



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTULO DEL TFC: Sistema de aviso para personas con discapacidad auditiva

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, especialidad Telemática

AUTOR: Jesús Colorado González

DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

FECHA: 26 de Septiembre de 2009

Título: Sistema de aviso para personas con discapacidad auditiva

Autor: Jesús Colorado González

Director: Oscar Casas Piedrafita

Fecha: 26 de Septiembre de 2009

Resumen

En este documento se explicará el origen y el desarrollo de un proyecto, encaminado a ayudar en una necesidad cotidiana a las personas con incapacidades auditivas. Su falta de audición impide que puedan ser alertados por los timbres sonoros que emiten los sistemas del hogar, tales como el timbre de la puerta o el teléfono.

Los sistemas actuales que solucionan este problema lo hacen aumentando la potencia sonora del timbre en cuestión, esto provoca malestar a las personas que no sufren deficiencia auditiva que conviven en el hogar. El otro tipo existente emite luz cuando los timbres son accionados, lo que obliga a tener que estar observando el dispositivo para poder ser advertido.

La solución que se presenta en este proyecto consiste en un dispositivo emisor situado junto al timbre y un dispositivo receptor en forma de pulsera ubicado en la muñeca del usuario con deficiencia auditiva. El sistema emisor capta el timbre seleccionado, ignorando el resto de sonidos y envía un mensaje al receptor que alertará del evento al usuario mediante vibración e iluminación.

El sistema satisface las necesidades para las que fue creado además de mejorar las soluciones actuales sin tener que aumentar el sonido que es fuente de molestias para las personas que no sufren la discapacidad y pudiendo ser advertido en todo momento por el usuario al portarlo en la muñeca.

Title: Warning System for people with disabilities hearing

Author: Jesús Colorado González

Director: Oscar Casas Piedrafita

Date: September, 26th 2009

Overview

In this document will explain the origin and development of a project, designed to assist in a need daily to persons with disabilities hearing. Its lack of hearing they cannot be alerted by the bells sound that emit the systems from home, such as the timbre of the door or the telephone.

The actually systems to solve this problem do increase the power ringer; this is causing discomfort to the people who do not suffer hearing impairment living side by side in the home. The other system emits light when the ring are operated, which makes it necessary to have to be noting the device to be warned.

The solution that is presented in this project consists of a device issuer located next to the doorbell and a receiving device in the form of bracelet located in the wrist of user with hearing impairment. The system issuer captures the doorbell selected, ignoring the rest of sounds and sends a message to the receiver that alert of the event to the user through vibration and lighting.

The system meets the needs for which was created in addition to improve current solutions without having to increase the sound that is a source of inconvenience for persons who do not suffer disabilities and may be warned at any time by the user to the port in the wrist.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA	2
1.1. Estudio de mercado	2
1.1.1. Soluciones para timbres de puerta	2
1.1.2. Soluciones para teléfonos	4
1.2. Objetivos	5
1.3. Solución propuesta	6
CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA	9
2.1. Arquitectura global.....	9
2.1.1. Emisor.....	10
2.1.1.1 <i>Micrófono</i>	10
2.1.1.2 <i>Amplificador</i>	10
2.1.1.3 <i>Filtro paso bajos.</i>	10
2.1.1.4 <i>Generador de frecuencia</i>	11
2.1.1.5 <i>Microcontrolador.</i>	11
2.1.1.6 <i>Transceptor emisor.</i>	12
2.1.1.7 <i>Antena radio.</i>	12
2.1.2. Receptor	12
2.1.2.1 <i>Antena radio</i>	12
2.1.2.2 <i>Transceptor receptor</i>	12
2.1.2.3 <i>Mirocontrolador</i>	12
2.1.2.4 <i>Avisador</i>	12
CAPÍTULO 3. DISEÑO	14
3.1. Diseño del emisor	14
3.1.1. El micrófono	14
3.1.2. Amplificador	15
3.1.3. Filtro paso bajos	16
3.1.4. Generador de frecuencia	17
3.1.5. Microcontrolador y transceptor emisor	19
3.2. Diseño del receptor	23
3.2.1. Microcontrolador y transceptor receptor	23
3.2.2. Vibración	25
3.2.3. Iluminación.....	26
CAPÍTULO 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	27
4.1. Circuito emisor	27
4.1.1. Salida del micrófono	28
4.1.2. Salida amplificador	29
4.1.3. Entrada integrado y generación de señal.....	30
4.1.4. Salida del integrado	33
4.2. Circuito receptor	35

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	37
CAPÍTULO 6. PERSPECTIVAS FUTURAS	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	41

INTRODUCCIÓN

En primer lugar se explicará la problemática que ha llevado a planificar este proyecto, explicando cuales son las soluciones actuales y las razones que hacen que este proyecto mejore los sistemas existentes.

Seguidamente se expondrá el diseño de la arquitectura concebida en el estudio y su posterior ejecución en prototipo, explicando detalladamente la función de cada componente hardware, así como las diferentes implementaciones software.

También se incluye un capítulo dónde realizará la validación del sistema con los resultados experimentales y los datos obtenidos durante el proceso de elaboración del prototipo, así como problemáticas surgidas en el desarrollo del proyecto y las soluciones encontradas.

Por último se presentan las conclusiones finales dónde se valorará el cumplimiento de los objetivos marcados. Se añade un pequeño apartado de perspectivas de futuro con conceptos para un hipotético paso a producto comercial.

Y finalmente se presentan las referencias a la documentación consultada en su transcurso y los anexos donde se incluye toda la documentación técnica para complementar lo presentado en la memoria.

CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA

La idea que se desarrolla en este proyecto nace de una problemática en la vida diaria de las personas con deficiencia auditiva. En su día a día, dentro de su hogar, han de recibir alarmas acústicas de sucesos tales como el timbre de la puerta, el del portal o el teléfono que son incapaces de oír. Los sistemas actuales solventan esta dificultad con alarmas de mayor intensidad o sistemas luminosos que tienen que ser visibles por la persona en el instante del suceso. En el caso de no estar presente cuando la luz actúa o no estar lo suficientemente próximo a ese timbre de mayor intensidad, las personas no percibirán que tienen que atender estos signos de información con la consiguiente pérdida que esto supone.

El conocimiento de estas dificultades es en primera persona ya que mi madre tiene una deficiencia auditiva moderada. Ello conlleva una vida un poco diferente al resto de las personas que tienen todos los sentidos intactos. Las dificultades que tiene mi madre es lo que movió el desarrollo de esta idea y su posterior ejecución.

El problema fundamental es no poder atender ningún signo auditivo dentro del hogar. En base a esta necesidad se origina un concepto que puede ayudar a un grupo numeroso, y esto puede conllevar a muchas líneas de desarrollo.

1.1. Estudio de mercado

A día de hoy existen en el mercado una serie dispositivos que pretenden solventar la dificultad que trata este proyecto. A continuación se describen algunos de ellos, con sus características y sus limitaciones.

1.1.1. Soluciones para timbres de puerta

Avisador sonoro/luminoso

Modelo CL-2 Puerta & Teléfono

Web: <http://www.catalogo-ceapat.org/producto/22/27/03/6?nivel=222703>

Sistema compuesto por dos módulos:

Una unidad receptora que emite luz flash y sonido multi-tono con hasta 100 dB de potencia, junto con una unidad transmisora timbre, funciona con baterías, se instala en la puerta de entrada al domicilio.

Las operaciones para conectarlo son:

Paso 1: se conecta la unidad receptora a cualquier toma telefónica y se alimenta el módulo a través de la propia red eléctrica.

Paso 2: se fija la unidad transmisora en la puerta de entrada. Se puede optar por una serie tonos diferentes para su personalización.

El producto es bastante completo a la necesidad, pero detalla un complicado y molesto funcionamiento con hasta 100 dB de tonos. Está anclado y no tiene movilidad. Y su precio ronda los 60 euros, muy excesivo. Su principal limitación es la elevada potencia de los tonos, es molesto para el resto de usuarios que no sufren disminución auditiva.

Dentro de la misma gamma tenemos una opción inalámbrica descrita a continuación:

Timbre Avisador Inalámbrico

Web:http://www.solostocks.com/lotos/comprar/timbre-avisador-inalambrico/oferta_1828298.html



Fig.1.1 Foto del avisador inalámbrico

Descripción

Funciona con pilas, se compone de un emisor que se adhiere con una barra a la puerta principal y un receptor situado en un lugar visible por los usuarios dentro de la casa.

Su principal característica es que ambos son inalámbricos y de fácil y rápida instalación. El receptor avisa en forma sonora y luminosa de que el timbre principal está siendo accionado. Su alcance es de 60 metros según el proveedor, suponemos que es sin obstáculos.

Esta solución es muy cómoda dado que sólo se trata de instalar y utilizar, pero sigue teniendo el mismo inconveniente que la anterior solución en el aspecto sonoro y además el no poder verlo desde todos los puntos de la casa hace que sea de difícil seguimiento. Para poder observarlo debes transportarlo contigo, y como se puede apreciar en la **fig.1.1** su tamaño es muy grande para llevarlo en el bolsillo. Su funcionamiento es por radiofrecuencia en la banda de FM (frecuencia modulada) debido a ello puede causar y recibir interferencias de otros dispositivos. Su precio es económico: 25,00 €/ unidad.

1.1.2. Soluciones para teléfonos

A continuación se describen varias soluciones sólo para el aspecto telefónico:

Indicador sonoro y/o luminoso de llamada

Doro Teleflash

Web: <http://www.onedirect.es/productos/doro/doro-teleflash>



Fig.1.2 Aspecto del avisador telefónico

Descripción

Sus características principales son:

3 tipos diferentes de señal. La potencia sonora llega hasta los 90 dB. Dispone de diferentes tonos. Funciona con adaptador de corriente de 12 V. Se conecta al teléfono del hogar mediante un cable, cuando el teléfono recibe una señal de llamada se activará la señal seleccionada, que puede ser sólo luminosa, luminosa y sonora o sólo sonora.

Es un adaptador para el teléfono que aumenta la sonoridad para las llamadas y ofrece un indicador visual, de estos hay muchos en el mercado este que se muestra es un poco diferente debido a que ofrece hasta 90 dB, hecho que sigue siendo la principal limitación y fuente de molestias para las personas que no sufren discapacidad auditiva. Su precio no es económico dado su poca diferencia con respecto al resto: 29,95 €.

BJ-303 de BJ-adaptaciones.

Web <http://www.bj-adaptaciones.com/index.php>

Teléfono con teclas grandes y memorias



Fig.1.3 Teléfono BJ-303

Descripción

Como se muestra en la **fig.1.3** es un teléfono con teclas más grandes de lo habitual, incluye funciones para aumentar el volumen de timbre a niveles extra altos y añade indicadores luminosos para llamadas entrantes. El nivel extra alto se traduce en 88 dB que son casi 20 dB por encima de la sonoridad de un teléfono común.

También incluye características para personas con otras deficiencias como las teclas grandes que ayudan a personas con poca visión, memorias con números directos a emergencias y una ganancia de voz para las señales entrantes de 4 dB que permiten a las personas con deficiencia auditiva escuchar mejor a la persona que está al otro lado.

Este teléfono es mucho más específico y ayuda a personas con más discapacidades que la tratada en el proyecto. Aún con ello sigue sin solventar la problemática que ofrece el resto, el aumento de señal acústica. Aún así es una gran herramienta y está muy elaborado ofrece un amplio abanico de opciones por ello su coste es más elevado: 84,90 €.

1.2. Objetivos

Una vez planteada la problemática y visto las carencias de las soluciones actuales, se exponen los objetivos para este proyecto. Estos son:

Dotar a las personas con deficiencia auditiva de una herramienta para ayudarles en la comunicación de las señales informativas del hogar.

Diseñar e implementar 2 dispositivos que generen una comunicación entre ellos cuando se ocasione el suceso informativo que reclama la atención del usuario con deficiencia auditiva.

El sistema pues se compondrá de un emisor adyacente a la fuente de sonido que producirá el timbre que se pretende captar. Este emisor tendrá que filtrar únicamente la señal sonora deseada, ignorando el resto de sonidos que pueda haber en el ambiente. La señal seleccionada deberá ser transmitida al receptor en el mismo instante que tenga suceso.

La comunicación será realizada vía radiofrecuencia, es decir no se utilizará cable alguno.

El receptor estará situado en la muñeca del usuario en forma de pulsera, obteniendo así una autonomía que las soluciones actuales no proporcionan. Podrá captar la señal emitida por el receptor en un radio optimizado dentro del hogar. Al ser un dispositivo situado en la muñeca del usuario, deberá ser de dimensiones reducidas y ligero de peso, para no dificultarle su vida cotidiana. Por motivos obvios tendrá que ser un sistema autónomo.

Cuando el receptor obtenga comunicación del emisor deberá emitir una vibración y una iluminación prolongada por un tiempo en el cual el usuario pueda ser advertido de este evento. Este suceso sólo se ocasionara cuando el receptor emita la señal de información que deba atender el usuario, y una vez acabada finalizará su emisión a la espera del siguiente suceso que se pueda ocasionar, al ser personal esta señal, sólo será advertida por el sujeto portador del brazalete receptor, por ello no producirá ninguna molestia al resto de usuarios de la casa, hecho que no solventan actualmente los sistemas mostrados en el estudio de mercado que utilizan sistemas de incremento de potencia de timbre.

Tampoco alterará las funcionalidades actuales de los timbres instalados porque el receptor será un simple módulo no invasivo que estará situado próximo a la fuente de sonido que tendrá que captar. Siendo así un sistema de fácil instalación y desinstalación.

1.3. Solución propuesta

Una vez expuesta la dificultad, a continuación se describe la solución ideada para el problema ya descrito.

Se basará en 2 dispositivos que se intercomunicarán vía radio para alertar a la persona de las alarmas que puedan suceder en el transcurso de un día en el hogar.

El primer dispositivo será un captador de señal acústica específica del aparato que la emita, pudiendo ser el timbre de casa, el interfono, el teléfono etc. El emisor captará éste y sólo este audio específico haciendo caso omiso a otros

sonidos que pueda haber en el ambiente, para ello se recurrirá a un hardware y un software que se detallará en próximos apartados.

Una vez el emisor este en modo activo debido a que ha captado el audio deseado, este enviará una señal al receptor que estará situado en forma de pulsera en la muñeca de la persona que sufre discapacidad auditiva. El receptor al recibir dicha señal interactuará vibrando y emitiendo una luz durante unos segundos en modo de aviso conforme un suceso de información se ha ocasionado, ya sea que pican a la puerta, llaman al teléfono, etc.

La persona podrá desplazarse por la casa con total libertad y recibirá las señales personalmente sin tener que preocuparse de atender a otros dispositivos sonoros y luminosos.

El receptor se compone de un único dispositivo en forma de pulsera como se ha comentado, mientras que el emisor puede ser más de uno, utilizando uno para cada actuador que necesitemos tener información de él. A modo de ejemplo podemos tener como se muestra en la **fig.1.4**, 3 diferentes, para el timbre de la puerta principal, el interfono del portal y el teléfono de casa. El sujeto conocerá la procedencia de la señal según sea su origen por el color y el tipo de vibración que tomará la pulsera, 1 color y una vibración diferente para cada receptor distinto.



Fig.1.4 Ejemplo para 3 posibles emisores

Para entender mejor los pasos que sigue el sistema, en la siguiente **fig.1.5** se muestra un ejemplo gráfico del modo de funcionamiento que tendrán los dos dispositivos.

En el paso 1 se muestra como la persona situada en cualquier punto de la casa lleva en la muñeca el dispositivo receptor, también se muestra como el receptor es un pequeño módulo situado muy cercano al timbre de la puerta.

En el paso 2 es accionado el timbre por ello el emisor capta la señal con el patrón predefinido y envía el mensaje de información al receptor vía radio.

En la siguiente escena se puede ver como el usuario queda advertido del suceso para finalmente dirigirse a la puerta de entrada y comprobar que había alguien accionando el timbre de la puerta.

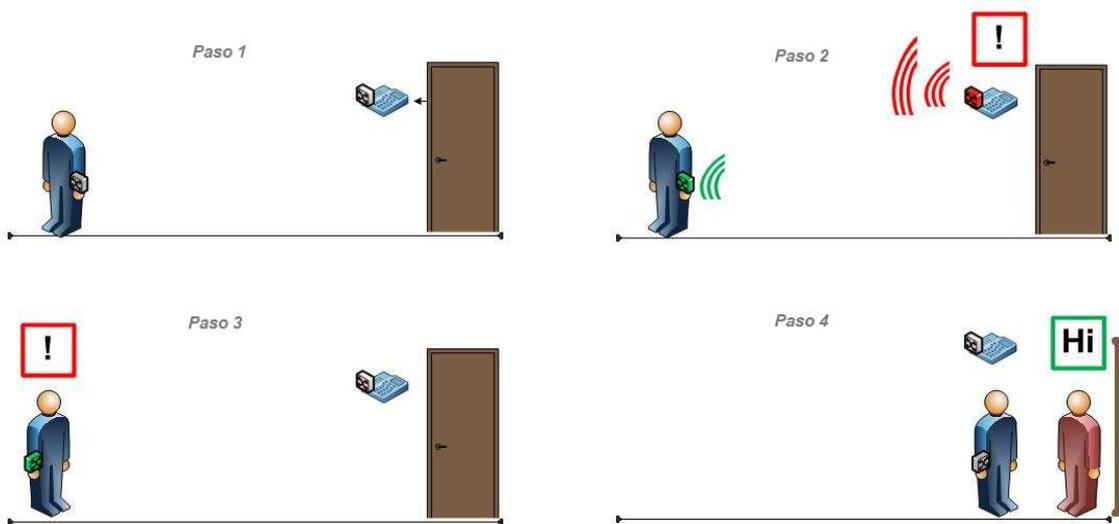


Fig.1.5 Pasos que sigue el sistema y como alerta al usuario

CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA

2.1. Arquitectura global

La arquitectura global del prototipo está formada por dos partes principales:

El emisor, compuesto por una serie de bloques que en su conjunto lograrán captar, tratar, adecuar, filtrar y transformar la señal que se pretende procesar. Es la parte principal del proyecto dado que depende de su buen funcionamiento la transmisión de los eventos que tengan ocasión durante el periodo de actividad.

El receptor, dispositivo que recibirá la señal emitida por el emisor a través del aire. Al ser este un espacio libre podrá obtener diferentes señales de otros posibles emisores. Deberá por lo tanto saber discriminar las emisiones no deseadas y actuar cuando lleguen mensajes informativos por parte del emisor. En la **fig.2.1** se muestra la arquitectura general compuesta por emisor y receptor con todos sus bloques correspondientes, que serán detallados a continuación.

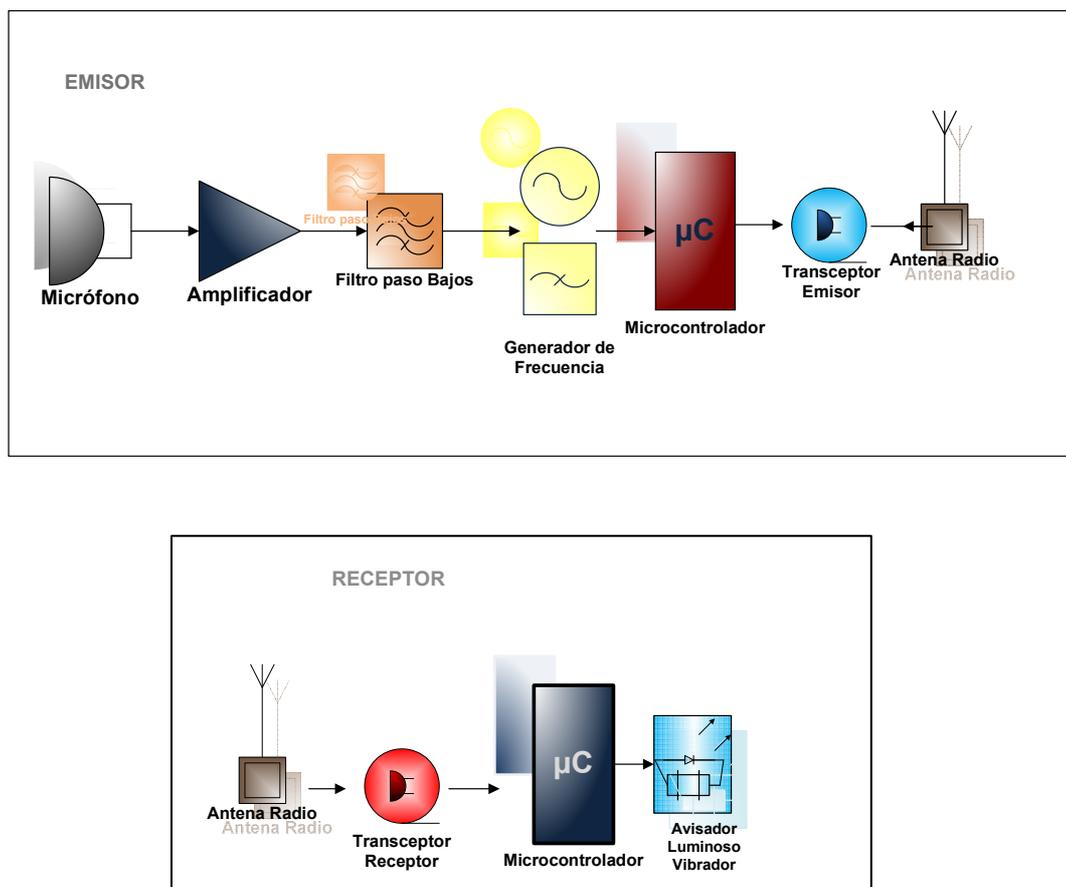


Fig.2.1 Diagrama de bloques emisor y receptor

2.1.1. Emisor

2.1.1.1. *Micrófono o captador de señal acústica.*

Es el primer elemento dentro de la línea del emisor. Su misión es captar todos los sonidos ambientales con una sensibilidad óptima para no perder calidad dentro de un posible ambiente contaminado de otros ruidos. No precisa de grandes requisitos para su funcionalidad debido a la proximidad para la captación del audio deseado, podrá ser de tamaño reducido y pequeñas prestaciones.

2.1.1.2. *Amplificador de señal acústica.*

Una vez obtengamos la señal del captador está debe pasar por un proceso de tratamiento. Con los mínimos componentes conseguiremos adecuar la señal al margen dinámico necesario. El primer paso después de la captación de la señal es la amplificación, que conseguirá aumentar su nivel y así obtener un valor adecuado para su tratamiento en bloques posteriores. Una señal con pequeños niveles podría ser no detectable por otros componentes, por ello es necesario siempre darle una ganancia.

2.1.1.3. *Filtro paso bajos.*

El siguiente paso para el tratamiento de la señal es el filtrado, el filtrado sirve para dejar pasar sólo las señales deseadas, eliminando o no dejando pasar otras bandas frecuenciales. La señal fuente es un tono situado en un rango bajo de frecuencias, por ello se realiza un filtrado paso bajo, el cual eliminará todas las señales a partir de una frecuencia de corte. Ningún filtro es ideal, por ello se escogerá un valor con suficiente margen para que su función no atenúe el rango de frecuencias dónde se encuentra la señal deseada. En la siguiente **fig.2.2** se puede observar cómo actúa un filtro paso bajos como el implementado en el proyecto.

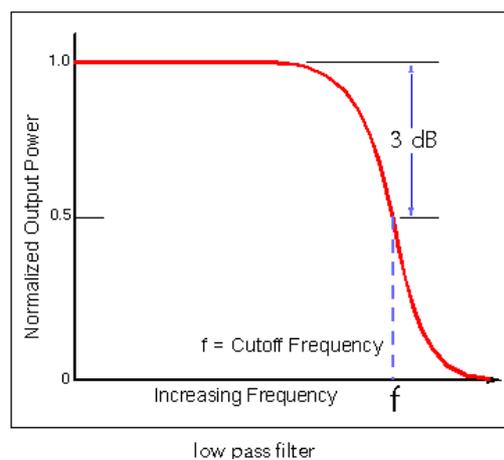


Fig.2.2 Función del filtro paso bajos

2.1.1.4. *Generador de frecuencia.*

Se podría calificar este bloque como el más importante en el procesado de la señal, de él depende exclusivamente la decisión de si es o no la señal que hemos predefinido.

Su funcionamiento es complejo debido a que tiene que reproducir en su interior la misma frecuencia y mismo patrón que la señal que ha sido seleccionada como evento informativo a captar.

Funciona generando continuamente la señal predefinida en su interior y por otro lado recibirá en su entrada las señales que el filtro haya dejado pasar, entonces hará la comparación y sólo si están en el margen predefinido las dará como buenas y emitirá una señal al siguiente bloque conforme ha sucedido un evento informativo con la señal sonora definida. El siguiente bloque es el microcontrolador. En la **fig.2.3** se muestra la lógica de este componente.

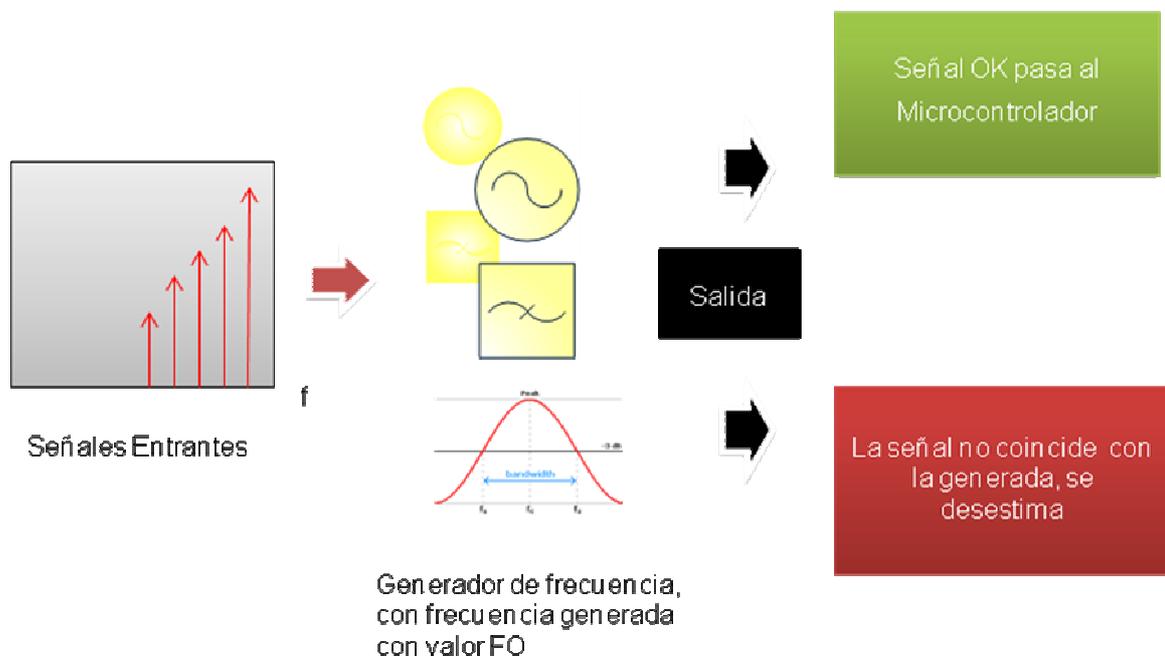


Fig.2.3 Funcionamiento del generador de frecuencia

2.1.1.5. *Microcontrolador*

Es la unidad lógica del sistema receptor. Sólo recibirá información por parte del resto de bloques cuando tenga suceso el evento a captar, en ese momento actuará con una serie de parámetros y ejecuciones internas para lograr transmitir la información del suceso al receptor.

2.1.1.6. *Transceptor Emisor*

Sistema encargado de iniciar, gestionar y finalizar la comunicación con el receptor, mediante un protocolo y a través de la emisión vía radio se comunicará con el receptor para poder enviar los mensajes que haya recibido del microcontrolador.

2.1.1.7. *Antena radio*

Una vez transformada la señal en información está tendrá que ser emitida por el canal del aire, para ello se utilizará este componente que convertirá la señal electrónica en un campo eléctrico.

2.1.2. **Receptor**

El receptor se compone de 4 bloques para su funcionamiento, hay que recordar que su ubicación es la muñeca del usuario, por lo que la reducción del tamaño y el peso es uno de los objetivos principales en su diseño.

2.1.2.1. *Antena radio*

Debido a que el canal de transmisión elegido es el aire se precisa de un componente semejante al que tenemos en el emisor. La antena recibirá la información emitida por el emisor así como otras captaciones debido a que el aire es un medio libre y las comunicaciones por él son constantes, como veremos a continuación no supone un problema.

2.1.2.2. *Transceptor Receptor*

Mismo elemento y mismas prestaciones que el elemento transmisor, encargado de comunicarse y recibir los mensajes para adecuarlos y entregarlos al microcontrolador situado en esta parte.

2.1.2.3. *Microcontrolador*

Modelo idéntico que en el emisor, mismas prestaciones pero diferentes funciones. Actuará como discriminador de señales no deseadas captadas por la antena, es decir, informaciones que no nos interesan, sólo procesará la señal emitida por nuestro emisor, para ello ejecutará una serie de instrucciones y reconocerá unos identificadores inequívocos. También comunicará con el siguiente bloque dándole instrucciones para su funcionamiento conforme haya evento informativo que transmitir al usuario.

2.1.2.4. *Avisador*

Punto final del bloque de comunicación, es el enlace con el usuario, una vez obtenida la instrucción por parte del microcontrolador conforme la comunicación está sucediendo, emitirá una luz y una vibración durante un periodo conveniente de tiempo para que pueda ser percibida por el usuario. La

vibración generada será similar al de un móvil actual, pretende no ser en exceso molesta, simplemente indicativa que precisa atención el elemento asociado a esta comunicación. La luz por igual emitirá en prolongación idéntica a la vibración.

CAPÍTULO 3. DISEÑO

3. Diseño del sistema

En el siguiente apartado se explicará con detalle los bloques mostrados dentro de la arquitectura del prototipo. Se hablará de los elementos utilizados para hacerlo posible tanto físicos (hardware) como sus funciones lógicas (software) en caso de tenerlas. Se empezará por el emisor, que contiene más subsistemas. Se finalizará explicando el receptor, dónde la ergonomía es una especificación de diseño fundamental.

3.1. Diseño del emisor

Como se ha visto en el apartado anterior el emisor consta de 6 grandes bloques micrófono, amplificador, filtro paso bajos, un generador de frecuencia, el microcontrolador, transceptor emisor y la antena radio.

3.1.1. El micrófono

El micrófono tiene la función principal de transformar las ondas acústicas en impulsos eléctricos, es lo que se llama transductor electro-acústico.

Obtendremos una señal eléctrica de la sonoridad del dispositivo a captar con unos valores para poder tratarla en nuestro siguiente bloque. Teniendo en cuenta que el micrófono estará pegado literalmente al aparato que emita el sonido no hará falta grandes prestaciones. Por ello el elemento escogido es el micrófono electret mostrado en la siguiente **fig.3.1**:



Fig.3.1 Foto de varios micrófonos electret

Su elección es debida a su equilibrio entre bajo coste, tamaño y buenas prestaciones. Otras opciones como el micrófono de condensadores requerían alimentaciones superiores a las que demanda el micrófono electret otorgando un rango mayor en el espectro audible de 20 Hz a 18 kHz, pero al no ser necesario la captación de tonos a tan altas frecuencias se opta por uno de menores prestaciones como el electret.

De tamaño reducido, su rango de alimentación va de 2 V a 10 V con un consumo máximo de 0,5 mA. Su sensibilidad es de -42 dB y capta un rango de frecuencias de 10 Hz a 10 kHz, lo que supone unas condiciones de muy buena calidad dado su pequeño tamaño. Se conecta de la siguiente forma **fig3.2**:

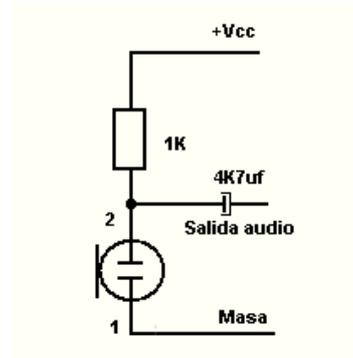


Fig.3.2 Esquema de conexionado micrófono electret

Este modelo es de 2 terminales como el utilizado en el diseño final. Para usar un micrófono electret de 2 terminales, la salida de señal de audio está conectada al terminal de suministro vía una resistencia de corriente restrictiva, el valor típico 1 kΩ o 2,2 kΩ. La salida de la señal de audio contiene una componente de corriente continua que es filtrado paso alto mediante el condensador de salida, un valor típico para este componente puede ser de 1 μF a 10 μF. Esta señal será la entrada al amplificador que es el componente que se describe a continuación.

3.1.2. Amplificador

Este componente multiplica por un factor de ganancia la señal de entrada a su salida. Aumenta la señal para un mejor tratamiento de la misma en bloques posteriores. Si los niveles fueran muy bajos no podríamos tratarla en otros bloques tales como el generador de tonos porque sería tan pequeña la señal que no la podría captar en su entrada.

Se puede utilizar de diferentes formas pero en este caso, se ha utilizado de manera no inversora como se muestra en la **fig.3.3**, lo cual va a significar que la señal de salida estará en fase con la señal de entrada y amplificada. Como muestra la siguiente fórmula **(3.1)**:

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

(3.1)

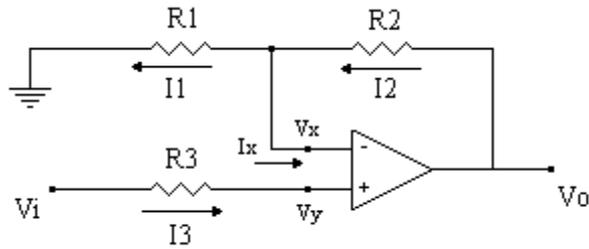


Fig.3.3 Esquema de conexionado para amplificador no inversor

Los valores utilizados en el diseño son $R_1 = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4,3 \text{ k}\Omega$ y $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ lo que nos da una ganancia teórica de $G = 4$. Es teórica debido a que ningún componente electrónico es ideal y los valores obtenidos en los cálculos siempre pueden distar de los resultados reales, más adelante en el siguiente punto se mostrarán resultados experimentales para dar fe de ello.

3.1.3. Filtro paso bajos

Como su nombre indica se encarga de dejar pasar las frecuencias más bajas y atenuar las más altas, a partir de una frecuencia de corte que será determinada por sus componentes. Estará formado por un condensador y una resistencia, servirá para filtrar las señales que no nos interesen dado que las acústicas emitidas por los dispositivos que queremos captar son de orden en torno a los 400 Hz a 1 kHz.

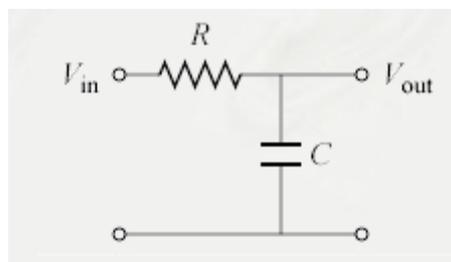


Fig.3.4 Esquema filtro paso bajos

Dónde la frecuencia central es determinada por **(3.2)**:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

(3.2)

3.1.4. Generador de frecuencia

Es el bloque que permitirá hacer la selección definitiva de la señal procesada, comparará internamente la señal de entrada con la señal generada y que es la que queremos admitir.

Si la señal de entrada es igual a la generada interiormente se permitirá el paso al siguiente bloque, sino será cortada en este punto. Para ello se ha optado por el decodificador de tonos LM567. El integrado es un detector de tonos limitador de tensión que posee internamente un PLL (lazo de seguimiento de fase) y un detector de fase en cuadratura el cual responde con un nivel lógico bajo cuando la señal de entrada al integrado coincide con la frecuencia central de enganche del PLL.

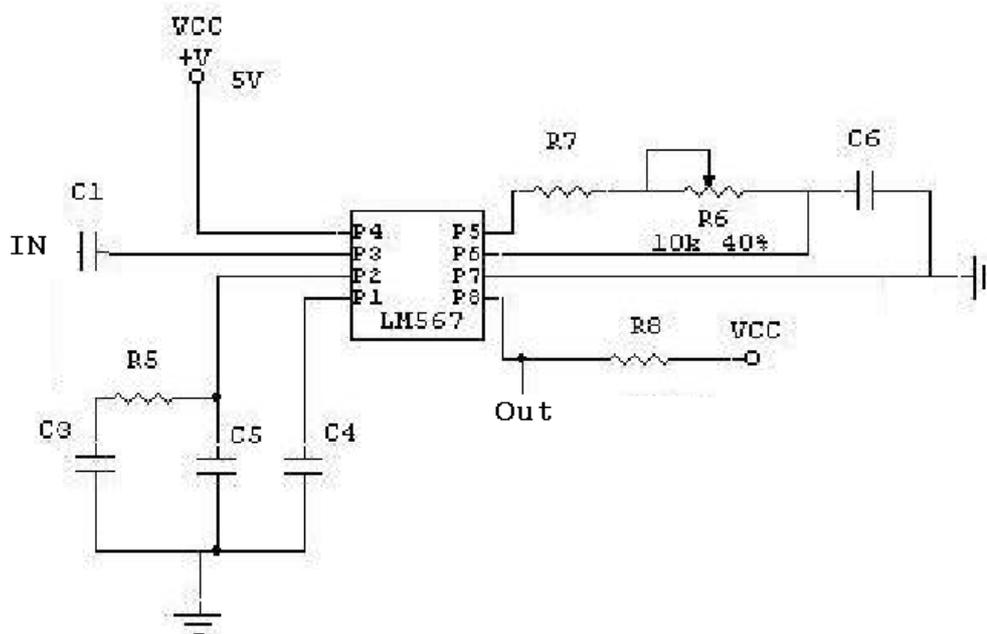


Fig.3.5 Esquema de conexión para integrado LM567

En la **fig.3.5** se muestra la configuración mediante la cual se ha conectado el LM567 al circuito emisor. Su alimentación es de 5 V y su consumo es de 7 mA.

El cálculo de la frecuencia de central o de corte que generará internamente viene determinado por los elementos conectados en sus pines 5 y 6 que son R_7 , R_6 y C_6 y responde a la ecuación (3.3):

$$f_0 = \frac{1}{(1,1(R_7 + R_6)C_6)} \quad (3.3)$$

R_6 en el esquema de la **fig.3.5** es un potenciómetro con el cual se puede afinar la frecuencia, la variación puede ser apreciada con el osciloscopio conectado al pin 6 del LM567. En la parte experimental se podrán comprobar los valores elegidos para situar la frecuencia central.

Una vez hallada la frecuencia central también se puede modificar el ancho de banda BW variando el valor del condensador C_5 que está situado a la entrada del pin2 del integrado. Este ancho de banda viene determinado por la fórmula **(3.4)**:

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{Vi(ef.)}{(f_0 C_5)}} \quad (3.4)$$

Dónde el valor eficaz de Vi dependerá de la señal de entrada al pin3. f_0 es la frecuencia central antes obtenida y C_5 a nuestra elección dependiendo de si el BW escogido es mayor o menor, si este condensador disminuye el BW aumentará pero si por el contrario se aumenta el valor el BW disminuirá. El resultado de la ecuación es un porcentaje respecto a f_0 .

Ejemplo: $BW = 8,27 \%$ nos dice que cualquier señal que tenga una frecuencia $f_0 = 432 \text{ Hz} \pm 8,27 \%$, será considerada como válida. El $BW = 37,7 \text{ Hz}$ va desde 413 Hz hasta 450 Hz.

El tiempo de respuesta del LM567 se determina con C_4 , situado en el pin1 del LM567, mientras más grande sea este condensador, más largo es el tiempo de respuesta.

Como funciona cuando se insertan señales por el pin2:

Si el LM567 detecta una señal de la frecuencia que se ha preestablecido como f_0 presentará un 0 lógico o ausencia de tensión a la salida, pero cuando la entrada en forma de señal no es f_0 ni está en el BW seleccionado presentará alta impedancia en la salida, pin 8.

Pero lo que se pretende es que cuando detecte la señal en su entrada a su salida mande un 0 lógico o 0 V y cuando no la detecte sea un 1 lógico o una tensión de 5 V. Para ello se implementa la resistencia R_8 conectada a V_{cc} que permite eliminar la alta impedancia.

De este modo la salida del LM567 será enviada directamente a la entrada del microcontrolador que entenderá a la perfección con unos y ceros lógicos cuando están las señales de igual o similar frecuencia f_0 seleccionada.

3.1.5. Microcontrolador y transceptor emisor

El microcontrolador será el encargado de recibir el estado bajo cuando la señal de entrada coincida con la generada por el LM567. Lo que quiere decir que necesitaremos comunicar al usuario que un evento informativo está sucediendo. Para ello el microcontrolador tendrá que adecuar la señal y procesarla para enviar la información al transceptor y este a su vez enviar la información a su homónimo en el receptor.

Para cumplir esta tarea se escogió el microcontrolador MSP430 de Texas Instruments. Se optó por este microcontrolador porque la empresa ofrecía un producto con nombre kit eZ430-RF2500 que da la posibilidad de integrar el microcontrolador MSP430 y un transceptor emisor receptor CC2500 en la misma placa. Con ello se solventa en una única pieza dos de los bloques requeridos en el prototipo. Al estar integrados en la misma placa el fabricante proporciona comunicación y herramientas para la configuración de los dos dispositivos.

En la **fig.3.6** se puede observar los elementos que integran el kit eZ430-RF2500.

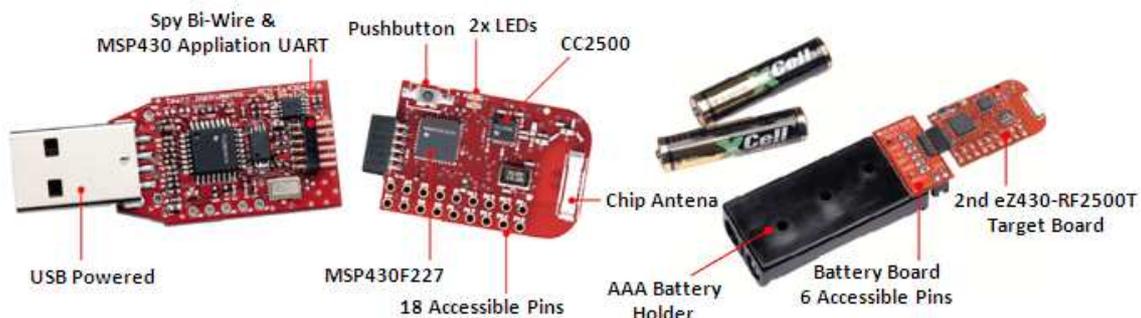


Fig.3.6 Kit eZ430-RF2500T de Texas Instruments

Descripción del hardware que incluye el kit:

Dos tarjetas eZ430-RF2500T, que serán utilizadas como los 2 microcontroladores y los 2 transceptores emisor y receptor.

Algunas de las características más destacadas de los microcontroladores son:

1. microcontrolador de la familia MSP430F2274, 32 kB de memoria Flash, 1 kB de memoria RAM, 2xSPI (Serial Peripheral Interface) puertos que permiten la comunicación serie con el PC y con otros dispositivos, UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) la UART es el circuito integrado que controla los puertos y dispositivos serie, y se encuentra en la tarjeta adaptadora. Las funciones principales son: manejar las

interrupciones de los dispositivos conectados al puerto serie y convertir los datos en formato serie o formato paralelo para transmitirlos por el bus de comunicación.

2. Dos LEDs, estos LEDs que incorporan las tarjetas, mediante instrucciones programadas en el microcontrolador indicarán cuándo hay conectividad entre emisor y receptor.
3. Una interface USB que servirá para introducir la programación en los micros de forma muy cómoda, se conecta la placa a la interficie y está a cualquier puerto USB del PC.
4. Un soporte para las baterías de los módulos alimentado con 2 pilas de 1,5 V, sirve para hacer pruebas de movilidad.
5. El transceptor inalámbrico CC2500 operará en la banda libre a 2,4 GHz, utilizando el protocolo SimpliciTI que puede trabajar sobre la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos. Por normativa el espectro reservado es, 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz para todo el mundo. Esta última opción es la escogida por las empresas a la hora de diseñar sus productos. Las características de esta banda son hasta 16 canales, cada uno de ellos con un ancho de banda de 5 MHz.

Así pues, es una completa herramienta para desarrollo de proyectos inalámbricos, haciendo uso de la interface USB para mayor comodidad a la hora de grabar la programación en el microcontrolador sin tener que usar placas que precisaban de puertos serie como el RS232.

También incluye herramientas de diseño software para programar en lenguaje ensamblador.

Algunas características del CC2500 son:

1. Recepción y envío de paquetes, almacenamiento de datos, inicio y finalización de transferencia, evaluación de limpieza en el canal e indicadores de calidad del enlace. Los parámetros principales de las operaciones realizadas en el CC2500 pueden ser controlados vía la interface SPI.
2. Los transceptores CC2500 utilizan para su comunicación radio el protocolo Simplicity, protocolo propiedad de Texas Instruments.

Las características de *SimpliciTI Network Protocol* son:

Es un protocolo de radiofrecuencia que utiliza baja potencia y es capaz de integrar redes que pueden llegar a los 30 nodos. Al poder permanecer dormidos durante largos intervalos de tiempo hace que SimpliciTI sea un protocolo de baja potencia, también es de bajo coste al hacer uso de memorias flash inferiores a los 4 kBytes y memorias RAM menores de 512 Bytes. Por lo tanto, se puede decir que SimpliciTI reúne las principales propiedades que

caracteriza ZigBee que son gran número de nodos y muy bajo consumo. SimpliciTI ha sido diseñado para una fácil implementación, usando los mínimos recursos requeridos por parte de los microcontroladores. Por ello funciona perfectamente en los microcontroladores y transceptores utilizados en este proyecto.

SimpliciTI soporta dispositivos finales denominados ED (End Device) que son los dispositivos que se comunican con el AP (Acces Point) encargado de identificar a todos los EDs de la red asignándoles un identificador cuando entran en comunicación con él, de este modo cuando un ED se comunique para enviar paquetes sabrá su precedencia según el identificador que anteriormente le ha otorgado. Los mensajes serán almacenados por el AP. Una opción que proporciona SimpliciTI es extender la red mediante extensores de rango (RE) que permite ampliar la distancia con hasta cuatro saltos.

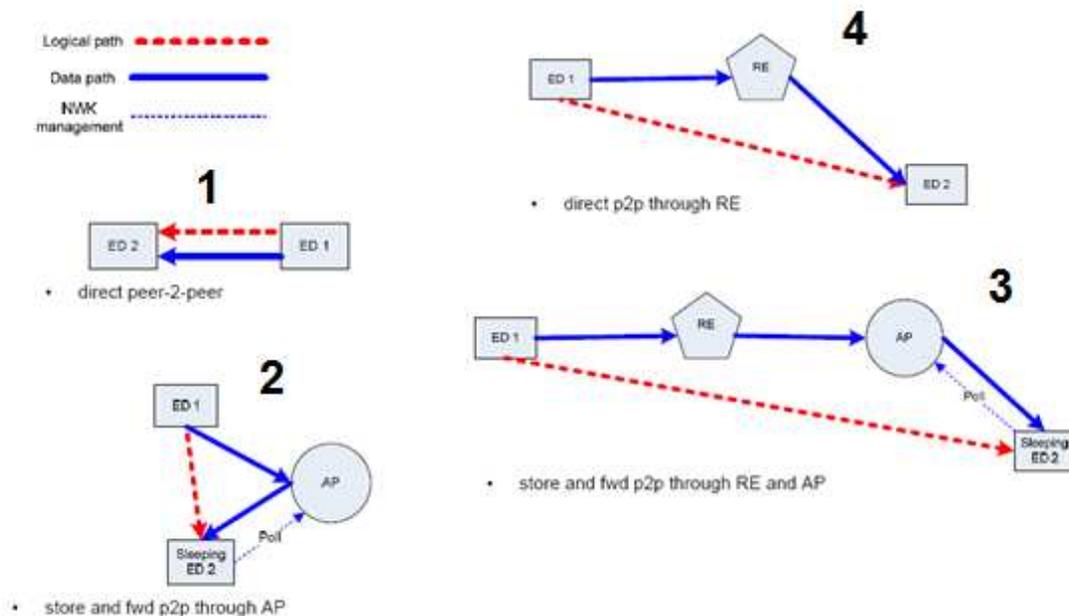


Fig.3.7 Tipos de topologías para el protocolo SimpliciTI

Para el diseño de este proyecto se ha optado por el tipo de comunicación número 2 que muestra la **fig.3.7**. Por el momento en el prototipo solo se ha implementado un ED o emisor de mensajes, pero la configuración está diseñada para que el AP o receptor pueda recibir tantos como el protocolo permita. Siendo los paquetes o mensajes procedentes de alarmas sonoras, el número de emisores nunca sería muy elevado y se podría clasificar su procedencia con combinaciones de luces o vibraciones en el receptor. Esto puede ser una línea para una ampliación de funciones en un futuro.

A continuación, para entender con más detalle el funcionamiento se presenta un diagrama de bloques con los estados por los que pasa el microcontrolador desde el momento de su puesta en marcha hasta sus actuaciones. Se describe la lógica de funcionamiento con la que actúa a medida que pasan los diferentes eventos a los que está sujeto.

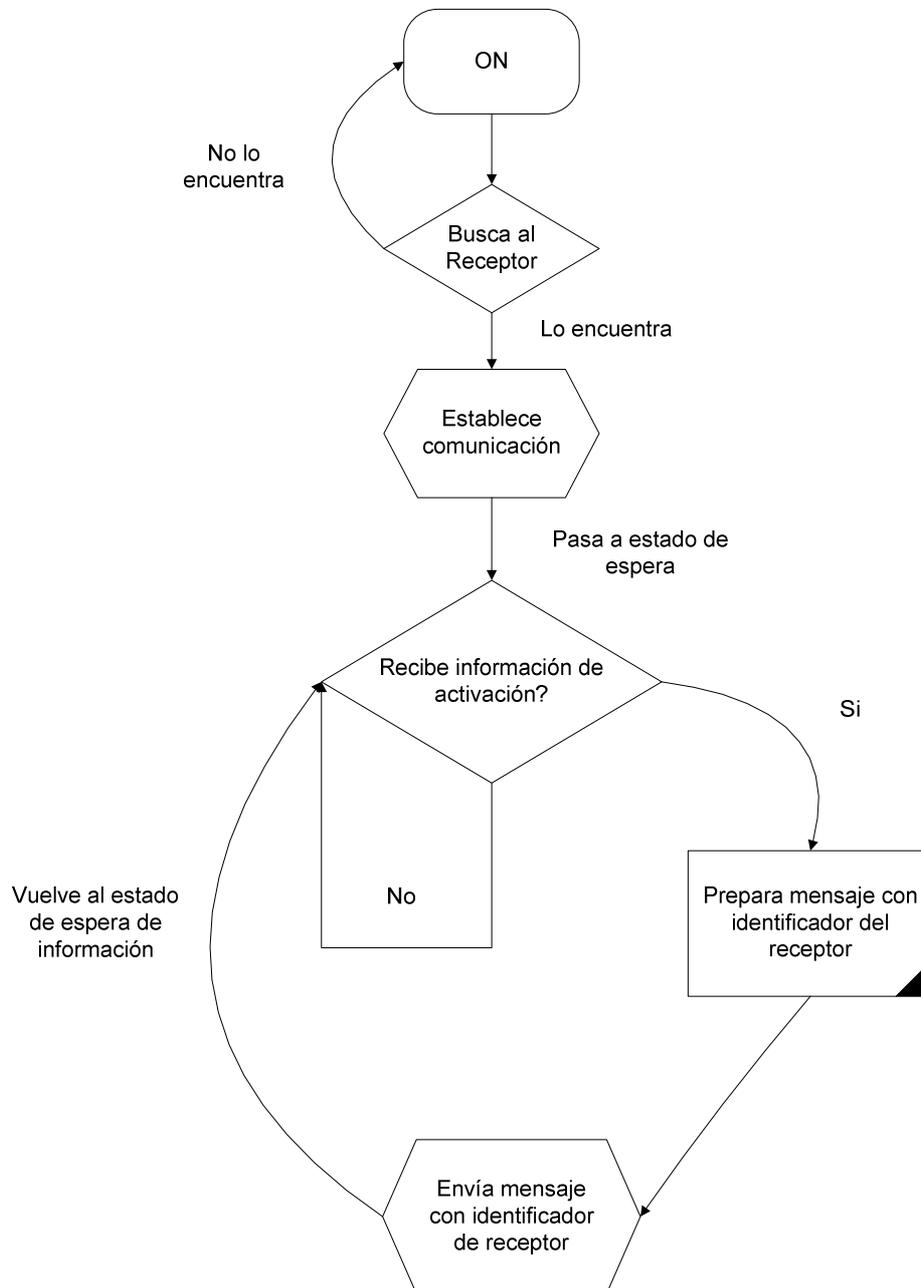


Fig.3.8 Diagrama de bloques, lógica de funcionamiento microcontrolador emisor

Una vez en marcha el emisor busca un receptor para establecer un canal de comunicación, en el caso de encontrarlo recibe un identificador el cual tendrá que incluir cada vez que pretenda enviar un mensaje de evento.

Una vez haya establecido la comunicación pasa a la espera de recibir información por parte del resto del circuito conforme suceda o no un acontecimiento informativo. En el caso de recibir esta activación prepara el mensaje con el identificador de emisor que le concedió el receptor y lo envía vía radio por el canal establecido.

Después pasa nuevamente al punto de espera de nuevos acontecimientos por parte del resto del circuito. El bucle es infinito y siempre estará a la espera de recibir mensajes o nuevos emisores. Se desactivará interrumpiendo su alimentación, y se reiniciará con la nueva puesta en marcha.

En el anexo se presenta el detalle del software implementado.

3.2. Diseño del receptor

El receptor tendrá forma de pulsera y estará situado en la muñeca del usuario, por ello se ha intentado simplificar al máximo su tamaño pero sin desestimar ninguna de sus funciones. Se pretendía como objetivo que cumpliera con los requisitos de funcionalidad pero dando comodidad al portador del sistema. Teniendo en cuenta estas premisas se describe a continuación los elementos que componen el receptor.

3.2.1. Microcontrolador y transceptor receptor

Para una comunicación entre dos personas hace falta que las dos se expresen y entiendan en el mismo idioma. Para cumplir este hecho se han escogido los mismos microcontroladores y transceptores en el lado receptor. Esto no supuso ninguna traba a la hora de realizar la implementación, dado que el eZ430-RF2500 aparte de integrar transceptor, microcontrolador y antena ofrece unas comodidades como la fácil programación a través de la interficie USB. Con todo ello cumple con el objetivo principal marcado para el receptor, tratándose de una placa de dimensiones muy reducidas además de ser muy liviana.

La alimentación que precisa el MSP430 es de 1,8 V a 3,7 V, mientras que su consumo de corriente es muy bajo, con una demanda de 390 μ A. El consumo del transceptor CC2500 es máximo cuando está enviando una transmisión con un valor de 21 mA, pero en este caso al ser receptor su consumo es de 19 mA. Estos valores son tratados como constantes a la hora de calcular el consumo. Mientras que el micro-motor junto con el led sólo serán activados cuando llegue un evento y durante un corto espacio de tiempo. Por ello se puede decir que sus consumos serán eventuales, no continuos. Sabiendo que el micro-motor consume 120 mA y el led 10 mA, haciendo una estimación de actividad de 5 posibles eventos con duración de 3 segundos por hora se obtiene un consumo total de 25 mA hora, sabiendo que el periodo de actividad diaria es de 12 horas, se obtiene que la batería tendrá que tener una capacidad de 300 mA.h.

En el punto anterior se han detallado las características de este microcontrolador así como las prestaciones del transceptor CC2500 que ésta

integrado en la placa. Por ello a continuación se obvia esa parte y se pasa a describir la rutina que realiza el micro del receptor cuando inicia su funcionamiento en la **fig.3.9**.

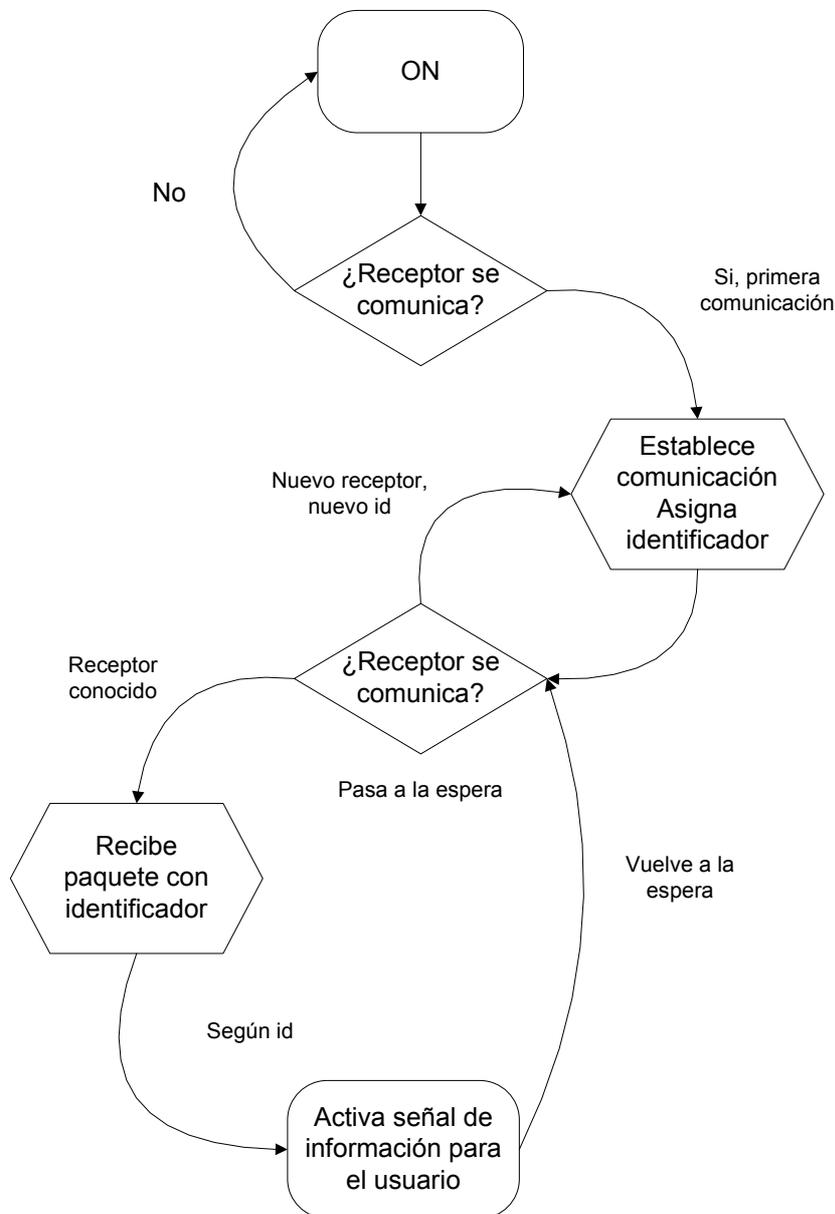


Fig.3.9 Diagrama de bloques, lógica de funcionamiento microcontrolador receptor

Como se puede apreciar el receptor cuando inicia su marcha queda a la espera de recibir un principio de comunicación de un emisor. Al ser la primera vez que se comunican le otorga un identificador para saber la procedencia de los posteriores mensajes que pueda recibir.

Después pasa a un estado a espera de nuevos receptores sin identificador o ya mensajes con identificador de receptores conocidos. Cuando recibe un

mensaje de un receptor conocido, en función de su identificador activará una secuencia de vibración e iluminación para información del usuario. Una vez acabe el evento vuelve al estado de espera de nuevos receptores o mensajes de conocidos. Como en el sistema emisor se trata de un bucle sin fin, el modo para salir de él es apagándolo, quitándole la alimentación. Se podrá reiniciar y volver al punto inicial conectando de nuevo la alimentación.

3.2.2. Vibración

Para alertar al usuario de forma precisa, se optó por la vibración. Al portar el emisor en la muñeca este mecanismo hace casi ineludible su atención. Se siente un hormigueo constante en la piel y hace que capte nuestra atención de manera inmediata.

Recordando puntos anteriores, se había propuesto la mayor ligereza pero sin menospreciar la funcionalidad. Por ello se precisaba de un micro-vibrador de pequeñas proporciones pero que causará el efecto deseado, sintiendo un hormigueo en el tacto con la piel cuando está en funcionamiento.

Tomando como referente el teléfono móvil que también posee un mecanismo vibrador, entra en funcionamiento cuando recibe llamadas o mensajes, se buscó un elemento de características similares. Y el resultado fue el micro-motor avisador C-6070 de la casa CEBEK.

El C-6070 está diseñado, compuesto y fabricado utilizando las últimas innovaciones en tecnología micro-mecánica de precisión. El micro-motor lleva acoplado a su eje una rueda excéntrica, que tiene una masa considerable respecto a la del motor propiamente dicho, al ser alimentado con una tensión continua, el motor gira a alta velocidad de hasta 8.000 rpm según incremento o decremento de la tensión, y debido a la masa excéntrica del volante, genera una oscilación de esta misma frecuencia. Esta alimentación será entregada al micro-motor a través de uno de los pines del microcontrolador. Su consumo a máxima potencia es de 125 mA, esto no provoca ningún problema debido a que su funcionamiento es en intervalos de tiempo muy cortos. Además su poco peso situado por debajo de los 2 g, su reducidísimo tamaño, y la débil energía que necesita para funcionar, lo hacen idóneo para toda clase de aplicaciones portátiles. Está especialmente indicado como avisador silencioso personal, avisos de seguridad en ambientes altamente ruidosos, avisos y señales para personas con dificultades, tanto auditivas como de visión y en general, todas aquellas aplicaciones que requieran privacidad o allí donde se exige silencio.



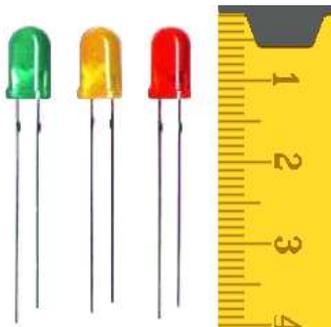
Fig.3.10 Micro motor C-6070

3.2.3. Iluminación

La iluminación es la base para la discriminación de receptores, y un añadido a la hora de percibir la señal informativa. Con la iluminación la gente situado alrededor del usuario del sistema puede percibir también que está ocurriendo un evento.

El diseño plantea a la hora de recibir la información que la procedencia de esta puede ser de distintos emisores. Para ello el receptor asigna una serie de identificadores y a la hora de trasladar esta información al usuario se ejecutará en forma de código de colores. Debido a esto se necesitan un número de iluminadores que no obligatoriamente puede equivaler al número de emisores dado que la combinación de colores hace posible la asignación de un mayor rango a los receptores.

El hardware para este elemento es un simple pero eficaz diodo emisor de luz, también conocido como LED (acrónimo del inglés de Light-Emitting Diode) es un dispositivo semiconductor. El color está asociado a la longitud de onda, depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo.

**Fig.3.11** Foto de 3 LEDs de colores

Como se puede apreciar en la imagen su tamaño es muy reducido dando la opción de poder integrarlo en el sistema sin ningún problema. Se ha de polarizar entre 1,8 V y 3,6 V dependiendo de su tecnología de fabricación y su consumo suele ser de entre 10 mA y 20 mA. Recibirá la alimentación a través de un pin del microcontrolador, que será quien active y desactive este elemento según sea conveniente.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4. Análisis de los circuitos

En el siguiente punto se muestra un análisis experimental en base a una serie de pruebas y medidas realizadas en el transcurso de la implementación del proyecto.

Se da mayor énfasis a la parte del circuito emisor, debido a que contiene un mayor número de componentes electrónicos y el proceso realizado para lograr su buen funcionamiento ha sido de mayor duración que el receptor.

Se muestran los diseños finales de los circuitos emisor y receptor junto con los valores que han adoptado sus componentes y la explicación de porque se han escogido estos. Una vez seleccionados se generan los resultados experimentales que se muestran a lo largo de este apartado.

4.1. Circuito emisor

En primer lugar en la **fig.4.1** se encuentra el esquema electrónico del circuito emisor junto con todos los valores de sus componentes, pero sin incluir el microcontrolador MSP430 que estará situado inmediatamente a la salida del pin8. Los puntos marcados con la numeración del 1 al 5 serán descritos a continuación.

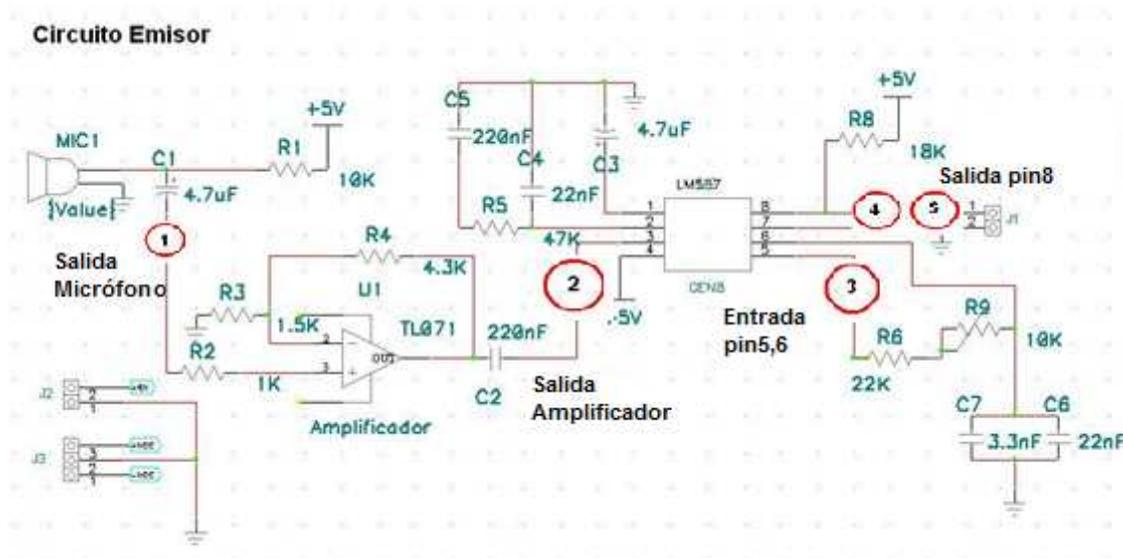


Fig.4.1 Circuito emisor con puntos escogidos para el análisis

La **fig.4.1** es la unión de los diferentes bloques que se fueron exponiendo en la parte correspondiente al diseño y como se puede observar en la siguiente **fig.4.2** la elección de los puntos para el análisis coincide con las posiciones más importantes dentro de la arquitectura del emisor.

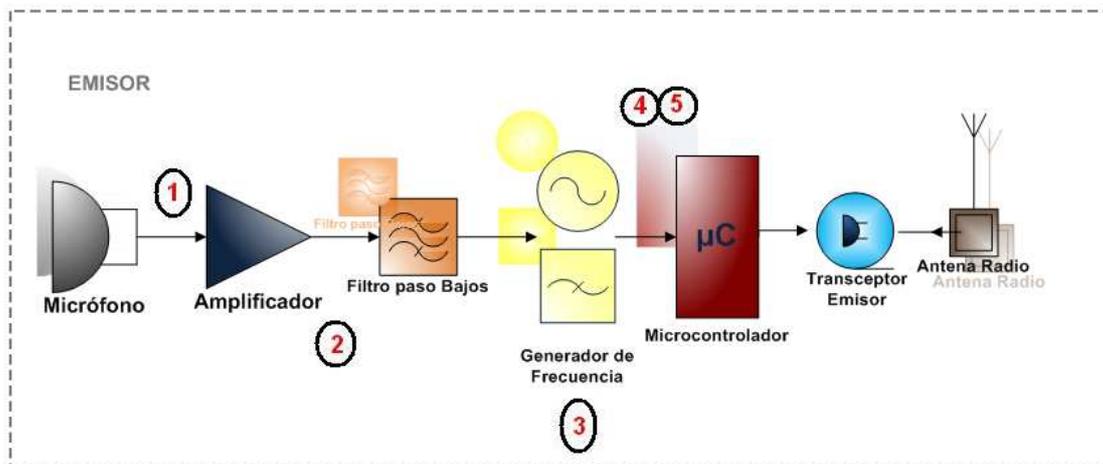


Fig.4.2 Diagrama de bloques del emisor con puntos para análisis

4.1.1. Salida del micrófono

Este punto está situado en la salida del micrófono. La entrada que se pretende captar es la señal acústica emitida por el timbre, sin embargo el ancho de banda del micrófono hará que éste capte todas las señales sonoras del ambiente. Para obtener la señal que se muestra en la **fig.4.3** el micrófono se posicionó a unos 5-10 cm de la fuente de sonido, hecho que se puede cumplir perfectamente en nuestra aplicación.

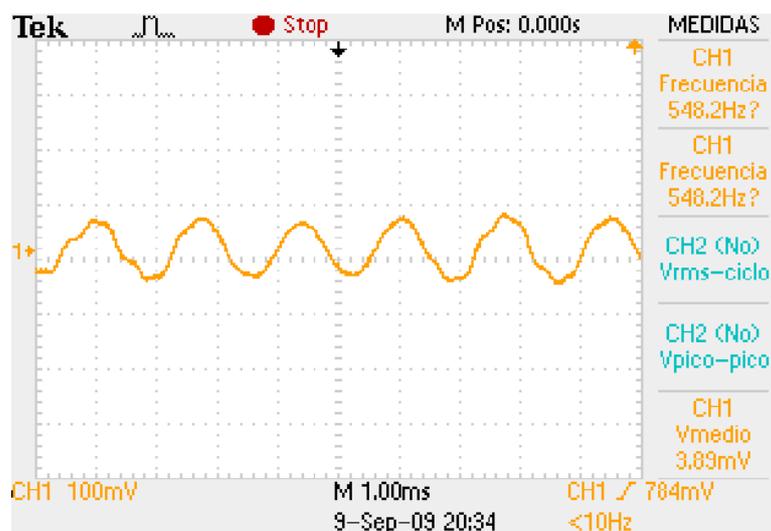


Fig.4.3 Señal en la salida del micrófono

Como se puede apreciar en la **fig.4.3** la salida se representa con un valor cercano a los 100 mV pico a pico y un tono con frecuencia próxima a los 550 Hz, esto demuestra que pese a ser un componente de muy bajo coste el micrófono electret proporciona un funcionamiento óptimo.

Aún así la señal siempre debe ser amplificada para poder obtener unos niveles superiores y poder ser tratada por el decodificador de tonos LM567. El decodificador de tonos tendrá que generar internamente el tono de 550 Hz, para que a la hora de vincular esta señal con la insertada en su entrada pueda ofrecer un nivel bajo en su salida, lo que querrá decir que la señal procesada es de la misma frecuencia que la programada en su interior.

4.1.2. Salida del amplificador de señal

La salida de este elemento permite aumentar los niveles de la señal entrante obteniendo una ganancia que se puede modificar con una serie de componentes conectados a sus pines.

$$G = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (4.1)$$

Siendo $R_4 = 4,3 \text{ k}\Omega$ $R_3 = 1,5 \text{ k}\Omega$ se obtiene una ganancia de 4 lo que se traduce en un aumento de los niveles de la señal a 400 mV pico a pico. Como se puede observar en la **fig.4.4**, salida del amplificador.

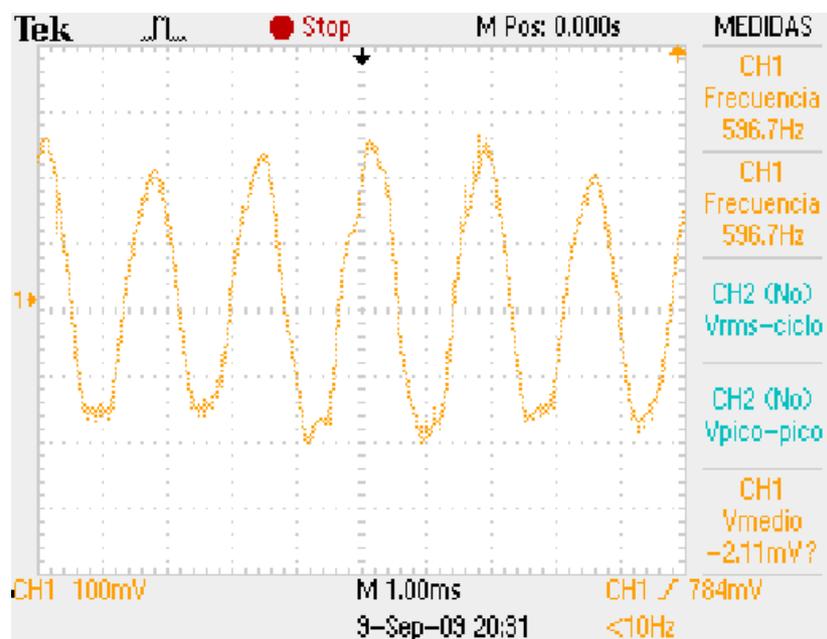


Fig.4.5 Señal capturada por osciloscopio a la salida del amplificador

4.1.3. Entrada integrado y generación de señal

Las mediciones realizadas para este punto fueron tomadas en la entrada del pin5 del integrado LM567 y muestran la señal que genera en su interior. La señal generada en el interior del integrado responde a la función mostrada en la siguiente ecuación y puede ser modificada alterando los componentes conectados a los pines 5 y 6, que para este estudio fueron: $R_6 = 22 \text{ k}\Omega$, un potenciómetro que permite hacer pequeños ajustes de sensibilidad con un valor de $R_9 = 10 \text{ k}\Omega$, junto con 2 condensadores en paralelo de valores $C_7 = 3,3 \text{ nF}$ y $C_6 = 22 \text{ nF}$.

La fórmula para hallar la frecuencia central dice así (4.2):

$$f_0 = \frac{1}{1,1(R_6 + R_9)(C_7 + C_6)} \quad (4.2)$$

Ajustando el potenciómetro a $2,4 \text{ k}\Omega$ se obtiene una frecuencia central teórica de $1,4 \text{ kHz}$ pero como se muestra en la **fig.4.6** la f_0 a la entrada del pin 5 es 1.2 kHz . Esta diferencia es debida a las tolerancias de los componentes.

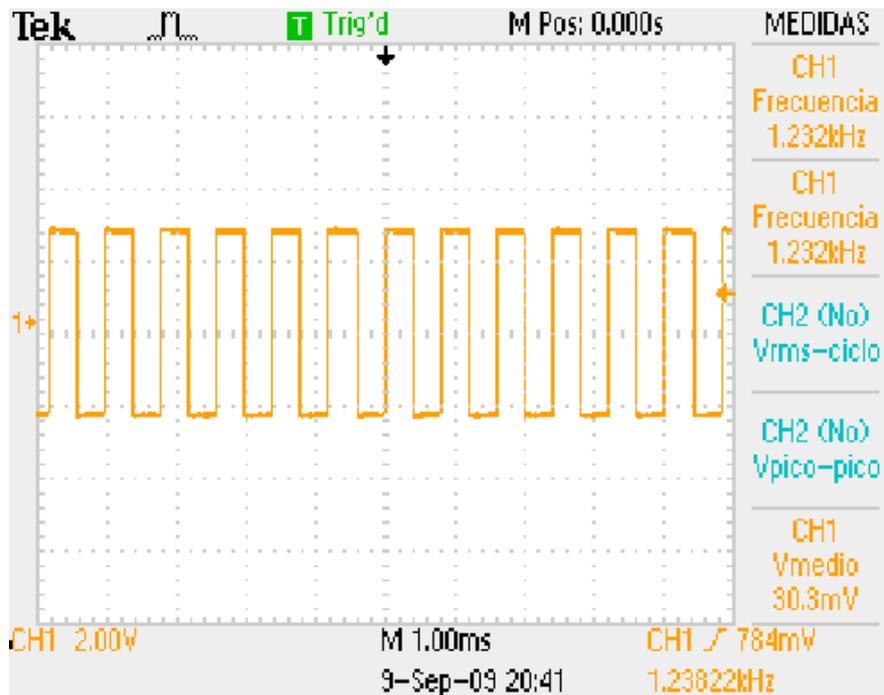


Fig.4.6 Señal que genera internamente el integrado LM567

Para comprobar el buen funcionamiento se realizaron unas pruebas insertando directamente a la entrada del LM567 una señal cuadrada de frecuencia 580 Hz y 250 mV pico a pico, como se muestra en la siguiente **fig.4.7**. Dónde el canal 2 es la señal interna y el canal 1 la insertada.

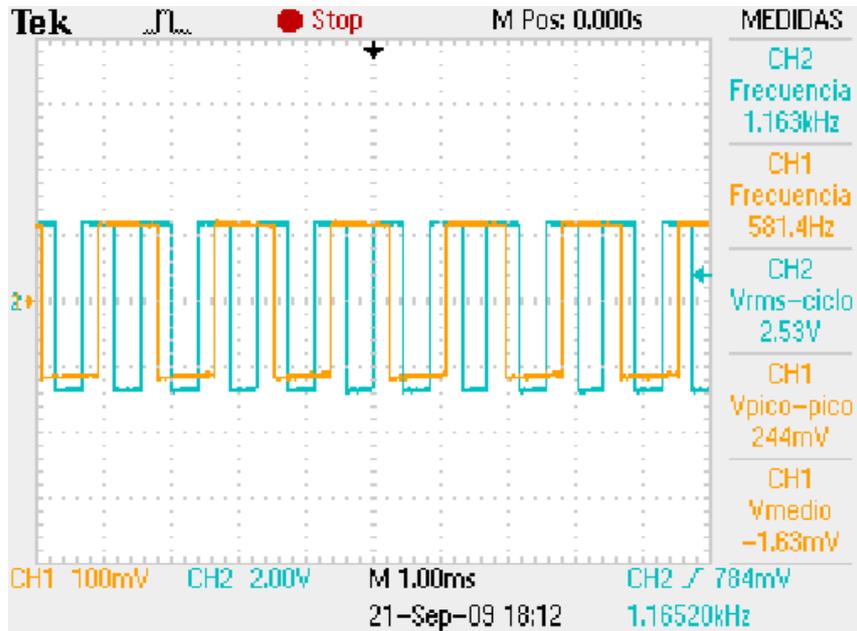


Fig.4.7 Señal que genera internamente junto con la insertada en su entrada

Una vez insertada la señal y obtenido el estado bajo en la salida, significativo de que el integrado genera la misma frecuencia que la señal insertada por su entrada en el pin2, se paso a medir el BW , que serán las dos últimas frecuencias por encima y por debajo de f_0 las cuales provocan el estado bajo. En las siguientes **fig.4.8** y **fig.4.9** se puede observar cuales son estos mínimos y máximos dónde la señal pasa de estado bajo a estado alto.

El canal 2 es la salida del integrado LM567 y el canal 1 es la señal insertada mediante el generador de funciones con valor 580 Hz para **fig.4.8** y 700 Hz para **fig.4.9**.

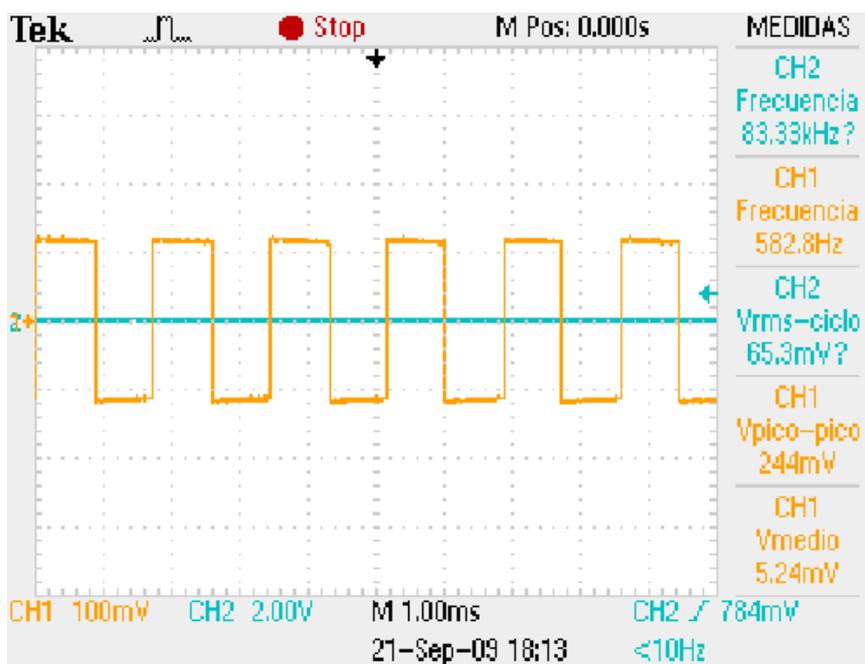


Fig.4.8 Mínima frecuencia de enganche para el LM567

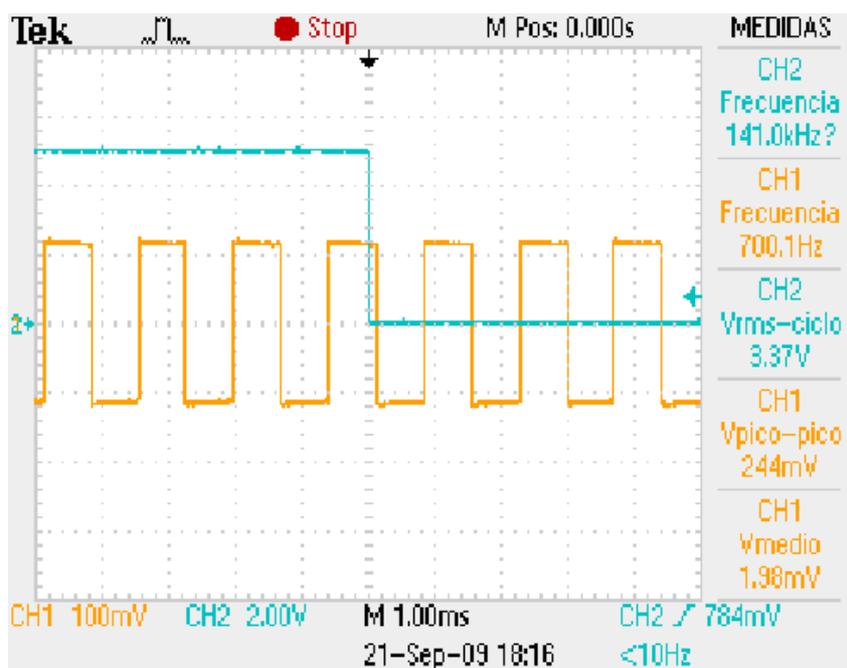


Fig.4.9 Máxima frecuencia que engancha el integrado LM567

En la **fig.4.9** se puede observar cómo está al límite para enganchar la señal de entrada, que viene a decir que si se aumentará la frecuencia por encima de 700 Hz la señal se desengancharía y volvería al estado alto de 5 V a la salida. La fórmula para calcular el ancho de banda viene descrita de la siguiente forma (4.3):

$$BW \approx 1070 \sqrt{\frac{V_I}{f_0 C_4}} \text{ in \% of } f_0$$

(4.3)

Dónde C_4 es el condensador conectado al pin2 del integrado con valor 22 nF y f_0 corresponde a la frecuencia central calculada en el punto 3, el resultado es expresado en tanto por ciento respecto a la frecuencia central. Haciendo los cálculos teóricos para una $f_0 = 1,4$ kHz se obtiene un BW del 12% de 1.4 kHz que se traduce en un BW de 170 Hz.

Si observamos las **fig.4.8** y **fig.4.9** como resultado experimental se obtiene un BW de 120 Hz que se aproxima mucho al teórico calculado de 170 Hz.

Una vez comprobado el funcionamiento correcto del circuito para una señal ideal, se pasa a insertar la señal captada por el micrófono y obtener los resultados en la salida del integrado LM567.

4.1.4. Salida del integrado

En la siguiente captura **fig.4.10** se muestra por el canal 2 la salida en estado alto a 5 V antes de insertar la señal en el micrófono. Y en el canal 1 la frecuencia generada por el LM567 para su seguimiento.

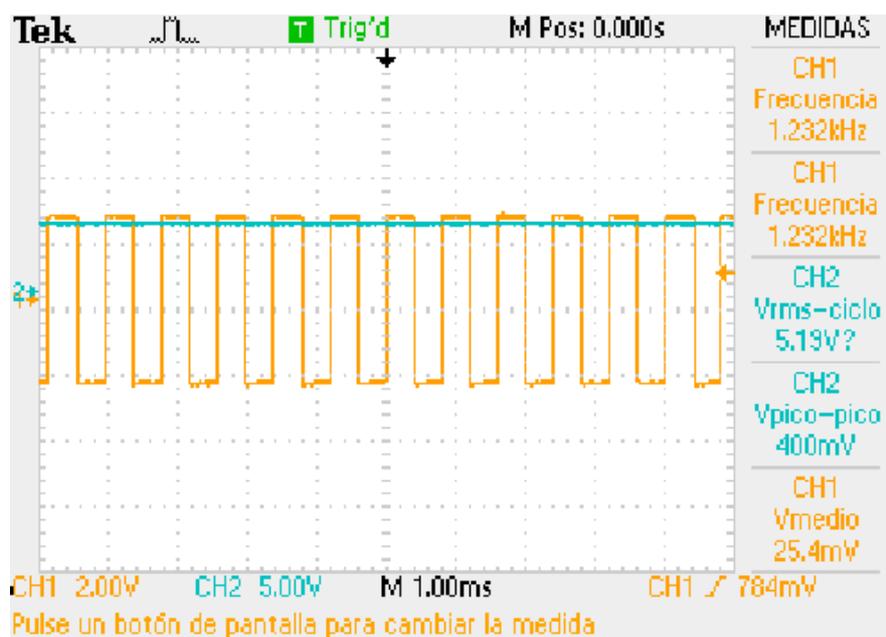


Fig.4.10 Señal a la salida del integrado LM567 en estado alto

Ahora se pasa a insertar la señal mostrada en el punto 2 obteniendo el siguiente resultado **fig.4.11**:

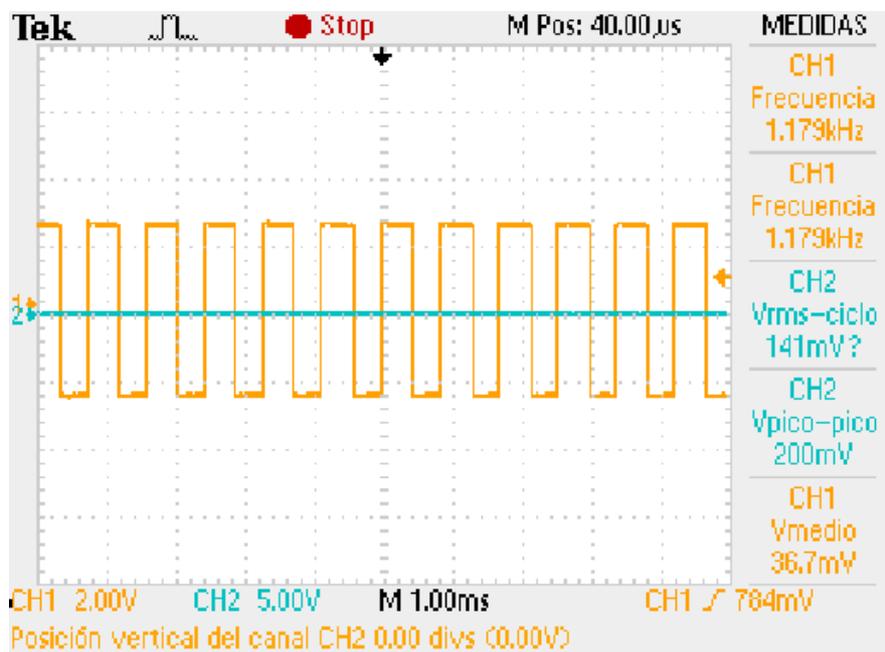


Fig.4.11 Señal a la salida en estado bajo

Este resultado indica que el integrado ajusta perfectamente la señal de entrada con la generada y da un estado bajo de 0 V a la salida, enviando la señal necesaria al microcontrolador para dar el siguiente paso en la transferencia del mensaje al usuario.

Debido a la tolerancia de los componentes se realizaron diversas medidas experimentales para caracterizar el ancho de banda y la frecuencia central obtenida por el integrado LM567. Los resultados experimentales se muestran a continuación en la **tabla 4.1**, siendo C_7 y C_6 los componentes modificados en las medidas.

Tabla 4.1 Valores experimentales para C_7 y C_6 y frecuencia que generan

Valor $C_7 + C_6$	Frecuencia generada por NE567	Frecuencia de corte para la señal entrante
1 nF	36 kHz	16 kHz
4.7 nF	7 kHz	4 kHz
33 nF	900 Hz	500 Hz
47 nF	790,5 Hz	480 Hz
1 μ F	321 Hz	160 Hz
10 μ F	314 Hz	156,4 Hz

Así pues el circuito queda diseñado para una señal específica (objetivo planteado al inicio), y una vez entendido su comportamiento se podrá modificar su función de transferencia en función de la nueva señal que se quiera captar, obteniendo así una nueva f_0 y un nuevo BW .

Finalmente en la **fig.4.12** se muestra la función de transferencia con los valores específicos para este circuito y esta señal analizada.

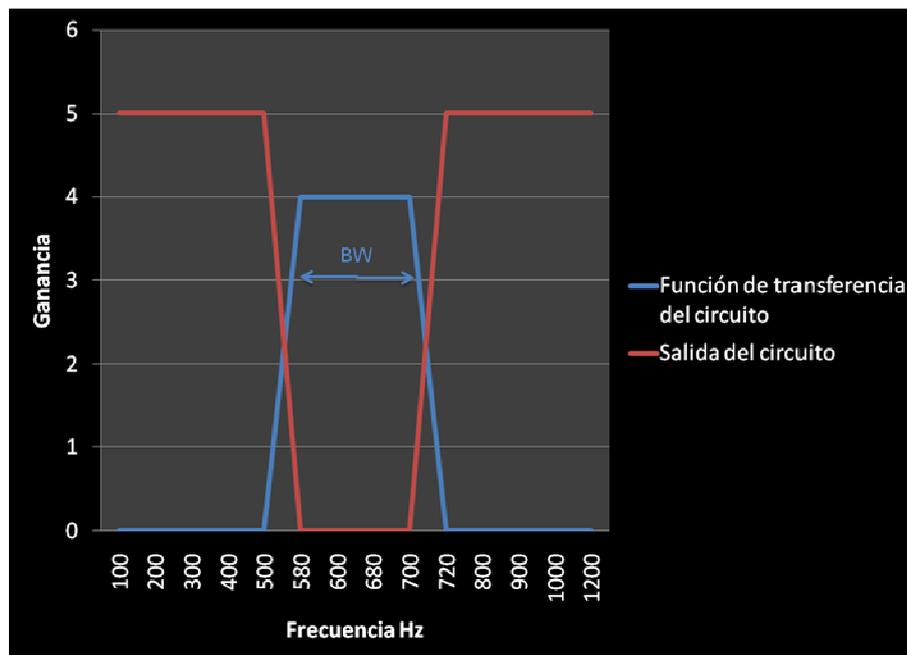


Fig.4.12 Función de transferencia circuito emisor

Para generar una nueva f_0 se tienen que modificar los componentes en paralelo C_6 y C_7 junto con R_9 y R_6 situados en serie. Al disminuir sus valores la f_0 aumentará pero por el contrario se aumentan la f_0 disminuirá. Se podrá obtener cualquier f_0 provocada por un timbre desde 10 Hz hasta 10 kHz que es el rango de frecuencias en el que trabajará el emisor y sus componentes.

El ancho de banda puede ser modificado en función del componente C_4 , si este aumenta el BW disminuye y a la inversa si se pretende que crezca. Al ser un resultado obtenido en porcentaje a f_0 , siempre que está disminuya o aumente el BW sufrirá la misma variación.

4.2. Circuito receptor

La **fig.4.13** muestra el aspecto final para el circuito receptor, sin incluir el microcontrolador MSP430. Se puede observar que integra el motor vibrador junto con una serie de componentes para su buen funcionamiento. El diodo led será el elemento de iluminación.

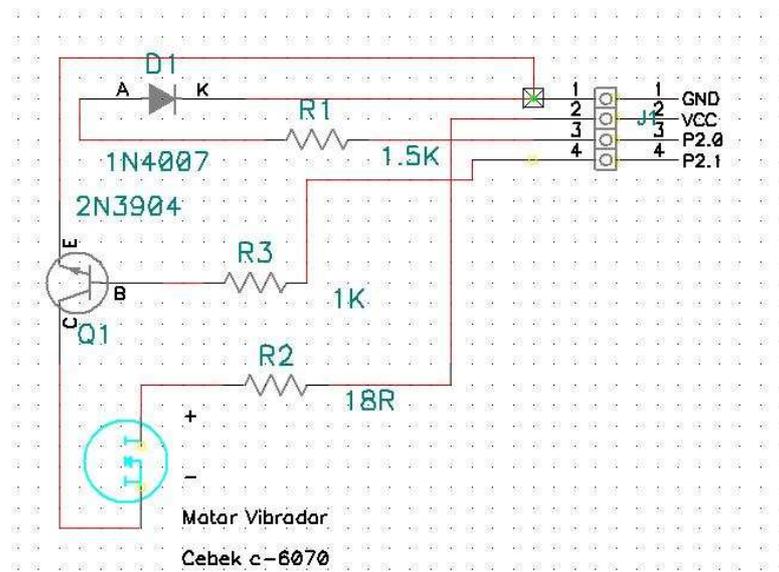


Fig.4.13 Circuito receptor

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proyecto se realiza un balance del cumplimiento de los objetivos marcados al inicio del mismo, si se han logrado alcanzar y las dificultades que se han presentado en su transcurso.

La idea principal por la cual nace este proyecto es solucionar un problema que los actuales sistemas no terminan de lograr en beneficio de afectados y su entorno.

Se ha demostrado que este proyecto consigue remplazar la fuente de sonido de mayor intensidad por una vibración perfectamente perceptible y no molesta para el usuario. Eliminando los inoportunos tonos elevados para el resto de personas que habiten la vivienda.

También se ha obtenido una movilidad en toda la zona de la casa gracias a la tecnología inalámbrica SimpliTI, implementando un emisor como fuente de eventos y un receptor, este fijado a la muñeca del usuario. De este modo se consigue remplazar las fuentes de luz fijas de los sistemas actuales, con una fuente de luz móvil que ha conseguido este proyecto.

El siguiente objetivo alcanzado ha sido especificar el tono de audio captado por el emisor, discriminando así el resto de posibles señales ambientales. De forma que, ninguna otra señal que no sea el timbre prefijado activará el dispositivo emisor. Con la implementación y estudio del circuito emisor se ha logrado tener el conocimiento para modificar a nuestra conveniencia la frecuencia del tono a captar, queriendo decir que se puede seleccionar cualquier fuente de sonido como evento, simplemente con estar incluida dentro del rango de frecuencias que permite el circuito: de 10 Hz a 10 kHz.

Una vez finalizado el circuito emisor, se ha podido comprobar que no precisa estar conectado por ningún elemento de la fuente de sonido, como se había planteado al inicio, simplemente con estar a unos pocos centímetros del timbre hará efectivas sus funciones.

Para finalizar con este apartado, quiero expresar que las dificultades que se han ido presentando a lo largo de este proyecto, algunas como enfrentarse a un hardware y un software desconocido para mi persona, se quedan a un lado al poder completarlo y quién sabe si algún día pueda ser usado y ayude a mi madre y personas que sufren su misma discapacidad.

CAPÍTULO 6. PRESPECTIVAS FUTURAS

Una vez realizadas las valoraciones finales, en este punto se puede relatar la visión de mejoras y ampliación de funciones que podría tener este proyecto en su futuro.

Actualmente el prototipo existente se compone de un único emisor y receptor, sin embargo el receptor está diseñado para recibir mensajes de diferentes emisores, por ello ampliar el número de receptores sería el siguiente paso para estudiar el comportamiento de la red. La inclusión de diferentes LEDs de colores y patrones de vibración haría posible el conocimiento de la procedencia de la fuente por parte del usuario

El alcance actual del sistema está sometido a la normativa de potencias para la banda de 2,4 GHz ISM, se ha explicado en este proyecto que el protocolo SimpliCI permite expandir la red con unos dispositivos que actúan como enlaces para los mensajes enviados entre receptor y emisor cuando estos no tienen alcance entre sí. Una línea de futuro sería estudiar este rebotador de señal y saber adaptarlo a la red.

Reducir el tamaño de los componentes y ampliar sus funciones siempre son aspectos viables, los microcontroladores ofrecen un sinfín de opciones en su programación tales como la amplificación de señales o la conversión analógica digital. La continuidad en el estudio del microcontrolador permitiría integrar por ejemplo el amplificador del emisor dentro del microcontrolador.

Las alimentaciones utilizadas actualmente por el emisor precisan de una fuente de alimentación, el siguiente paso para el circuito en este aspecto sería adaptar sus necesidades para que puedan depender de una única batería recargable, pudiendo así ser totalmente autónomo y no verse sujeto a la dependencia de una fuente como ocurre en la actualidad. Con unos valores de consumo de 7 mA para el LM567, 0,5 mA para el micrófono y 21 mA entre microcontrolador y transceptor emisor se obtiene un consumo aproximado de 28,5 mA, durante un periodo de 12 horas se traduce en una necesidad de una batería con capacidad 350 mA.h. En este caso se excluye el consumo del amplificador debido a que su función pasaría a ser realizada por el microcontrolador. De esta forma se elimina la demanda de 15 V del amplificador TL084 que supondría poder alimentar el circuito con una única alimentación continua. Podría implementarse una batería de 5 V o una de 3,7 V que es de dimensiones más reducidas pero adaptando sus prestaciones con un elevador de tensión de continua.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias a páginas con contenidos consultados dentro de la búsqueda de información realizada para la elaboración de este proyecto.

Estudio de mercado

BJ Teléfono web:<http://www.bj-adaptaciones.com/index.php>

Avisador Sonoro puerta web:<http://www.catalogo.ceapat.org/producto/22/27/03/6?nivel=222703>

Avisador inalámbrico puerta web:
http://www.solostocks.com/lotos/comprar/timbre-avisador-inalambrico/oferta_1828298.html

Doro Teleflash web:<http://www.onedirect.es/productos/doro/doro-teleflash>

Información acerca de los componentes

Electret

http://es.wikipedia.org/wiki/Micrófono_electret

<http://www.fortunecity.es/felices/barcelona/146/3ds/tutores/electret.html>

Amplificador

http://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_operacional#No_inversor

<http://www.electronicafacil.net/tutoriales/AMPLIFICADOR-NO-INVERSOR.php>

Filtro paso bajos

http://www.unicrom.com/Tut_filtroRCpasabajo.asp

Generador frecuencia

http://es.wikipedia.org/wiki/Lazo_de_seguimiento_de_fase

<http://stk.freeshell.org/electronixs/drl/drl.pdf>

MSP430

<http://es.wikipedia.org/wiki/MSP430>

<http://www.elo.utfsm.cl/~lsb/elo311/labs/msp/Seminario%20MSP430.pdf>

<http://www.ti.com/litv/pdf/slaa378a>

Estudio del kit MSP430

Guía de usuario eZ430-RF2500

<http://focus.ti.com/lit/ug/slau227c/slau227c.pdf>

Transceptor CC2500:

<http://focus.ti.com/lit/ds/swrs040b/swrs040b.pdf>

Familia MSP430

<http://focus.ti.com/lit/ds/slas504b/slas504b.pdf>

Introducción a SimpliciT1

<http://focus.ti.com/lit/ml/swru130a/swru130a.pdf>

Información acerca de ZigBee

<http://www.zigbee.org/en/index.asp>

Led

http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_LED

Hojas de datos

Microcontrolador MSP430

http://www.datasheetcatalog.org/datasheets2/53/535319_1.pdf

Decodificador de tonos LM567

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS006975.PDF>

DF

Amplificador TL084

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tl084.pdf>

Micrófono electret

http://www.datasheetcatalog.org/datasheets2/45/457036_1.pdf

Micro-motor c-6070

<http://www.electan.com/catalog/datasheets/cebek/CE-C6070.pdf>

Transistor

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/a/0s18la5f3csj4dzug8wfyow5zqfy.pdf>



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANEXOS

TÍTULO DEL TFC/PFC: Sistema de aviso para personas con discapacidad auditiva

TITULACIÓN: Ingeniería técnica de Telecomunicaciones, especialidad Telemática

AUTOR: Jesús Colorado González

DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

FECHA: 26 de Septiembre del 2009

Código de programación para el microcontrolador MSP430 emisor y receptor realizado en este proyecto.

```

//*****
// PROGRAMA PARA EL END DEVICE o EMISOR
//*****
#include "bsp.h"
#include "mrfi.h"
#include "nwk_types.h"
#include "nwk_api.h"
#include "bsp_leds.h"
#include "bsp_buttons.h"
#include "vlo_rand.h"

void linkTo(void);
void MCU_Init(void);

__no_init volatile char Flash_Addr[4] @ 0x10F0; // Flash address set randomly

void createRandomAddress();

void main (void)
{
    addr_t lAddr;
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;           // Stop WDT

    {
        // delay loop to ensure proper startup before SimpliciTI increases DCO
        // This is typically tailored to the power supply used, and in this case
        // is overkill for safety due to wide distribution.
        volatile int i;
        for(i = 0; i < 0xFFFF; i++){
        }

        if( CALBC1_8MHZ == 0xFF )           // Do not run if cal values are erased
        {
            volatile int i;
            P1DIR |= 0x03;
            BSP_TURN_ON_LED1();
            BSP_TURN_OFF_LED2();
            while(1)
            {
                for(i = 0; i < 0x5FFF; i++){
                    BSP_TOGGLE_LED2();
                    BSP_TOGGLE_LED1();
                }
            }
        }
    }
}

```

```

// SimpliTI will change port pin settings as well
P1DIR = 0xFF;
P1OUT = 0x00;
P2DIR = 0x27;
P2OUT = 0x00;
P3DIR = 0xC0;
P3OUT = 0x00;
P4DIR = 0xFF;
P4OUT = 0x00;

BSP_Init();

if( Flash_Addr[0] == 0xFF &&
    Flash_Addr[1] == 0xFF &&
    Flash_Addr[2] == 0xFF &&
    Flash_Addr[3] == 0xFF )
{
    createRandomAddress();           // set Random device address at initial
startup
}
IAddr.addr[0]=Flash_Addr[0];
IAddr.addr[1]=Flash_Addr[1];
IAddr.addr[2]=Flash_Addr[2];
IAddr.addr[3]=Flash_Addr[3];

SMPL_ioctl(IOCTL_OBJ_ADDR, IOCTL_ACT_SET, &IAddr);
BCSCTL1 = CALBC1_8MHZ;           // Set DCO after random function
DCOCTL = CALDCO_8MHZ;

BCSCTL3 |= LFXT1S_2;           // LFXT1 = VLO
TACCTL0 = CCIE;                // TACCR0 interrupt enabled
TACCR0 = 12000;                // ~ 1 sec
TACTL = TASSEL_1 + MC_1;       // ACLK, upmode

// keep trying to join until successful. toggle LEDS to indicate that
// joining has not occurred. LED3 is red but labeled LED 4 on the EXP
// board silkscreen. LED1 is green.

while (SMPL_NO_JOIN == SMPL_Init((uint8_t (*)(linkID_t))0))
{
    BSP_TOGGLE_LED1();
    BSP_TOGGLE_LED2();
    __bis_SR_register(LPM3_bits + GIE); // LPM3 with interrupts enabled
}
// unconditional link to AP which is listening due to successful join.
linkTo();
}

```

```

void linkTo()
{

linkID_t linkID1;
uint8_t msg[1];

// keep trying to link...
while (SMPL_SUCCESS != SMPL_Link(&linkID1))
{
    __bis_SR_register(LPM3_bits + GIE);    // LPM3 with interrupts enabled
    BSP_TOGGLE_LED1();
    BSP_TOGGLE_LED2();
}

// Turn off all LEDs
if (BSP_LED1_IS_ON())
{
    BSP_TOGGLE_LED1();
}
if (BSP_LED2_IS_ON())
{
    BSP_TOGGLE_LED2();
}

while (1)
{
    SMPL_ioctl( IOCTL_OBJ_RADIO, IOCTL_ACT_RADIO_SLEEP, "" );
    __bis_SR_register(LPM3_bits+GIE);    // LPM3 with interrupts enabled
    SMPL_ioctl( IOCTL_OBJ_RADIO, IOCTL_ACT_RADIO_AWAKE, "" );

    msg[0]=1;
    //P2DIR |= BIT1;
    P2DIR&=~BIT0; //P2.1 is used as Input Pin
    //if ( (P1IN & BIT0) == 0x01)
    if ( !(P2IN & BIT0) )//(P2OUT |= BIT1) //( P2OUT &= ~BIT1 ) P2.1 Low// //
P2.1 high
    {
        // if (SMPL_SUCCESS == SMPL_Send(linkID1, msg, sizeof(msg)))
        SMPL_SUCCESS == SMPL_Send(linkID1, msg, sizeof(msg));

        if (BSP_LED2_IS_ON())
        {
            BSP_TURN_OFF_LED2();
        }
        else
        {
            BSP_TURN_ON_LED2();
        }
    }
}

```

```

}
}
}
void createRandomAddress()
{
    unsigned int rand, rand2;
    do
    {
        rand = TI_getRandomIntegerFromVLO(); // first byte cannot be 0x00 of
0xFF
    }
    while( (rand & 0xFF00)==0xFF00 || (rand & 0xFF00)==0x0000 );
    rand2 = TI_getRandomIntegerFromVLO();

    BCSCCTL1 = CALBC1_1MHZ; // Set DCO to 1MHz
    DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
    FCTL2 = FWKEY + FSSEL0 + FN1; // MCLK/3 for Flash Timing
Generator
    FCTL3 = FWKEY + LOCKA; // Clear LOCK & LOCKA bits
    FCTL1 = FWKEY + WRT; // Set WRT bit for write operation

    Flash_Addr[0]=(rand>>8) & 0xFF;
    Flash_Addr[1]=rand & 0xFF;
    Flash_Addr[2]=(rand2>>8) & 0xFF;
    Flash_Addr[3]=rand2 & 0xFF;

    FCTL1 = FWKEY; // Clear WRT bit
    FCTL3 = FWKEY + LOCKA + LOCK; // Set LOCK & LOCKA bit
}

/*-----
* ADC10 interrupt service routine
-----*/
#pragma vector=ADC10_VECTOR
__interrupt void ADC10_ISR(void)
{
    __bic_SR_register_on_exit(CPUOFF); // Clear CPUOFF bit from 0(SR)
}

/*-----
* Timer A0 interrupt service routine
-----*/
#pragma vector=TIMERAO_VECTOR
__interrupt void Timer_A (void)
{
    __bic_SR_register_on_exit(LPM3_bits); // Clear LPM3 bit from 0(SR)
}

```

```

//*****
// PROGRAMA PARA EL ACCESS POINT o RECEPTOR
//*****
#include "bsp.h"
#include "mrfi.h"
#include "bsp_leds.h"
#include "bsp_buttons.h"
#include "nwk_types.h"
#include "nwk_api.h"
#include "nwk_frame.h"
#include "nwk.h"
#include "msp430x22x4.h"
#include "vlo_rand.h"

#define MESSAGE_LENGTH 3
void TXString( char* string, int length );
void MCU_Init(void);

void createRandomAddress();

__no_init volatile char Flash_Addr[4] @ 0x10F0; // Flash address set randomly

// reserve space for the maximum possible peer Link IDs
static linkID_t sLID[NUM_CONNECTIONS];
static uint8_t sNumCurrentPeers;

// callback handler
static uint8_t sCB(linkID_t);
// work loop semaphores
static uint8_t sPeerFrameSem;
static uint8_t sJoinSem;

void main (void)
{
    addr_t lAddr;
    bspIState_t intState;

    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;           // Stop WDT
    {
        // delay loop to ensure proper startup before SimpliciTI increases DCO
        // This is typically tailored to the power supply used, and in this case
        // is overkill for safety due to wide distribution.
        volatile int i;
        for(i = 0; i < 0xFFFF; i++){
        }

        if( CALBC1_8MHZ == 0xFF )       // Do not run if cal values are erased
        {
            volatile int i;
            P1DIR |= 0x03;
        }
    }
}

```

```

BSP_TURN_ON_LED1();
BSP_TURN_OFF_LED2();
while(1)
{
    for(i = 0; i < 0x5FFF; i++){
        BSP_TOGGLE_LED2();
        BSP_TOGGLE_LED1();
    }
}

BSP_Init();

if( Flash_Addr[0] == 0xFF &&
    Flash_Addr[1] == 0xFF &&
    Flash_Addr[2] == 0xFF &&
    Flash_Addr[3] == 0xFF )
{
    createRandomAddress();           // set Random device address at initial
startup
}
lAddr.addr[0]=Flash_Addr[0];
lAddr.addr[1]=Flash_Addr[1];
lAddr.addr[2]=Flash_Addr[2];
lAddr.addr[3]=Flash_Addr[3];
SMPL_ioctl(IOCTL_OBJ_ADDR, IOCTL_ACT_SET, &lAddr);

MCU_Init();
//Transmit splash screen and network init notification

TXString( "\n\nInitializing Network....", 26 );

SMPL_Init(sCB);

// network initialized
TXString( "Done\r\n", 6);

// main work loop
while (1)
{
    // Wait for the Join semaphore to be set by the receipt of a Join frame from a
    // device that supports and End Device.
    P2DIR |= BIT0;
    P2DIR |= BIT1;
    P2OUT &= ~BIT0; // P2.0 Low
    P2OUT &= ~BIT1 ; // P2.1 Low
    if (sJoinSem && (sNumCurrentPeers < NUM_CONNECTIONS))
    {
        BSP_TURN_ON_LED2();
        // listen for a new connection
        SMPL_LinkListen(&sLID[sNumCurrentPeers]);
    }
}

```



```

do
{
    rand = TI_getRandomIntegerFromVLO(); // first byte can not be 0x00 of
0xFF
}
while( (rand & 0xFF00)==0xFF00 || (rand & 0xFF00)==0x0000 );
rand2 = TI_getRandomIntegerFromVLO();

BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ; // Set DCO to 1MHz
DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
FCTL2 = FWKEY + FSSEL0 + FN1; // MCLK/3 for Flash Timing
Generator
FCTL3 = FWKEY + LOCKA; // Clear LOCK & LOCKA bits
FCTL1 = FWKEY + WRT; // Set WRT bit for write operation

Flash_Addr[0]=(rand>>8) & 0xFF;
Flash_Addr[1]=rand & 0xFF;
Flash_Addr[2]=(rand2>>8) & 0xFF;
Flash_Addr[3]=rand2 & 0xFF;

FCTL1 = FWKEY; // Clear WRT bit
FCTL3 = FWKEY + LOCKA + LOCK; // Set LOCK & LOCKA bit
}
/*-----*/
*
-----*/

void TXString( char* string, int length )
{
    int pointer;
    for( pointer = 0; pointer < length; pointer++)
    {
        volatile int i;
        UCA0TXBUF = string[pointer];
        while (!(IFG2&UCA0TXIFG)); // USCI_A0 TX buffer ready?
    }
}

/*-----*/
*
-----*/

void MCU_Init()
{
    BCSCTL1 = CALBC1_8MHZ; // Set DCO
    DCOCTL = CALDCO_8MHZ;
    BCSCTL3 |= LFXT1S_2; // LFXT1 = VLO
    TACCTL0 = CCIE; // TACCR0 interrupt enabled
    TACCR0 = 12000; // ~1 second
    TACTL = TASSEL_1 + MC_1; // ACLK, upmode
    P3SEL |= 0x30; // P3.4,5 = USCI_A0 TXD/RXD
    UCA0CTL1 = UCSSEL_2; // SMCLK
}

```

```

UCA0BR0 = 0x41;           // 9600 from 8Mhz
UCA0BR1 = 0x3;
UCA0MCTL = UCBSRS_2;
UCA0CTL1 &= ~UCSWRST;    // **Initialize USCI state machine**
IE2 |= UCA0RXIE;        // Enable USCI_A0 RX interrupt
__enable_interrupt();
}
/*-----*/
* Runs in ISR context. Reading the frame should be done in the
* application thread not in the ISR thread.
/*-----*/
static uint8_t sCB(linkID_t lid)
{
    if (lid)
    {
        sPeerFrameSem++;
    }
    else
    {
        sJoinSem++;
    }
    // leave frame to be read by application.
    return 0;
}

/*-----*/
* ADC10 interrupt service routine
/*-----*/
#pragma vector=ADC10_VECTOR
__interrupt void ADC10_ISR(void)
{
    __bic_SR_register_on_exit(CPUOFF);    // Clear CPUOFF bit from 0(SR)
}

/*-----*/
* Timer A0 interrupt service routine
/*-----*/
#pragma vector=TIMERA0_VECTOR
__interrupt void Timer_A (void)
{
}
/*-----*/
* USCIA interrupt service routine
/*-----*/
#pragma vector=USCIAB0RX_VECTOR
__interrupt void USCI0RX_ISR(void)
{
    char rx = UCA0RXBUF;
}

```

