

# Las ventajas del ancho de banda en la transmisión de la voz humana en el aire

José Antonio Peralta, Porfirio Reyes López

Departamento de Física, ESFM-IPN, Ciudad de México

Teléfono (55) 5729-6000 Ext. 55017 Fax (55) 5729-55015 E-mail: peraltaesfm@gmail.com

**Resumen** — En este trabajo se analiza el efecto de la transmisión de la voz humana en diferentes bandas, ya sea en las bandas modificadas por el medio, o las bandas que se filtran modificando los emisores. Se discuten las ventajas de que la legibilidad de los mensajes se conserve a pesar de los cambios en su espectro de potencias dada la variedad de situaciones en que la comunicación por medio de la voz se realiza.

**Palabras Clave** – voz humana, transmisión, espectro de potencia

**Abstract** — In this work, the effect of the transmission of the human voice in different bands is analyzed, either in the bands modified by the medium, or the bands that are filtered by modifying the transmitters. The advantages of preserving the readability of messages despite changes in their power spectrum are discussed, given the variety of situations in which voice communication is carried out.

**Keywords** — Human voice, transmission, power spectrum tables

## I. INTRODUCCIÓN

En general los medios de comunicación de la voz humana mediante ondas electromagnéticas usan una frecuencia portadora de muy alto valor, del orden de los MHz [1, 2]; esa frecuencia está muy fuera del rango de la voz humana que va de los 20 Hz a los 20000 Hz [3, 4, 5,6], lo que los ingenieros en comunicación hacen es montar sobre esas altas frecuencias las señales de la voz humana, que de esta manera modulan la amplitud de la onda portadora. Finalmente, en el receptor, se elimina la onda portadora y solo resta la banda de la audición y del habla. La razón de este procedimiento de montar sobre una onda portadora de alta frecuencia a la onda sonora es que esta onda tiene mayor alcance y puede, de hecho, reflejarse en la zona de la ionósfera [5] superando así los obstáculos que pueden existir entre el emisor y el receptor, tal como cerros y montañas.

Si bien el uso de una frecuencia portadora permite la comunicación a grandes distancias, tiene el inconveniente de que, si los aparatos receptores no están sintonizados en esta frecuencia para que puedan entrar en resonancia, la información no puede ser captada. A diferencia de ello, la voz y la audición humana, cuando se transmiten o se perciben

en el aire, tienen una banda de frecuencias muy amplia, y una de las ventajas de este amplio ancho de banda es que la información se puede repartir en sub-bandas. Esto es esencial para la comunicación humana, ya que los mensajes, ya sea que se hable o se escuche, se emiten o reciben diferentes situaciones, lo que podríamos llamar “condiciones de frontera, y estas diferentes condiciones modifican en forma muy notable el espectro de frecuencias del lenguaje. Se puede hablar y escuchar a campo abierto, o en recintos cerrados, amplios o muy estrechos. Se puede hablar o escuchar dentro de túneles. Se puede incluso dar el hecho de una comunicación hablada cuando los individuos están separados por paredes, etc. En todas estas situaciones el espectro de frecuencias se modifica, y pese a ello, en general, la comunicación se realiza.

En este trabajo se escuchará la transmisión del habla en diferentes bandas de comunicación, observando cómo se modifican los patrones de frecuencia en función del medio, y, al mismo tiempo, se comprobará si el mensaje básico se conserva, pero también cómo se modifican sensiblemente los timbres de la voz. Esta modificación del timbre tiene efectos colaterales sobre el significado del mensaje [2]; en efecto, la señal sonora no solo porta una información básica sino también el estado emocional del emisor, el cual, por ejemplo, puede ser amoroso, afectuoso, con ira, con tristeza, etc. Si la señal sonora cargada de todas estas emociones no se transmite a través de un ancho de banda adecuada, la señal puede empobrecerse desde este punto de vista, pese a transmitir el mensaje básico.

## II. METODOLOGÍA

### EXPERIMENTAL

Como micrófono se utilizó un sonómetro configurado para registrar intensidades sonoras desde 60 dBA hasta 120 dBA. El sonómetro se conectó, luego de que la señal analógica se digitalizó, a una computadora que registró y procesó las señales con un programa de LabVIEW. La frecuencia de muestreo fue de 20 000 muestras/s, y el número de muestras capturado fue de 250 000 muestras. El programa es sumamente versátil y permite: a) visualizar la señal en modo osciloscopio, b) hacer un análisis de Fourier en diferentes bandas definidas por dos cursores; c) realizar análisis de potencia espectral; d) analizar la forma como se

modifican las señales sonoras en base a la selección de las bandas de análisis; y d) escuchar el sonido para percibir los efectos resultantes de los procedimientos de filtrado. La frase que se analizó es:

*“Este es un registro de los patrones de frecuencia de la voz humana, así como de la modificación del timbre en función del medio”*

### III. RESULTADOS

#### *Importancia de las altas frecuencias en la voz humana*

Si se observa en la figura 1 el patrón de frecuencias de la frase seleccionada, son las frecuencias bajas de 0-1000 Hz las que contienen la mayor amplitud, por tanto, da la impresión de que estas bandas son las que deberían dar a la frase su mayor expresividad, tanto en lo concerniente al contenido básico del mensaje como a su calidad melódica; sin embargo, cuando el ancho de banda se extiende de la banda de 0-1000 Hz, a la banda de 0-6000 Hz, se percibe que la calidad expresiva de la voz mejora sensiblemente. Esto sorprende ya que en apariencia la amplitud de las frecuencias que van de 1000 Hz a 6000 Hz es muy baja y engañosamente se piensa que esas frecuencias no deberían contribuir sensiblemente a darle calidad expresiva a la voz humana. Sin embargo, al analizar la señal sonora con las técnicas de la potencia espectral resulta que son a las altas frecuencias a las que corresponde la mayor energía tal como se observa en la figura 2.

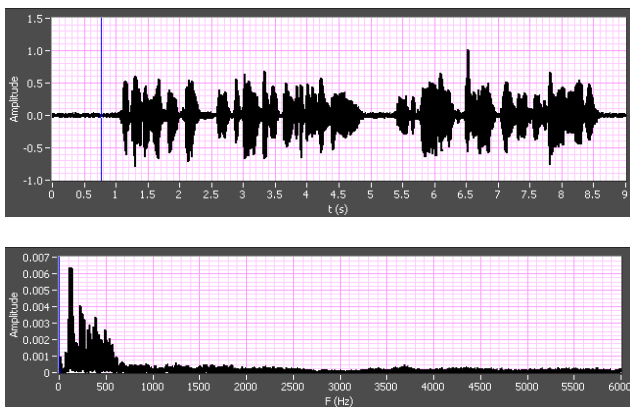


Figura 1. Frase original y análisis de Fourier

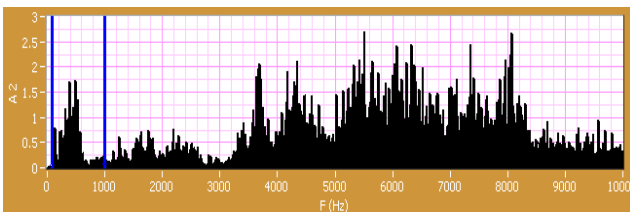


Figura 2. La potencia espectral para frecuencias mayores a los 1000 Hz.

Este resultado indica que para fines de comparación las variaciones más notables están en las altas frecuencias, y que es en ella en donde hay que prestar especial atención.

### IV. EFECTOS DEL MEDIO SOBRE LOS PATRONES DE FRECUENCIA Y EN EL ESPECTRO DE POTENCIAS

#### EXPERIMENTAL

Como se ha señalado, una de las virtudes de la comunicación entre individuos humanos es que la voz y la audición pueden ocurrir en diferentes circunstancias físicas, y que si bien se modifica el timbre de la voz lo esencial del mensaje se sigue percibiendo con claridad. En este apartado se analizarán los efectos del medio, o, más precisamente, de las condiciones de frontera en las que se genera la voz, para percibir los cambios en el timbre del mensaje sonoro (ver figuras 3,4,5 y 6).

En forma sucesiva se presenta: 1) la frase emitida a través de las palmas de las manos paralelas formando un cuenco. 2) la frase emitida a través de un tubo de 7 cm de diámetro por 30 cm de largo, y 3) la frase emitida dentro de un cubo de madera de 35 cm de lado.

#### 1. FRASE EMITIDA ENTRE LA ABERTURA DE LAS PALMAS DE LAS MANOS

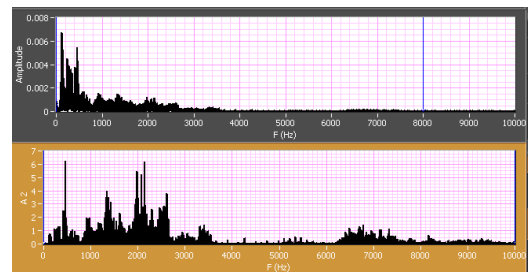


Figura 3. Espectro de Fourier y de potencias para el caso 1

#### 2. FRASE EMITIDA A TRAVÉS DE UN TUBO

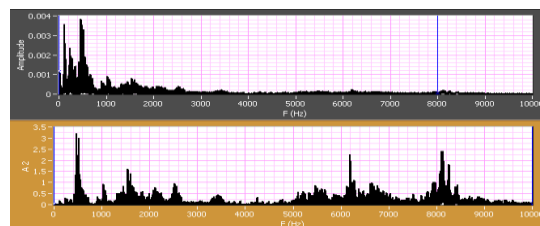


Figura 5. Espectro de Fourier y espectral para el caso 2.

#### 3. FRASE EMITIDA DENTRO DE UNA CAJA DE MADERA

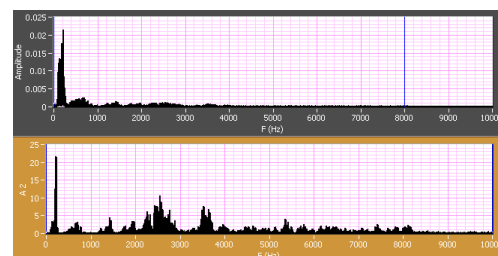


Figura 6. Espectro de Fourier y espectral para el caso 3

## V. RESULTADOS CON VOZ EMITIDA ENTRE LAS PALMAS DE LA MANO, TUBOS Y CAJAS CERRADAS

Lo que claramente se observa es que sobre todo las alteraciones sobre la banda del espectro de potencias para las altas frecuencias son drásticas: 1) que la potencia disminuye en las altas frecuencias cuando se habla entre la palma de las manos. 2) que si se habla a través de un tubo sobre todo se escuchan las frecuencias bajas. 3) que dentro de una caja de madera la voz resalta las frecuencias bajas y disminuye sensiblemente las frecuencias altas.

Pese a estas notables alteraciones el mensaje original sigue siendo legible.

## VI. LOS EFECTOS DEL FILTRADO CON BANDAS

Un tema de interés es analizar los efectos del filtrado aplicado mediante el programa que se ha utilizado y analizar los efectos sobre el entendimiento de la frase original. Para ello se han utilizado las bandas de 200-500 Hz, la de 60 a 1000 Hz, y la de 1000 a 8000 Hz. En las figuras 7, 8 y 9, se muestran los resultados.

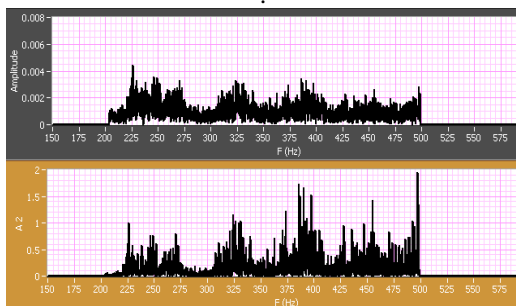


Figura 7. Filtro pasa bandas de 200 a 500 Hz.

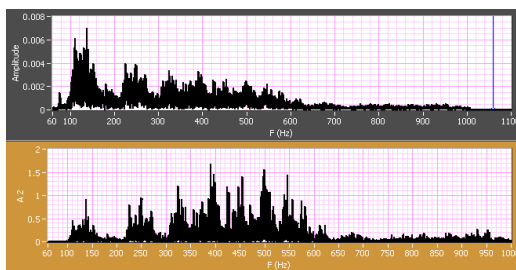


Figura 8. Figura 10. Filtro pasa bandas de 60 a 1000 Hz

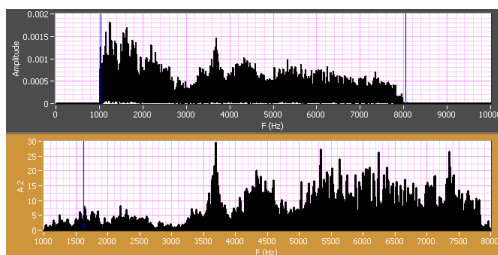


Figura 9. Filtro pasa bandas de 1000 Hz a 8000 Hz

El efecto del filtrado muestra que el papel de las diferentes bandas es imprimir al sonido la calidad que bien podríamos llamar melódica o musical de los timbres de la voz humana. Estos timbres es posible que tengan una función definida en la eficacia de la comunicación.

Las bandas de frecuencia baja (60-200 Hz) pierden la legibilidad de la frase, pero, en cambio, destacan de la frase sus ritmos. Las bandas intermedias (60-1000 Hz) vuelven al mensaje inteligible, pero lo despojan de su calidad melódica, es decir, se quedan solamente con el sentido más inmediato del significado. Las bandas de alta frecuencia, alteran drásticamente el timbre, de hecho lo pueden volver desagradable como si la voz se escuchara a través de un teléfono, pero el significado de la frase original es sumamente legible.

## VII. DISCUSIÓN

El análisis aquí desarrollado muestra que los efectos de la variación de las frecuencias que componen el espectro de Fourier, se refleja mucho mejor en los análisis de potencia espectral. Estos análisis muestran que al contrario de lo que puede mostrar un simple análisis de Fourier, que puede inducir a suponer que las altas frecuencias tienen solo una baja energía residual, al elevarse su amplitud al cuadrado, y al ser multiplicadas por la frecuencia, su potencia espectral se eleva sensiblemente, incluso por encima de las bandas de frecuencia que pertenecen a las bandas que usualmente se adjudican como propias de la voz humana (300-3000 Hz). De hecho, se pueden prescindir de estas bandas y escuchar solamente las bandas que van de 1000 a 8000 Hz, y si bien el timbre es desagradable su legibilidad es casi perfecta.

## VIII. CONCLUSIONES

a) Se ha verificado que los patrones de frecuencia espectral y los espectros de potencia se modifican en función del medio en que se emite o se escucha la voz humana; b) que pese a ello a pesar de las modificaciones, sobre todo en el espectro de potencias, los mensajes conservan su inteligibilidad en muchas situaciones, c) que el papel de las altas frecuencias es más importante de lo que se suele reconocer, d) que es una ventaja, que podríamos calificar de ventaja evolutiva, que los mensajes de la voz humana se entiendan a pesar de los diferentes medios en que habitualmente se mueven los individuos que hablan o que escuchan, esto es, que la comunicación se puede dar en diferentes bandas, y esto a diferencia de los sistemas de comunicación artificiales que son muy selectivos de acuerdo a la frecuencia portadora.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la COFAA el apoyo dado para la realización de este estudio.

## REFERENCIAS

- [1] [http://esero.es/practic-as-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/ondas\\_de\\_radio.html](http://esero.es/practic-as-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/ondas_de_radio.html) (consultado el 28 de abril de 2022)
- [2] [http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro\\_e.asp](http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro_e.asp) (consultado el 28 de abril de 2022)
- [3] Alfred Tomatis, El oído y el lenguaje, Ed. Orbis S.A., 1986
- [4] A. R. Luria, El cerebro en acción, E. Orbis S.A., 1974
- [5] A. R. Luria, El papel del lenguaje en el desarrollo de la conducta, Ed. Cartago, 1984
- [6] F. Winckel, Music, sound and sensation, Ed. Dover, 1967