

## COMPARACIÓN ACÚSTICA ENTRE MUESTRAS BUENAS Y DEFICIENTES DE VIBRATO EN CANTANTES

REFERENCIA PACS: 43.75.Rs

José A. Díaz <sup>1</sup>; Howard B. Rothman <sup>2</sup>

1 Escuela de Ing. Eléctrica, Oficina # 26. Universidad de Carabobo (Venezuela)

Bárbula, Carabobo, CP 2005, Venezuela

Tel: 58 416 67 829

Fax: 58 416 67 829

E-Mail: jadiaz@thor.uc.edu.ve

2 Universidad de Florida (USA)

339 Dauer Hall

Gainesville, Florida, CP 32611, USA

Tel: 1 352 3 922 113

Fax: 1 352 8 460 243

E-Mail: hrothman@csd.ufl.edu

### ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze frequency vibrato samples from 8 different singers, which have been classified as examples of good or poor singing. Several parameters which measure the symmetry of the samples were investigated in order to verify or reject the hypothesis that the best samples are the most symmetric ones. Ten samples per singer were analyzed, five good and five poor, for a total of 80 samples.

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el de analizar muestras de vibrato en frecuencia de ocho cantantes, las cuales han sido clasificadas como buenas o deficientes. Varios de los parámetros que indican la simetría de las muestras son comparados, a fin de verificar o rechazar la hipótesis de que las mejores muestras son las más simétricas. Diez muestras son analizadas por cada cantante, cinco buenas y cinco deficientes, para un total de 80 muestras.

### INTRODUCCIÓN

Para determinar la calidad de una muestra de vibrato, esta es escuchada por expertos en la materia, analizada, y son emitidos juicios respecto a la calidad de la misma<sup>1</sup>. Este es un proceso subjetivo. Sin embargo, existe consenso entre los expertos. La mayoría de los expertos en vibrato están de acuerdo en que un vibrato es de mejor calidad en la medida en que sea más simétrico, es decir, si su frecuencia y extensión tienden a ser constantes en el tiempo<sup>2</sup>.

El objetivo del presente trabajo es el de estudiar detalladamente las características de simetría de la onda de vibrato, para comprobar o rechazar la hipótesis de que las mejores muestras son las más simétricas. Para poder cumplir este objetivo se hará uso de técnicas de procesamiento de señales y software para extraer algunos de los parámetros que miden la simetría del vibrato, y luego analizarlos. También se espera identificar los parámetros que determinan la calidad del

vibrato. Este es un trabajo novedoso ya que no se conoce de otro estudio similar realizado a vibrato en cantantes o en instrumentos musicales, en el cual se analice la frecuencia instantánea y la extensión instantánea de muestras buenas y deficientes a una resolución como esta (80,58 muestras por segundo), ni utilizando las mismas técnicas<sup>3-9</sup>.

## SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Para realizar este estudio se seleccionaron ocho cantantes de una base de datos que contiene muestras de vibrato de diferentes cantantes, la cual es mantenida en el departamento de Ciencias y Desordenes de la Comunicación en la Universidad de Florida. Las muestras de los ocho cantantes fueron escuchadas y analizadas por cuatro personas con experiencia en el área musical y fueron clasificadas por cada individuo como buenas o deficientes.

Los resultados producidos por cada juez fueron observados y se seleccionaron las muestras en las cuales los cuatro jueces coincidieron en los resultados, es decir, las muestras que fueron juzgadas buenas o deficientes por los cuatro jueces. De estas muestras, se seleccionaron 5 muestras de buen vibrato y cinco de vibrato deficiente por cada cantante, para un total de 80 muestras. Todas estas muestras de vibrato tienen una longitud mayor de 1,5 seg, y no poseen cambio de altura (“pitch”), o en la vocal cantada.

## ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS Y RESULTADOS

Para analizar las muestras se seleccionó el software MMSV<sup>1</sup> (Modelo Matemático del Vibrato en Cantantes), el cual fue desarrollado por uno de los autores para el análisis de vibrato. Primero, el software genera un espectrograma de la muestra (ver figura 1), del cual se extrae la onda de vibrato. El usuario puede seleccionar el armónico del cual se extraerá el vibrato. La figura 2 muestra el vibrato en frecuencia extraído del sexto armónico de la figura 1.

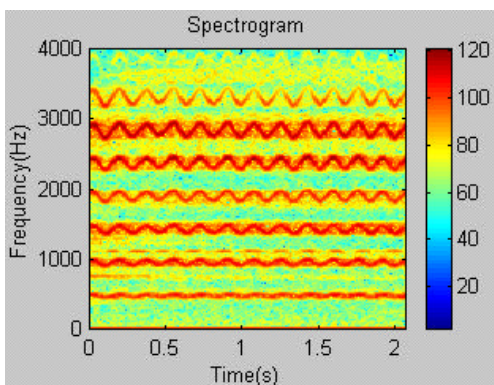


Figura 1. Espectrograma.

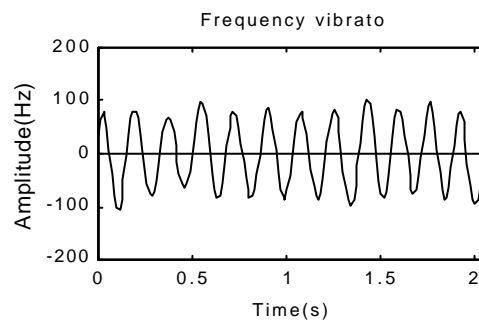


Figura 2. Ejemplo de vibrato en frecuencia.

Luego el software utiliza el método LPC (“Linear Prediction Coding”) para generar las curvas de frecuencia y extensión instantánea del vibrato en frecuencia. Las figuras 3 y 4 muestran las curvas de frecuencia y extensión instantánea para la onda de la figura 2. La ventaja en la utilización de este software con respecto a métodos usados en otros análisis está principalmente en la resolución (número de muestras por segundo), que en el caso de las figuras 3 y 4 es de 80.58 muestras por segundo, esto permite analizar en detalle las características de extensión y frecuencia del vibrato en frecuencia y llegar a nuevas conclusiones.

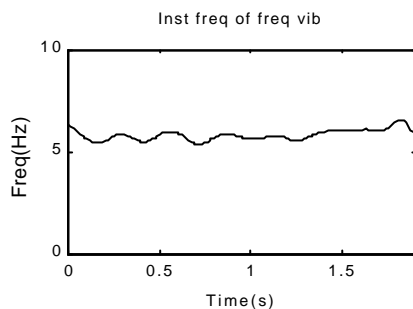


Figura 3. Frecuencia instantánea del vibrato en frecuencia.

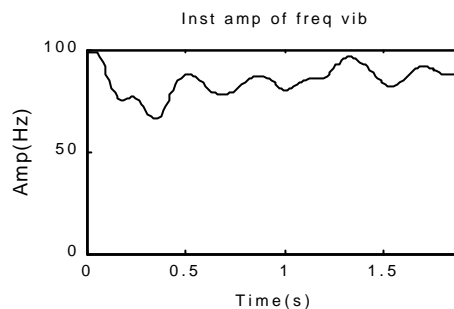


Figura 4. Extensión instantánea del vibrato en frecuencia.

Si el vibrato en frecuencia fuera una onda senoidal pura, las curvas de las figuras 3 y 4 serían líneas rectas, ya que la extensión y la frecuencia de una onda senoidal son constantes. Por lo tanto, en la medida en que las figuras 3 y 4 se aproximen más a una línea recta, más simétrico es el vibrato, y las variaciones con respecto a una línea recta indican el grado en que el vibrato es simétrico.

Por lo tanto, para medir la simetría del vibrato se seleccionaron cuatro parámetros que miden las variaciones de las curvas de las figuras 3 y 4 con respecto a una línea recta. Estos son:

1. Frecuencia máxima menos frecuencia mínima (desviación total de frecuencia).
2. Desviación standard de la frecuencia instantánea alrededor del valor medio.
3. Extensión máxima menos extensión mínima (desviación total de extensión).
4. Desviación standard de la extensión instantánea alrededor del valor medio.

Los cuatro parámetros mencionados anteriormente se calcularon en forma porcentual ya que esto permite hacer una comparación entre diferentes muestras y diferentes cantantes. Las ochenta muestras correspondientes a los ocho cantantes fueron analizadas con el software MMSV para generar las curvas de frecuencia instantánea y extensión instantánea de cada una de ellas (ver figuras 3 y 4). Luego se generaron los valores de las cuatro variables mencionadas arriba mediante un programa desarrollado en Matlab, el cual también almacena las variables en disco en un formato que puede ser leído en Excel, para luego analizar los datos.

Las tablas 1 a la 8 muestran los resultados de las cuatro variables bajo análisis para los ocho cantantes. El nombre de las variables aparece indicado en la primera columna de estas tablas. Las columnas 2 y 3 muestran los valores promedios obtenidos para las muestras buenas y las deficientes. La columna 4 muestra el valor de p (nivel de importancia) obtenido al realizar un análisis de varianza<sup>10</sup> (ANOVA) a las muestras de un cantante, donde las muestras se han separado en dos grupos (muestras buenas y deficientes), la hipótesis nula del ANOVA es que las medias son iguales, y la hipótesis alternativa es que las dos medias son diferentes. El valor de  $\alpha$  (probabilidad de cometer un error de tipo 1) utilizado en todo este manuscrito es de 0,10, por lo tanto, valores de p mayores que éste indican que el resultado no es significativo, valores de p menores que 0,1 indican que el resultado es significativo, es decir, las medias de las muestras buenas y deficientes son diferentes. La quinta columna indica si el resultado es significativo.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std freq inst	4.1672	5.388	0.069099	Si
Dev tot freq inst	19.48266	25.12942	0.103744	No
Dev std ext inst	6.7132	7.9686	0.41245	No
Dev tot ext inst	49.85025	56.05383	0.574902	No

Tabla 1. Resultados para el cantante 1.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	5.2718	5.438	0.833826	No
Dev tot frec inst	23.07027	26.39093	0.442698	No
Dev std ext inst	5.4446	13.8324	0.006134	Si
Dev tot ext inst	38.4382	100.0234	0.003366	Si

Tabla 2. Resultados para el cantante 2.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	6.6054	10.4638	0.126346	No
Dev tot frec inst	30.66759	48.50149	0.115722	No
Dev std ext inst	7.555	13.9394	0.018553	Si
Dev tot ext inst	56.5322	103.4366	0.013903	Si

Tabla 3. Resultados para el cantante 3.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	4.5234	5.2498	0.558578	No
Dev tot frec inst	21.00638	23.78328	0.64838	No
Dev std ext inst	9.1682	11.8154	0.157218	No
Dev tot ext inst	68.10582	89.01863	0.158102	No

Tabla 4. Resultados para el cantante 4.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	3.3768	4.3642	0.093181	Si
Dev tot frec inst	15.50761	21.98027	0.088691	Si
Dev std ext inst	4.5994	6.3954	0.023399	Si
Dev tot ext inst	37.0789	47.01511	0.128376	No

Tabla 5. Resultados para el cantante 5.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	3.1004	4.3288	0.195265	No
Dev tot frec inst	14.52671	19.16041	0.333575	No
Dev std ext inst	6.2266	10.4394	0.052548	Si
Dev tot ext inst	48.69182	71.93773	0.099067	Si

Tabla 6. Resultados para el cantante 6.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	7.1548	7.471	0.860532	No
Dev tot frec inst	33.52693	32.18296	0.868687	No
Dev std ext inst	6.5218	10.9056	0.033979	Si
Dev tot ext inst	46.75865	78.79748	0.034191	Si

Tabla 7. Resultados para el cantante 7.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	4.1346	4.6404	0.709904	No
Dev tot frec inst	17.21066	29.39715	0.345165	No
Dev std ext inst	6.4406	7.2862	0.454466	No
Dev tot ext inst	44.56048	55.2096	0.225085	No

Tabla 8. Resultados para el cantante 8.

En las tablas 1 a la 8 podemos ver que las desviaciones standard de la frecuencia instantánea y la extensión instantánea son siempre mayores para las muestras deficientes que para las buenas, la desviación total de frecuencia es mayor en las muestras deficientes en 7 de los 8 cantantes, solo el cantante 7 no cumple esta condición, y la desviación total de extensión es siempre mayor en las muestras deficientes que en las buenas.

En 6 de los 8 cantantes se encontraron resultados significativos, es decir, el análisis estadístico muestra que las muestras deficientes tienen una asimetría mayor que la de las muestras buenas en seis cantantes de los ocho. Solo en los cantantes 4 y 8 no se encontraron resultados significativos. Estos resultados apoyan la hipótesis de que las mejores muestras son las más simétricas.

Al comparar las desviaciones standard contra las desviaciones totales se observa que en las primeras se obtuvieron resultados significativos en 6 de los 8 cantantes, mientras que en las segundas se obtuvieron resultados significativos en 5 de los 8 cantantes. Esto nos indica que ambos variables proporcionan información de la calidad del vibrato.

Al observar la desviación standard y la desviación total de la frecuencia instantánea se aprecian resultados significativos en 2 de los 8 cantantes, a diferencia de la desviación standard y la desviación total de la extensión instantánea en la que se aprecian resultados significativos en 5 de los 8 cantantes. Esto quiere decir que las variaciones observadas se manifiestan principalmente como variaciones de extensión más que variaciones de frecuencia, posiblemente debido a una mayor dificultad de los cantantes para controlar la extensión que la frecuencia.

El análisis de la desviación standard de la frecuencia instantánea produjo resultados significativos en 2 cantantes de los 8, mientras que el análisis de la desviación standard de la extensión instantánea produjo resultados significativos en 5 cantantes de los 8. Se observaron resultados significativos de la desviación total de la frecuencia instantánea en 1 caso de los 8 bajo análisis, mientras que se observaron resultados significativos de la desviación total de la extensión instantánea en 4 de los 8 casos, es decir, el mayor número de resultados significativos se halló en la desviación standard de la extensión instantánea (5 de 8 casos), indicando así que esta puede ser la variable que mide en un mayor grado la calidad del vibrato.

La tabla 9 muestra un resumen de los resultados de un análisis de comparación entre muestras buenas y deficientes para los ocho cantantes. La primera columna muestra las variables bajo estudio. Las columnas 2 y 3 muestran los resultados promedio para las muestras buenas y las deficientes. La cuarta columna indica el valor de p obtenido al aplicar un análisis de varianza (ANOVA) a los dos grupos bajo estudio (muestras buenas y deficientes), con un valor de  $\alpha$  de 0,10. La última columna indica si el resultado es significativo.

	Prom Mues Bue	Prom Mues Def	Valor de p	Significat
Dev std frec inst	4.7918	5.918	0.231838	No
Dev tot frec inst	21.87485	28.31574	0.134214	No
Dev std ext inst	6.583675	10.3228	0.005095	Si
Dev tot ext inst	48.75204	75.18655	0.006788	Si

Tabla 9. Comparación entre todas las muestras buenas y deficientes.

De la tabla 9 podemos observar que los valores de las cuatro variables es siempre menor en las muestras buenas que en las deficientes. Esto concuerda con los resultados obtenidos en el estudio de los cantantes individuales, en los que las muestras deficientes presentaron mayor asimetría. Se observaron resultados significativos para la desviación standard y la desviación total de la extensión instantánea, mientras que no se obtuvieron resultados significativos para la desviación standard y la desviación total de la frecuencia instantánea. Esto quiere decir que los cambios observados se manifiestan principalmente como cambios en la extensión instantánea, sin embargo, no debe olvidarse que también se observaron dos casos (cantantes 1 y 5) en que se

obtuvieron resultados significativos en el análisis de la frecuencia instantánea. Estos resultados nos confirman una relación directa entre la simetría del vibrato y su calidad, a mayor simetría mejor es la calidad del vibrato.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que las muestras más simétricas son juzgadas como muestras buenas, observándose resultados significativos en las cuatro variables bajo estudio (desviación standard y desviación total de la frecuencia instantánea, y desviación standard y desviación total de la extensión instantánea).

La mayoría de los resultados significativos se observaron como cambios de extensión (5 de los 8 casos estudiados), mientras que en el análisis de frecuencia se observaron resultados significativos en 2 de 8 casos, indicando probablemente una mayor dificultad de los cantantes para controlar la extensión que la frecuencia del vibrato.

Al comparar las desviaciones standard contra las desviaciones totales, se observan resultados significativos en ambas variables (6 casos de 8, y 5 casos de 8 respectivamente), lo que nos indica que ambas variables proporcionan información de la calidad del vibrato.

El análisis del total de muestras revela resultados similares al análisis de muestras de cada cantante. En el análisis del total de muestras se observaron resultados significativos en el análisis de extensión, no así en el análisis de la frecuencia.

## REFERENCIAS

- 1 Díaz, J. A., Modelo Matemático del Vibrato en Cantantes Basado en el Análisis de la Forma de Onda, Universidad de Florida, Gainesville, Florida, Agosto 1998.
- 2 Sundberg, J., La Ciencia de la Voz Cantada, Northern Illinois University Press, Dekalb, Illinois, 1987.
- 3 DeJonckere, P. H., Minoru, H., y Sundberg, J., Vibrato, Singular Publishing Group, Inc., San Diego, California, 1995.
- 4 Prame, E., Medición de la Frecuencia del Vibrato en Diez Cantantes, *Revista de la Sociedad Acústica de América*, p. 1979-1984, Octubre 1994.
- 5 Horii, Y., Características de Modulación en Frecuencia de la /a/ Sostenida en Vibrato Cantado, *Revista de Investigación en Voz y Oído*, p. 1-8, Diciembre 1989.
- 6 Maher, R., y Beauchamp, J., Investigación de Vibrato Cantado para Síntesis, *Acústica Aplicada*, p. 219-245, 1990.
- 7 Sundberg, J., Aspectos Acústicos y Psicoacústicos del Vibrato Cantado, *Reporte de Estado y Progreso Trimestral del Laboratorio de Transmisión de Voz KTH*, p. 45-48, Octubre 1994.
- 8 Titze, I. R., Síntesis de Vocales Cantadas Usando un Modelo en el Dominio del Tiempo, *Transcripción del 11avo. Simposio: Cuidado de la Voz Profesional*, p. 90-98, 1983.
- 9 Mellody, M., y Wakefield, G., Características Tiempo-Frecuencia del Vibrato en el Violín: Análisis y Síntesis por Distribución Modal, *Revista de la Sociedad Acústica de América*, p. 598-611, Enero 2000.
- 10 Ott, R. L., Introducción a los Métodos Estadísticos y de Análisis de Datos, Duxbury Press, Belmont, California, 1993.