

# Estudio de la transmisión de voz y datos en la tecnología Bluetooth

A. Varela

*Ingeniero de Comunicación, Alcatel-Lucent, Quito, Ecuador*

R. Lara

*Coordinador del Centro de Investigaciones CIRAD, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí Ecuador*

J. Larco

*Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador*

**RESUMEN:** Este estudio pretende dejar esquemas claros y entendibles del proceso de transmisión de voz y de datos mediante la tecnología Bluetooth y el desempeño que puede esperarse al utilizar dispositivos clase 2 en aplicaciones inalámbricas.

Conociendo el rango efectivo teórico de operación de dispositivos Bluetooth clase 2 se intenta identificar el impacto que tiene el incremento de la distancia entre dos nodos Bluetooth (dispositivos BT-1000) en la degradación de una señal de voz originada en un punto y transmitida hacia otro nodo en conexión SCO y utilizando paquetes HV1. Asimismo se busca establecer el porcentaje de error debido a la retransmisión de paquetes DH1 según el incremento de distancia entre nodos con conexiones ACL. Para el análisis de la voz se empleó el programa *dtw.m* (*Dynamic Time Warping*) el cual permite conocer la similitud de dos señales de voz.

Los resultados obtenidos en la prueba de transmisión de datos demuestran que el dispositivo BT-1000 puede soportar enlaces ACL hasta una distancia de 80[m] con línea de vista y 20[m] sin línea de vista entre nodos. Aquí, el número de paquetes retransmitidos llegó a un máximo del 64% (LOS) y 32% (NLOS). En cuanto a la transmisión de voz el dispositivo permite establecer enlaces SCO hasta 80[m] y la degradación de la señal audible llega a un máximo del 8%, pese a que el mensaje todavía puede ser entendido por el receptor.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el artículo presentado se realiza una introducción a la tecnología Bluetooth, se describe la arquitectura de la pila de protocolos empleados en Bluetooth y los enlaces que resultan necesarios para establecer la conexión entre nodos Bluetooth. Se mencionan los perfiles generales y específicos de Bluetooth y finalmente se presenta la prueba de transmisión de voz y datos (FTP) con el dispositivo BT-1000 con sus respectivos resultados.

### 1.1 Introducción a la tecnología Bluetooth

Las especificaciones Bluetooth comprenden un sistema integral de hardware, software y requerimientos de interoperabilidad. La tecnología inalámbrica Bluetooth hace uso de la banda de frecuencias no licenciadas para la industria, ciencia y medicina (ISM), concretamente entre 2.4 y 2.485 GHz.

Los radio enlaces con Bluetooth resultan robustos debido a la utilización de saltos de frecuencia (FH) y *Spread Spectrum* (SS) para evitar interferencias y desvanecimiento de señales. La tasa de saltos es de 1600 saltos por segundo sobre 79 frecuencias de 1MHz y siempre antes de iniciar la comunicación el maestro establece la secuencia de saltos a manejar según los dispositivos involucrados (esclavos). Además de utilizar FHSS Bluetooth emplea TDD (*Time Division Duplexing*) para asignar slots de tiempo tanto para transmisiones de voz o datos. Cada slot de tiempo tiene una duración de 625us, tiempo en el cual paquetes de voz/datos pueden enviarse.

Dependiendo de las aplicaciones que se quieran brindar, existen dispositivos con tecnología Bluetooth con la capacidad de cubrir distancias de por lo menos 10 metros (clase 2) hasta 100 metros (clase 1), lo cual resulta un beneficio en caso de querer lograr una mayor cobertura. De igual manera Bluetooth cuenta con paquetes destinados a voz o datos que pueden seleccionarse dependiendo de la aplicación y de las tasas de transmisión máximas a manejarse.

## 2 ARQUITECTURA DE LA PILA DE PROTOCOLOS Y ENLACES EN BLUETOOTH

La especificación Bluetooth cuenta con una serie de protocolos que son utilizados dependiendo de la aplicación a realizarse; aunque sin importar de la aplicación, la pila de protocolos hace uso de la capa física y de enlace de datos. Bluetooth cuenta principalmente con 4 capas en su arquitectura las cuales se presentan en la Figura 1 y sus funciones se mencionan a continuación.

### 2.1 Radio layer

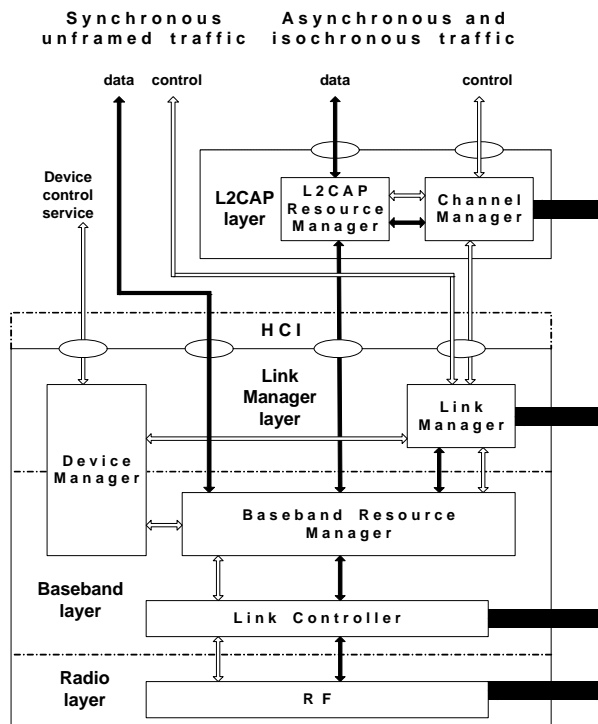
Es el sistema físico de radio (clase 1, 2, y 3) que realiza la transmisión y recepción de paquetes de datos y trabaja en el rango de 2.400 – 2.4835 [GHz].

Aquí también se encuentra RF, que realiza la transmisión y recepción de paquetes de datos en el canal físico, permite a la banda base controlar el timing y la frecuencia portadora del bloque RF, además es encargado de transformar cadenas de datos de y para el canal físico

### 2.2 Baseband layer

Provee el clock Bluetooth (28 bits), cuenta con la dirección del dispositivo (48 bits), maneja el canal físico, los códigos de acceso, y fija la secuencia de saltos.

En esta capa, el Link Controller realiza la codificación y decodificación de paquetes Bluetooth y maneja el enlace de control para la señalización de acuerdo a los estados de operación (Standby, Connection). Así también, el Baseband Resource Manager es responsable de todo acceso al medio de radio y considera comportamientos del dispositivo (peticiones, conexiones, modos *discoverable* y *connectable*) para realizar intercambio de información entre dispositivos conectados. De igual manera, el Device Manager controla el comportamiento general del dispositivo y es responsable de toda operación no relacionada al transporte de datos (*Inquiry*, conexiones, modos *discoverable* y *connectable*).



**Figura 1.** Arquitectura del Core Bluetooth [1]

### 2.3 Link Manager layer

Crea, modifica, y libera enlaces lógicos, actualiza parámetros relacionados con los enlaces físicos, y maneja el intercambio de PDUs LMP para supervisar el enlace.

### 2.4 L2CAP layer

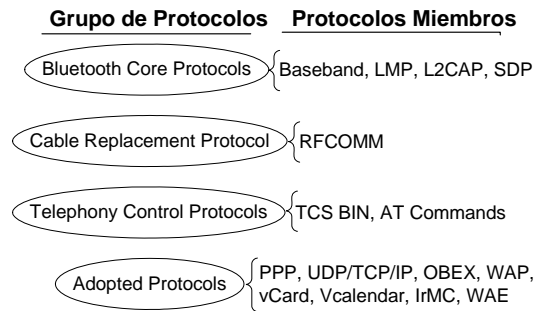
*Logical Link Control and Adaptation Protocol* soporta servicios orientados y no orientados a la conexión, maneja canales para la señalización, y controla la multiplexación de cadenas de datos y protocolos de nivel superior, y realiza la segmentación y el reensamblado empleando enlaces ACL únicamente.

Aquí, la función del Channel Manager es crear, manejar, y eliminar canales L2CAP (transporte de protocolos de servicio y aplicaciones de cadenas de datos) empleando el protocolo L2CAP para establecer un canal L2CAP con dispositivos remotos. Asimismo, el L2CAP Resource Manager, maneja el orden de fragmentos PDU que se envían al baseband y es encargado de asegurar el acceso al medio físico a los canales L2CAP.

## 2.5 Protocolos

En Bluetooth existen cuatro capas con protocolos específicos en cada una de ellas. Los protocolos que resultan esenciales para los dispositivos Bluetooth son los del núcleo de Bluetooth y el de radio de Bluetooth. La Figura 2 presenta los protocolos de Bluetooth separados por grupos.

Entre los protocolos del *Core Bluetooth* el protocolo SDP (*Service Discovery Protocol*) es el que siempre es utilizado en el proceso de descubrimiento de servicios y entre los protocolos adoptados uno de los más utilizados es **OBEX** que está basado en un modelo cliente-servidor y cuenta con tres aplicaciones basadas en él (SYNC, FTP y OPP).

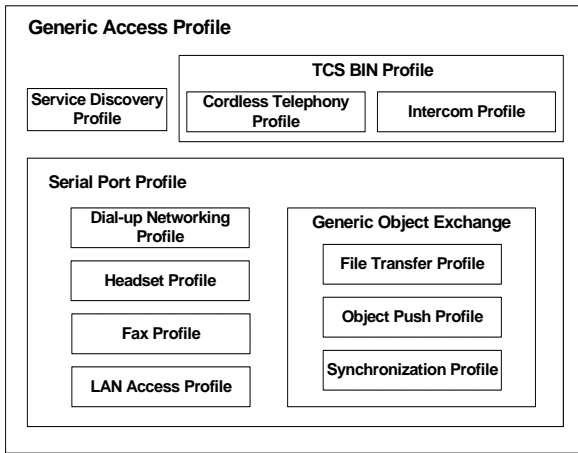


**Figura 2.** Grupos de Protocolos en Bluetooth [1]

## 3 PERFILES GENERALES Y ESPECÍFICOS DE BLUETOOTH

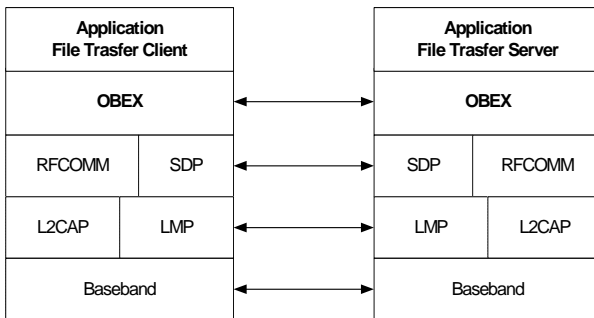
Los perfiles de Bluetooth pueden ser considerados como cortes verticales de la pila de protocolos existentes. Los perfiles definen protocolos, características, procedimientos y mensajes específicos que soportan particulares modelos utilizados, por esta razón existen opciones y parámetros que deben cumplirse al momento de utilizar los diferentes perfiles. Con ayuda de perfiles definidos el uso de un servicio puede lograrse sin inconvenientes entre dispositivos de diferentes fabricantes.

En Bluetooth existen perfiles generales y específicos, pero cada uno de ellos debe ser implementado de tal manera que cuente con las características necesarias para que dicha implementación funcione de la misma forma en cualquier dispositivo sin importar su fabricación. Se puede considerar cuatro perfiles generales que se emplean en varios modelos utilizados, como son GAP (*Generic Access Profile*), SPP (*Serial Port Profile*), SDAP (*Service Discovery Application Profile*), y GOEP (*Generic Object Exchange Profile*). De igual manera existen otros perfiles para diferentes modelos de uso, como son el ICP (*Intercom Profile*), HS (*Headset Profile*), FTP (*File Transfer Profile*), OPush u OPP (*Object Push Profile*), o Sync (*Synchronization Profile*), y cada uno de ellos es dependiente de cierta forma de algún perfil general e inclusive un mismo perfil general puede estar relacionado con otro, la Figura 3 presenta la relación entre el perfil de acceso genérico y otros perfiles de Bluetooth. A continuación se describen los perfiles generales y el perfil FTP.



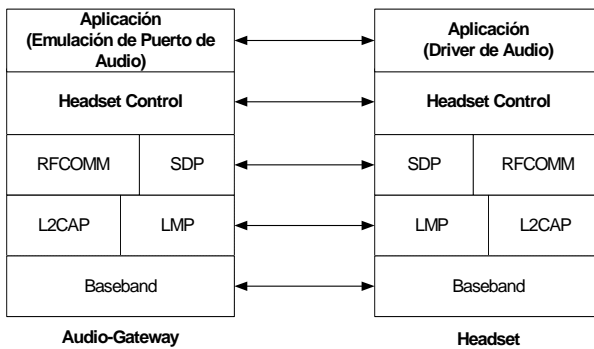
**Figura 3.** Relación del Perfil de Acceso Genérico con otros Perfiles de Bluetooth [1]

El perfil FTP utiliza como base a GOEP para definir requerimientos de interoperabilidad para protocolos utilizados en aplicaciones de intercambio de objetos. Mediante este perfil se puede lograr la transferencia de objetos de datos desde un dispositivo Bluetooth a otro, abrir y hacer búsqueda de archivos y carpetas que se encuentran en un dispositivo Bluetooth y navegar de acuerdo a la jerarquía de carpetas. La Figura 4 presenta la pila de protocolos para FTP.



**Figura 4.** Modelo de Protocolos para FTP [1]

El perfil Headset, es uno de los perfiles más utilizados para permitir el uso de un auricular con teléfonos móviles utilizando enlaces SCO y manteniendo una tasa de transmisión de 64Kbps. La Figura 5 presenta el modelo de protocolos que Headset involucra.



**Figura 5.** Modelo de Protocolos para Headset [1]

## 4 PRUEBAS CON EL EQUIPO BT-1000

### 4.1 Datos

El equipo de desarrollo BT-1000 disponible en el laboratorio de SAT está compuesto por dos dispositivos BlueSEM II de Samsung Electronics establecidos como clase 2 y satisfacen a la especificación Bluetooth versión 1.1 [2].

La prueba de transmisión de datos se la realizó con dos dispositivos BT-1000 y con ayuda del software disponible en el kit de desarrollo BT-1000 y específicamente con la aplicación de transferencia de archivos (FTP) que permite establecer la sesión de comunicación entre dos puntos distanciados mediante un enlace Bluetooth para la transferencia de archivos.

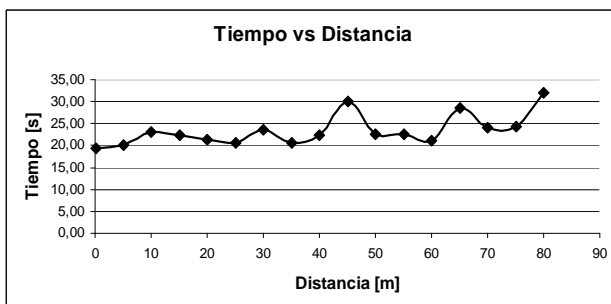
En la ejecución de la aplicación FTP se utiliza un enlace ACL para establecer la comunicación entre los dos dispositivos BT-1000 y para la transmisión de cualquier tipo de archivo se utilizan paquetes de datos tipo DH1. Debido a que los paquetes DH1 permiten retransmisión de los mismos en caso de existir errores y conociendo que un enlace se degrada con el aumento de la distancia entre dos puntos, es decir existirá mayor número de retransmisiones cada vez que se incrementa la distancia, la realización de la prueba tiene como objetivo determinar el número de retransmisiones que se producen debido a la variabilidad de la distancia. De esta manera, conociendo el tamaño del archivo a enviarse, el tamaño establecido para paquetes DH1, y el tiempo que demora llevar un archivo de un punto a otro, el cálculo de paquetes retransmitidos será posible.

Para mayor precisión de la prueba se enviaron ocho veces el mismo archivo con incrementos de distancia cada cinco metros tanto con línea de vista y sin línea de vista. En la prueba con línea de vista se llegó a una distancia máxima de 80 metros, es decir a los 80 metros fue imposible establecer un enlace ACL. Por otro lado, en la prueba sin línea de vista que se realizó en el Bloque D de la ESPE con pocas personas circulando en la cuarta planta, la presencia de paredes de 40cm de espesor, y numerosas bancas de madera a una temperatura promedio de 17°C aproximadamente se logró un alcance máximo de 20 metros. El archivo transferido fue AntiKnight.rar cuyo tamaño es 26095 Bytes.

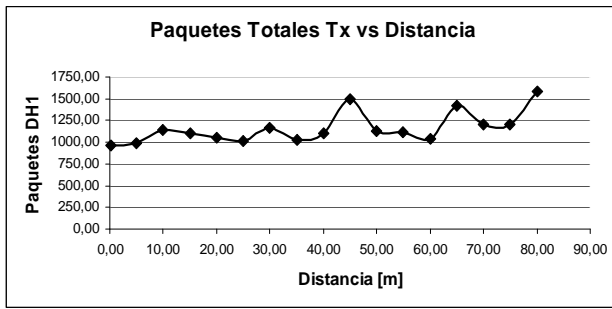
Con Línea de Vista, sabiendo que el número de paquetes totales necesarios para transmitir el archivo es de 967, se puede estimar el porcentaje de error que existió.

$$Error \% = \frac{P_T - P_{TB}}{P_{TB}} * 100 \quad (1)$$

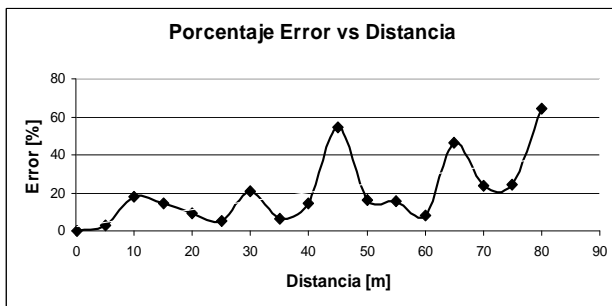
Donde  $P_T$  = paquetes totales; y  $P_{TB}$  = paquetes totales base.



**Figura 6.** Tiempo de transferencia vs. Distancia

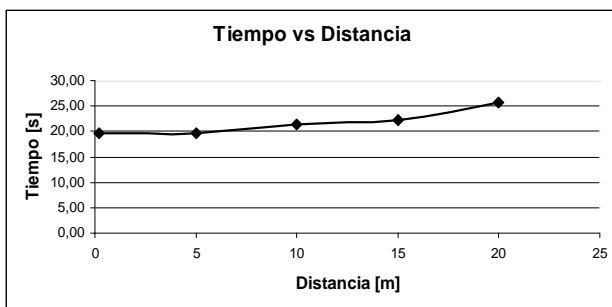


**Figura 7.** Paquetes totales transmitidos vs. Distancia

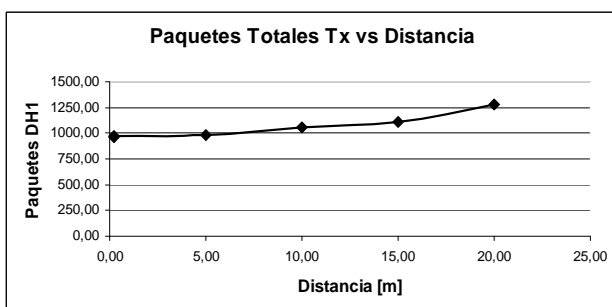


**Figura 8.** Porcentaje de error vs. Distancia

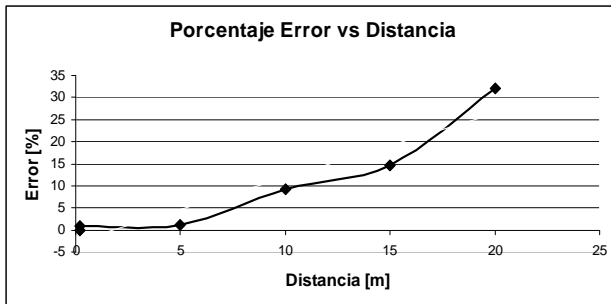
Sin Línea de Vista, los resultados se presentan en las Figuras 9-11.



**Figura 9.** Tiempo de transferencia vs. Distancia



**Figura 10.** Paquetes totales transmitidos vs Distancia



**Figura 11.** Porcentaje de error vs. Distancia

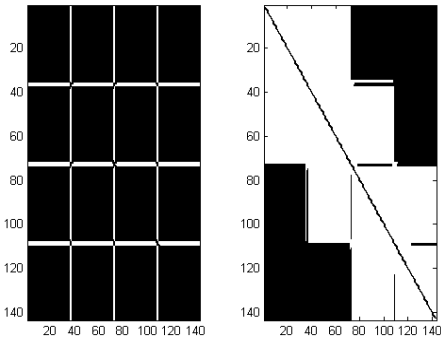
La utilización del dispositivo BT-1000 para la transmisión de datos con la aplicación FTP no presentó ningún problema considerando que es un dispositivo de clase 2 y se estima un buen desempeño con otros nodos siempre que estos se encuentren en un radio de 10m de distancia. De esta forma tanto con y sin línea de vista se tiene una diferencia de error menor al 10% con respecto al tiempo que lleva transmitir la misma información en la condición más óptima (línea de vista a 20cm de separación entre nodos).

#### 4.2 Voz

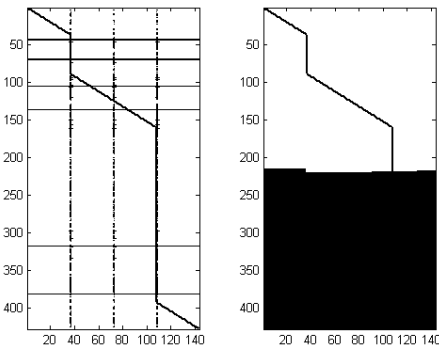
La prueba de transmisión de voz se la realizó con dos dispositivos BT-1000 y con ayuda del software disponible, específicamente con la aplicación de voz (*Voice*), la cual permite establecer la comunicación entre dos puntos remotos.

En la ejecución de la aplicación *Voice* se establece una conexión SCO (*full-duplex*) entre los dos dispositivos BT-1000 con una tasa de transmisión de 64Kbps con el uso de paquetes HV1.

Para evaluar la degradación de la voz se compararon una señal fuente definida como referencia y grabada previamente con la herramienta de *AdobeAudition 2.0* a 44.100 Hz y con 16 bits por muestra y enviada desde el dispositivo iniciador; y la señal que llega en el punto de destino igualmente grabada a 44.100 Hz y con 16 bits por muestra. Con ayuda del programa *dtw.m* [3] cuya implementación en Matlab está disponible en Internet es posible comparar estas dos señales y encontrar su similitud. El programa *dtw.m* después de realizar todo su procesamiento entrega un resultado que representa el número de muestras no coincidentes en su análisis, es así que si este valor es 0 significará que existe coincidencia total y si el valor crece será lo contrario. La Figura 12 es el resultado de utilizar *dtw.m* para comparar dos señales periódicas idénticas y de igual duración. La Figura 13 es el resultado de comparar dos señales completamente diferentes.

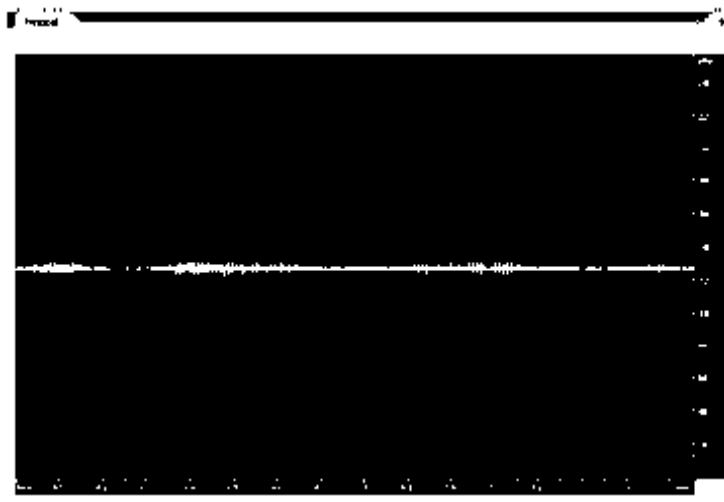


**Figura 12.** Comparación de dos Señales Periódicas e Idénticas

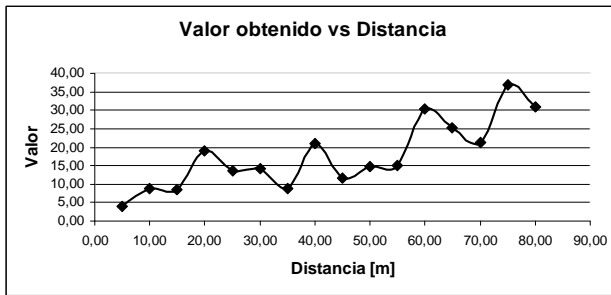


**Figura 13.** Comparación de dos Señales distintas en duración y contenido

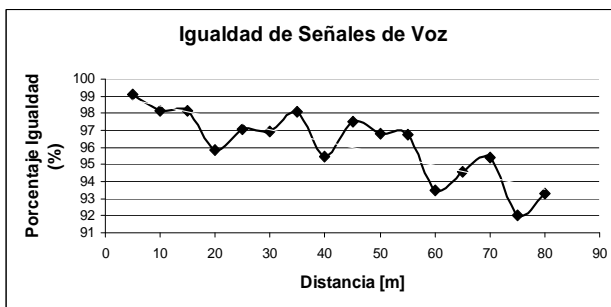
Utilizando una referencia obtenida de comparar la señal original con una señal completamente diferente se obtuvo que el valor entregado por el programa dtw.m será de 463.13 si existe complete desigualdad de señales y 0 si son idénticas. Así, los resultados obtenidos en la prueba de voz con línea de vista se presentan a continuación.



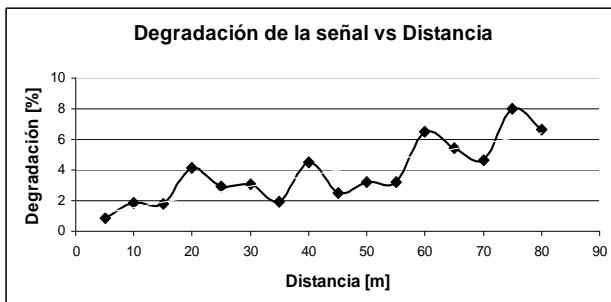
**Figura 14.** Señal de voz prueba.wav



**Figura 15.** Valores de no Coincidencia Obtenidos con dtw.m según la Variación de la Distancia



**Figura 16.** Similitud de las Señales con Respecto a la Señal Original vs. Distancia



**Figura 17.** Porcentaje de error vs. Distancia

La utilización de los dispositivos BT-1000 para la transmisión de voz mediante su aplicación Voice no presentó ningún problema considerando que dichos dispositivos pertenecen a clase 2, la cual establece dispositivos con radio efectivo de 10m como máximo, de tal forma y tomando en cuenta este parámetro la degradación de la voz a esta distancia entre nodos se mantuvo baja, llegando a una similitud del 98.12% entre la señal original y la recibida, cuya degradación no se percibe por el oído humano. La degradación más importante de la señal de voz ocurrió a partir de los 55m de separación entre nodos, aquí las muestras presentan un ruido más acentuado y fácilmente reconocible por el oído humano aunque todavía se puede entender el mensaje.

## CONCLUSIONES

En conexiones ACL establecidas para la transferencia de archivos (aplicación FTP) con el dispositivo BT-1000 se observa que cada 10m de aumento de distancia entre dos nodos el por-

centaje de error incrementa un 4.75% con línea de vista. Mientras que en conexiones ACL sin línea de vista el error aumenta al 6% aproximadamente cada 5m.

En conexiones ACL y SCO con línea de vista el enlace soporta un máximo de 80m entre nodos, mientras que conexiones ACL sin línea de vista esta distancia se reduce a  $\frac{1}{4}$  de la distancia que soportaría con línea de vista, es decir 20m.

En el enlace SCO establecido para la comunicación de voz entre dispositivos BT-1000 se observa una degradación del 0.77% con respecto a la señal original cada 10m de aumento entre los dos nodos. Aquí, la condición más apropiada para la transmisión de voz es manteniendo línea de vista entre antenas y operando a una distancia efectiva de separación máxima de hasta 55m entre nodos (96.75% de aceptación). A partir de esta distancia la degradación de la voz se acentúa y pese a que el audio todavía es entendible por el oído, existe mayor ruido en la señal y el mensaje se escucha con una voz más grave y distorsionada.

## REFERENCIAS

- [1] VARIOS AUTORES. February 22 2001. *Specifications of the Bluetooth System*, vol. 2, Version 1.1. Bluetooth SIG.
- [2] VARIOS AUTORES. 2003. *BT-1000 User Manual*. MAN&TEL CO. Korea.
- [3] DAN ELLIS, "Dynamic Time Warp (DTW) in Matlab", <http://labrosa.ee.columbia.edu/matlab/dtw/>.