 - System Settings**

<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>Size in bytes</u>	<u>Range</u>	<u>Default: Options</u>
01	00	FrequencyBand	R/W	1	0, 1, FF	0x00 = North America, South America; 0x01 = Israel, Australia, New Zealand, 0xFF = auto
01	01	AccessMode	R/W	1	0..4	2 = TDMA Dynamic Slots
01	02	BaseSlotSize	R/W	1	6..233	32 bytes
01	03	LeasePeriod	R/W	1	0..250	5 s (0 to disable)
01	04	ARQ_Mode	R/W	1	0..3	1 = redundant broadcast to ARQ_AttemptLimit, ARQAttemptLimit pass to remotes enabled
01	05	ARQ_AttemptLimit	R/W	1	0..63	8 attempts
01	06	TDMA_MaxSlots	R/W	1	0..15	16 slots
01	07	CSMA_Predelaty	R/W	1	0..255	0x03
01	08	CSMA_Backoff	R/W	1	0..255	0x0A
01	09	MaxPropDelay	R/W	1	0..255	0x45 (20 mi, 32.18 km)
01	0A	LinkDropThreshold	R/W	1	0..255	0x0C
01	0B	CSMA_RemtSlotSize	R/W	1	1..255	50
01	0C	CSMA_BusyThreshold	R/W	1	1..255	20
01	0D	RangingInterval	R/W	1	0..255	0 (disable)

**Bank 2 - Status Registers**

<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>Size in bytes</u>	<u>Range</u>	<u>Default</u>
02	00	MacAddress	R	3	0..0x0ffffff	fixed value
02	03	Reserved	R	1	0..255	reserved
02	04	CurrNwkID	R	1	0..255	as set
02	05	CurrRF_DataRate	R	1	0..4	as set
02	06	CurrFreqBand	R	1	0..1	as set
02	07	LinkStatus	R	1	0..1	current status
02	08	RemoteSlotSize	R	1	0..243	as set
02	09	TDMA_NumSlots	R	1	0..16	as set
02	0A	Reserved	R	1	0..255	reserved
02	0B	TDMA_CurrSlot	R	1	0..16	current slot
02	0C	HardwareVersion	R	1	0..255	0x00 = DNT900 rev A
02	0D	FirmwareVersion	R	1	0..255	current firmware load
02	0E	FirmwareBuildNum	R	2	0..2 <sup>16</sup>	current firmware load
02	10	Reserved	R	1	0..255	reserved
02	11	SuperframeCount	R	1	0..255	current value
02	12	RSSI_Idle	R	1	0..255	as set
02	13	RSSI_Last	R	1	0..255	as set
02	14	CurrTxPower	R	1	0..255	as set
02	15	CurrAttemptLimit	R	1	0..255	as set
02	16	CurrRangeDelay	R	1	0..255	as set
02	17	FirmwareBuildDate	R	8	ASCII	as set
02	1F	FirmwareBuildTime	R	8	ASCII	as set

**Bank 3 - Serial**

<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>Size in bytes</u>	<u>Range</u>	<u>Default</u>
03	00	SerialRate	R/W	2	0..2 <sup>16</sup>	9.6 kb/s (0x0030)
03	01	SerialParams	R/W	1	0..7	8N1
03	03	SerialControls	R/W	1	0..7	0X07



**Bank 4 - Host Protocol Settings**

<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>Size in bytes</u>	<u>Range</u>	<u>Default: Options</u>
04	00	ProtocolMode	R/W	1	0..1	0 = transparent; 1 = protocol
04	01	ProtocolOptions	R/W	1	0..255	0x05
04	02	TxTimeout	R/W	1	0..255	5 ms
04	03	MinPacketLength	R/W	1	0..255	1 byte
04	04	AnnounceOptions	R/W	1	0..7	0x07 all enabled
04	05	TransLinkAnnEn	R/W	1	0..1	0 = disabled; 1 = <LINK> announce
04	06	ProtocolSequenceEn	R/W	1	0..2	0 = disabled; 1 = startup, 2 = anytime
04	07	TransPtToPtMode	R/W	1	0..1	0 = multipoint, 1 = point-to-point

**Bank 5 - I/O Peripheral Registers**

<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>Size in bytes</u>	<u>Range in bits</u>	<u>Default</u>
05	00	GPIO0	R/W	1	1	0
05	01	GPIO1	R/W	1	1	0
05	02	GPIO2	R/W	1	1	0
05	03	GPIO3	R/W	1	1	0
05	04	GPIO4	R/W	1	1	0
05	05	GPIO5	R/W	1	1	0
05	06	ADC0	R	2	10	N/A
05	08	ADC1	R	2	10	N/A
05	0A	ADC2	R	2	10	N/A
05	0C	Event Flags	R	2	10	N/A
05	0E	PWM0	R/W	2	9	0
05	10	PWM1	R/W	2	9	0

**Bank 6 - I/O setup**

<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>Size in bytes</u>	<u>Range in bits</u>	<u>Default: Options</u>
06	00	GPIO_Dir	R/W	1	6	0 (all inputs)
06	01	GPIO_Init	R/W	1	6	0 (all zeros)
06	02	GPIO_Alt	R/W	1	6	0x08 = use GPIO3 for RS485 enable
06	03	GPIO_Edge Trigger	R/W	1	8	0x00
06	04	GPIO_SleepMode	R/W	1	1	0 = off; 1 = use sleep I/O states
06	05	GPIO_SleepDir	R/W	1	6	0 (all inputs)
06	06	GPIO_SleepState	R/W	1	6	0 (all zeros)
06	07	PWM0_Init	R/W	2	10	0x0000
06	09	PWM1_Init	R/W	2	10	0x0000
06	0B	ADC_SampleIntvl	R/W	2	16	0x0001 (10 ms)
06	0D	ADC0_ThresholdLo	R/W	2	10	0x0000
06	0F	ADC0_ThresholdHi	R/W	2	10	0x03FF
06	11	ADC1_ThresholdLo	R/W	2	10	0x0000
06	13	ADC1_ThresholdHi	R/W	2	10	0x03FF
06	15	ADC2_ThresholdLo	R/W	2	10	0x0000
06	17	ADC2_ThresholdHi	R/W	2	10	0x03FF
06	19	IO_ReportTrigger	R/W	1	0..1	0x01 (GPIO0)
06	1A	IO_ReportInterval	R/W	4	32	0x0000BB8 (every 30 seconds)

**Bank FF - Special Functions**

<u>Bank</u>	<u>Loc'n</u>	<u>Name</u>	<u>R/W</u>	<u>bytes</u>	<u>Range</u>	<u>Description</u>
FF	00	UcReset	W	1	0..90	00 = reset, 1 = clear status/address and reset, 0x5A = reset with factory defaults
FF	0C	SleepModeOverride	R/W	1	0..2	0 = inactive, 1 = stay awake, 2 = cancel stay awake
FF	FF	MemorySave	W	1	0..1	0 = load factory defaults, 1 = save settings to EEPROM

### E.3 Características técnicas del acelerómetro MMA7455

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Analog Supply Voltage					
Standby/Operation Mode	$AV_{DD}$	2.4	2.8	3.6	V
Enable Bus Mode	$AV_{DD}$		0		V
Digital I/O Pins Supply Voltage <sup>(1)</sup>					
Standby/Operation Mode	$DV_{DD\_IO}$	2.4	2.8	3.6	V
Enable Bus Mode	$DV_{DD\_IO}$		0		V
Supply Current Drain					
Operation Mode	$I_{DD}$	—	400	490	$\mu$ A
Pulse Detect Function Mode	$I_{DD}$	—	400	490	$\mu$ A
Standby Mode (except data loading and I <sup>2</sup> C/SPI communication period)	$I_{DD}$	—	2.5	10	$\mu$ A
Operating Temperature Range	$T_A$	-40	25	85	°C
0g Output Signal ( $T_A=25^\circ\text{C}$ , $AV_{DD} = 2.8\text{ V}$ )					
±2g range (25°C) 8-bit GLVL[1:0]= 0 1		-18	0	18	count
±4g range (25°C) 8-bit GLVL[1:0]= 1 0		-10	0	10	count
±8g range (25°C) 8-bit GLVL[1:0]= 0 0		-5	0	5	count
±8g range (25°C) 10-bit		-18	0	18	count
Sensitivity ( $T_A=25^\circ\text{C}$ , $AV_{DD} = 2.8\text{ V}$ )					
±2g range (25°C) 8-bit		58	64	70	count/g
±4g range (25°C) 8-bit		29	32	35	count/g
±8g range (25°C) 8-bit		14.5	16	17.5	count/g
±8g range (25°C) 10-bit		58	64	70	count/g
Self-Test Output Response					
Zout	$\Delta ST_Z$	32	64	83	count
Temperature Compensation for Offset	$T_{CO}$	±3.5	±0.5	+3.5	mg/°C
Temperature Sensitivity for Offset	$T_{CS}$	±0.026	±0.01	+0.026	mg/°C
Input High Voltage	$V_{IH}$	0.7 x DVDD	—	—	V
Input Low Voltage	$V_{IL}$	—	—	0.35 x DVDD	V
Internal Clock Frequency ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $AV_{DD} = 2.8\text{ V}$ )	$t_{CLK}$	140	150	160	kHz
SPI Frequency					
$DV_{DD\_IO} < 2.4\text{ V}$		—	4	—	MHz
$DV_{DD\_IO} > 2.4\text{ V}$		—	8	—	MHz
Bandwidth for Data Measurement (User Selectable)					
DFBW 0		—	62.5	—	Hz
DFBW 1		—	125	—	Hz
Output Data Rate					
Output Data Rate is 125 Hz when 62.5 bandwidth is selected.		—	125	—	Hz
Output Data rate is 250 Hz when 125 Hz bandwidth is selected.		—	250	—	Hz
Control Timing					
Wait Time for I <sup>2</sup> C/SPI ready after power on	$t_{WU}$	—	1	—	ms
Turn On Response Time (Standby to Normal Mode)	$t_{TU}$	—	—	20	ms
Turn Off Response Time (Normal to Standby Mode)	$t_{TD}$	—	—	20	ms
Self-Test Response Time	$t_{ST}$	—	—	20	ms
Sensing Element Resonant Frequency					
XY	$f_{GCELLXY}$	—	6.0	—	kHz
Z	$f_{GCELLZ}$	—	3.4	—	kHz
Nonlinearity (2 g range)		-1	—	+1	%FS
Cross Axis Sensitivity		-5	—	+5	%





## E.4 Características técnicas TLV2541

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
V <sub>OH</sub>	High-level output voltage	V <sub>DD</sub> = 5.5 V, I <sub>OH</sub> = -0.2 mA at 30 pF load	2.4			V	
		V <sub>DD</sub> = 2.7 V, I <sub>OH</sub> = -20 μA at 30 pF load	V <sub>DD</sub> -0.2				
V <sub>OL</sub>	Low-level output voltage	V <sub>DD</sub> = 5.5 V, I <sub>OL</sub> = 0.8 mA at 30 pF load	0.4			V	
		V <sub>DD</sub> = 2.7 V, I <sub>OL</sub> = 20 μA at 30 pF load	0.1				
I <sub>OZ</sub>	Off-state output current (high-impedance-state)	V <sub>O</sub> = V <sub>DD</sub>	CS = V <sub>DD</sub>	1	2.5	μA	
		V <sub>O</sub> = 0		-1	-2.5		
I <sub>IH</sub>	High-level input current	V <sub>I</sub> = V <sub>DD</sub>		0.005	2.5	μA	
I <sub>IL</sub>	Low-level input current	V <sub>I</sub> = 0 V		-0.005	2.5	μA	
I <sub>CC</sub>	Operating supply current	CS at 0 V,	V <sub>DD</sub> = 4.5 V ~ 5.5 V	1.3	1.5	mA	
			V <sub>DD</sub> = 2.7 V ~ 3.3 V	0.85	0.95		
I <sub>CC(AUTOPWDN)</sub>	Autopower-down current (0.5 μs inactive)	For all digital inputs, 0 ≤ V <sub>I</sub> ≤ 0.3 V or V <sub>I</sub> ≥ V <sub>DD</sub> - 0.3 V, SCLK = 0, V <sub>DD</sub> = 4.5 V to 5.5 V, Ext ref		5		μA	
		V <sub>DD</sub> = 2.7 V to 3.3 V, Ext ref		2			
	Autopower-down current (5 μs inactive)	For all digital inputs, 0 ≤ V <sub>I</sub> ≤ 0.3 V or V <sub>I</sub> ≥ V <sub>DD</sub> - 0.3 V, SCLK = 0, V <sub>DD</sub> = 4.5 V to 5.5 V, Ext ref		1		μA	
		V <sub>DD</sub> = 2.7 V to 3.3 V		1			
	Selected analog input channel leakage current	Selected channel at V <sub>DD</sub>		1		μA	
		Selected channel at 0 V		-1			
C <sub>i</sub>	Input capacitance	Analog inputs		20	45	pF	
		Control Inputs		5			
	Input on resistance	V <sub>DD</sub> = 5.5 V		500		Ω	
		V <sub>DD</sub> = 2.7 V		600			
	Delay time, delay from CS falling edge to SDO valid, t <sub>d</sub> (CSL-SDOV)	V <sub>DD</sub> = REF = 5.5 V, 30 pF load		40		ns	
		V <sub>DD</sub> = REF = 2.7 V, 30 pF load		70			
	Delay time, delay from FS falling edge to SDO valid, t <sub>d</sub> (FSL-SDOV)	V <sub>DD</sub> = REF = 5.5 V, 30 pF load		1		ns	
		V <sub>DD</sub> = REF = 2.7 V, 30 pF load		1			
	Delay time, delay from SCLK rising edge to SDO valid, t <sub>d</sub> (SCLKH-SDOV)	V <sub>DD</sub> = REF = 5.5 V, 30 pF load		11		ns	
		V <sub>DD</sub> = REF = 2.7 V, 30 pF load		21			
	Delay time, delay from 17 <sup>th</sup> SCLK rising edge to SDO 3-state, t <sub>d</sub> (SCLK17H-SDOZ)	V <sub>DD</sub> = REF = 5.5 V, 30 pF load		30		ns	
		V <sub>DD</sub> = REF = 2.7 V, 30 pF load		60			
t <sub>c</sub>	Conversion time	Conversion clock = internal oscillator		2.1	2.6	3.5	μs
t <sub>(sample)</sub>	Sampling time	See Note 3		300		ns	
Autopower down	Action time	I <sub>CC</sub> start to decrease		0.5		SCLK	
	Wakeup time	I <sub>CC</sub> down to MIN [I <sub>CC(AUTOPWDN)</sub> ]		1	2	ms	
	Autopower down			0.5		SCLK	

### E.5 Características técnicas del amplificador operacional TS971

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{io}$	Input offset voltage	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	$\frac{5}{7}$	mV
$DV_{io}$	Input offset voltage drift	$V_{icm} = 0 \text{ V}, V_o = 0 \text{ V}$		5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$I_{io}$	Input offset current	$V_{icm} = 0 \text{ V}, V_o = 0 \text{ V}$		10	150	nA
$I_{ib}$	Input bias current	$V_{icm} = 0 \text{ V}, V_o = 0 \text{ V}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		200 200	750 1000	nA
$V_{icm}$	Common mode input voltage range		-1.35		1.35	V
CMR	Common mode rejection ratio	$V_{icm} = \pm 1.35 \text{ V}$	60	85		dB
SVR	Supply voltage rejection ratio	$V_{CC} = \pm 2 \text{ V to } \pm 3 \text{ V}$	60	70		dB
$A_{vd}$	Large signal voltage gain	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$	70	80		dB
$V_{OH}$	High level output voltage	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$	2	2.4		V
$V_{OL}$	Low level output voltage	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$		-2.4	-2	V
$I_{source}$	Output source current			1.5		mA
$I_{sink}$	Output sink current			100		mA
$I_{CC}$	Supply current per amplifier	Unity gain - no load		2	2.8	mA
GBP	Gain bandwidth product	$f = 100 \text{ kHz}, R_L = 2 \text{ k}\Omega, C_L = 100 \text{ pF}$	8.5	12		MHz
SR	Slew rate	$A_V = 1, V_{in} = \pm 1 \text{ V}$	2.8	4		$\text{V}/\mu\text{s}$
$\phi_m$	Phase margin at unit gain	$R_L = 2 \text{ k}\Omega, C_L = 100 \text{ pF}$		60		Degrees
Gm	Gain margin	$R_L = 2 \text{ k}\Omega, C_L = 100 \text{ pF}$		10		dB
$e_n$	Equivalent input noise voltage	$f = 100 \text{ kHz}$		4		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
THD	Total harmonic distortion	$f = 1 \text{ kHz}, A_V = -1, R_L = 10 \text{ k}\Omega$		0.003		%



## E.6 Características técnicas del micrófono electret

**Panasonic**

Microphone Cartridges

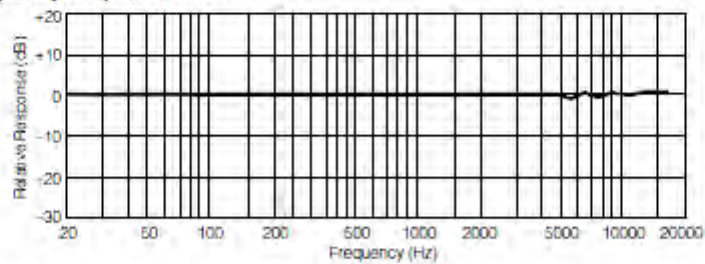
**Omnidirectional Back Electret  
Condenser Microphone Cartridge**Series: **WM-60A**■ **Features**

- Small microphones for general use
- Back electret type designed for high resistance to vibrations

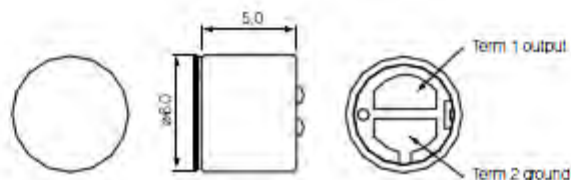
■ **Sensitivity**
 $V_s = 2.0V$   
 $RL = 2.2k\Omega$ 

 X:  $-46 \pm 3dB$   
 T:  $-44 \pm 3dB$   
 Y:  $-42 \pm 3dB$ 
■ **Specifications**

Sensitivity	$-44 \pm 5dB$ (0db = 1V/pa, 1kHz)
Impedance	Less than 2.2 k $\Omega$
Directivity	Omnidirectional
Frequency	20–20,000 Hz
Max. operation voltage	10V
Standard operation voltage	2V
Current consumption	Max. 0.5 mA
Sensitivity reduction	Within $-3$ dB at 1.5V
S/N ratio	More than 58 dB

■ **Typical Frequency Response Curve**■ **Dimensions in mm (not to scale)**

WM-60A



## BIBLIOGRAFIA

- [1] **Peru, Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del.** Estadísticas del CGBVP. [En línea] [Citado el: 4 de marzo de 2011.] [http://www.bomberosperu.gob.pe/np\\_index.asp](http://www.bomberosperu.gob.pe/np_index.asp).
- [2] **PERU21.PE.** "Incendio en el Callao no dejó víctimas". [En línea] 4 de Mayo de 2011. [Citado el: 20 de Junio de 2011.] [www.Peru21.pe](http://www.Peru21.pe).
- [3] **América & Economía.** Política & Sociedad. [En línea] [Citado el: 21 de Junio de 2011.] <http://www.americaeconomia.com/politica-sociedad/mundo>.
- [4] **INDECI.** Servicio Nacional de Búsquedas y Salvamento Terrestre. [En línea] [Citado el: 20 de Junio de 2011.] [http://usarperu.indeci.gob.pe/USARPERU/a\\_misiones.htm](http://usarperu.indeci.gob.pe/USARPERU/a_misiones.htm).
- [5] **PROETEX.** Advanced e-Textiles for firefighters and civilian victims. [En línea] [Citado el: 21 de Junio de 2011.] [http://www.proetex.org/related\\_projects.htm](http://www.proetex.org/related_projects.htm).
- [6] **Gandhi, Siddhesh Rajan.** *A Real Time Indoor Navigation and Monitoring System for Firefighter and Visually Impaired.* [Thesis of Master of Science in Electrical and Computer Engineering] University of Massachusetts Amherst : s.n., 2011.
- [7] **Godfrey, A.Conway, R., Meagher, D. y ÓLaighin,** *Direct measurement of human movement by accelerometry.* Science Direct, 2008, Medical Engineering & Physics, Vol. 30, págs. 1364-1386.
- [8] **Hamill, Joseph y Knutzen, Kathleen.** *Biomechanical Basis of Human Movement.* Tercera edición. Baltimore : Lippincott Williams & Wilkins, 2009. págs. 5-21.
- [9] **Tsai, Yi-Jung.** Motion Analysis Summer Course. *National University of Cheng Kung.* [En línea] [Citado el: 4 de Agosto de 2011.] [http://www.bme.ncku.edu.tw/bme2010/en/research\\_scope.asp](http://www.bme.ncku.edu.tw/bme2010/en/research_scope.asp).
- [10] **Fraden, Jacob.** "*Handbook of Modern Sensors*".: Springer, San Diego, 2004. 3era edición.
- [11] **Karantonis, D.M; Narayanan, M.R; Mathie, M.; Lovell, N.H.; Celler, B.G.** Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. *IEEE. Trans. Inf. Technol. Biomed.* **2006.** [En línea] 28 de Mayo de 2003. [Citado el: 15 de Mayo de 2011.] [stacks.iop.org/JMM/13/634](http://stacks.iop.org/JMM/13/634).
- [12] **Freescale.** 3-Axis MMA7260Q Low g Acceleration Sensor. [En línea] [Citado el: 12 de Mayo de 2011.] <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=OST2BDF2BF5>.

- [13] **Burchfield, Ryan y Venkatesan, S.** Accelerometer- Based Human Abnormal Movement Detection in Wireless Sensor Networks. *University of Texas at Dallas*. [En línea] [Citado el: 20 de Mayo de 2011.] [http://dslab.utdallas.edu/~ryanb/pubs/Accelerometer\\_WBSN.pdf](http://dslab.utdallas.edu/~ryanb/pubs/Accelerometer_WBSN.pdf).
- [14] **ENDEVCO.** Accelerometer selection based on applications. [En línea] [Citado el: 15 de Mayo de 2011.] <http://www.endevco.com/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?>.
- [15] **ENDEVCO.** Steps to selecting the right accelerometer. [En línea] [Citado el: 15 de Mayo de 2011.] [http://www.endevco.com/news/archivednews/2010/2010\\_08/TP327.pdf](http://www.endevco.com/news/archivednews/2010/2010_08/TP327.pdf).
- [16] **Freescale.** MMA745xL: 3-Axis Digital Output Acceleration Sensor. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2011.] [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=MMA745xL](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MMA745xL).
- [17] **MICROCHIP.** PIC32MX3XX/4XX Family Datasheet. [En línea] [Citado el: 10 de Diciembre de 2010.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61143E.pdf>.
- [18] **Jia, Ning.** Analog Devices. [En línea] [Citado el: 12 de Agosto de 2011.] [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/43-07/fall\\_detector.html](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/43-07/fall_detector.html).
- [19] **Texas Instruments.** Serial Analog-to-Digital Converters With Autopower Down. [En línea] [Citado el: 17 de Febrero de 2011.] <http://www.ti.com/product/tlv2541>.
- [20] **Atmel.** Digital Sound Recorderwith AVR and DataFlash. [En línea] [Citado el: 20 de Febrero de 2011.] <http://www.atmel.com/Images/doc1456.pdf>.
- [21] **Texas Instruments.** Using PWM Timer\_B as a DAC. [En línea] [Citado el: 25 de Febrero de 2011.] <http://www.ti.com/mcu/docs/litabsmultiplefilelist.tsp?sectionId=96&tabId=1502&literatureNumber=slaa116&docCategoryId=1&familyId=911>.
- [22] **RFM.** DNT900 Series 900 MHz Spread Spectrum Wireless Industrial Transceivers. [En línea] [Citado el: 04 de Abril de 2011.] [http://www.rfm.com/products/data/dnt900\\_guide.pdf](http://www.rfm.com/products/data/dnt900_guide.pdf).
- [23] **Freescale.** How to Calibrate 0g Offset for the MMA745xL Family. [En línea] [Citado el: 5 de Mayo de 2011.] [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app\\_note/AN3745.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3745.pdf).
- [24] **Tuck, Kimberly.** Freescale. [En línea] [Citado el: 5 de Mayo de 2011.] [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app\\_note/AN3468.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3468.pdf).