

FISIOLOGÍA DE LA FONACIÓN Y DE LOS RESONADORES:

En este capítulo vamos a centrarnos en cómo se produce la voz, que estructuras intervienen en la producción de la misma y las cualidades que ésta va adquiriendo hasta salir por nuestra boca.

En la producción de la voz intervienen 3 niveles:

- **Aparato respiratorio**, que proporciona el fuelle aéreo. Dota a la voz de la cualidad de la *intensidad*
- **La región glótica**, que convierte la energía aérea en energía sonora. Dota a nuestra voz de la cualidad del *tono*.
- **La región supraglótica**, que ejerce de filtro del anterior y a la vez de caja de resonancia. Dota a nuestra voz con la cualidad del *timbre*.

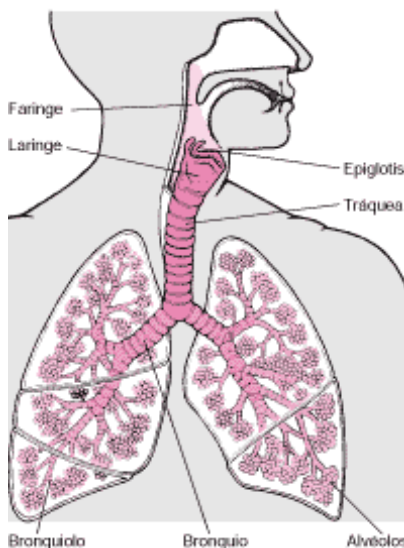


Fig.1 extraída de:

http://www.msds.es/publicaciones/mmerck_hogar/seccion_04/seccion_04_031.html

1) APARATO RESPIRATORIO:

Constituido por el árbol traqueo-bronquial y los pulmones. A él llega el aire procedente del exterior al formarse una presión negativa en la cavidad torácica, como resultado de la contracción de los músculos inspiratorios:

- Diafragma. (inervado por frénico).
- Intercostales externos y medios. (inervado por n.raquídeos D1-D12).
- Escalenos. (inervado n.raquídeos cervicales).
- ECM. (inervado por espinal).
- Serratos.

Y sale, favorecido por la recuperación elástica de los pulmones y de la caja torácica que tiende a llevar estas estructuras a su estado de reposo Fig .2. El diafragma recupera su posición de forma pasiva. De esta forma pasiva sale la mayoría del aire inspirado, pero sigue quedando parte de ese aire que lo podemos expulsar de manera activa con la participación de los músculos espiratorios:

- * Intercostales internos.
- * Músculos abdominales. (Oblicuo menor, mayor, recto anterior y dorsal ancho).

Y además lo hacen por este orden.

La característica fundamental de esta región es que dota a nuestra voz de la cualidad de la **INTENSIDAD**, aunque dicha cualidad también está sujeta a la región supraglótica y en parte a la fuerza de cierre de la región glótica, que indirectamente conlleva a un aumento de la presión subglótica favorecido por mayor compresión de la musculatura respiratoria, que acaba traduciéndose en mayor amplitud de la onda mucosa siempre que mantengamos la misma frecuencia fundamental.

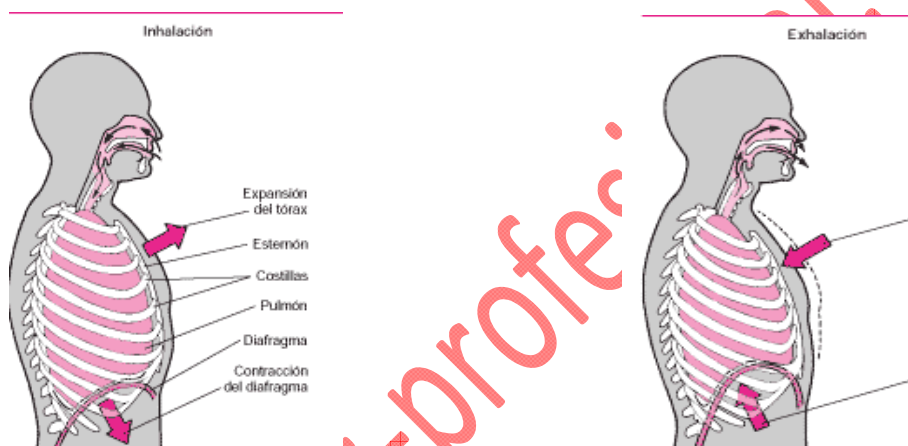


Fig 2. A. En Inspiración desciende diafragma y se expande torax por contracción muscular de diafragma e intercostales externos y medios. B. En espiración el torax recupera su posición por relajación de los musculos inspiratorios (diafragma e intercostales).
Extraída de : http://www.msd.es/publicaciones/mmerck_hogar/seccion_04/seccion_04_031.html

2) REGION GLÓTICA:

Es el elemento fundamental en la producción sonora, está constituido por las cuerdas vocales (ccvv), Fig 3., que están insertas en el interior de la laringe. Es la región que proporciona la cualidad del **TONO** a nuestra voz.

Son muchos los músculos, ligamentos, cartílagos...., que intervienen para establecer un control fino de la emisión sonora y que luego explicaremos, pero vamos a centrarnos primero en la microestructura de la cuerda vocal (cv).

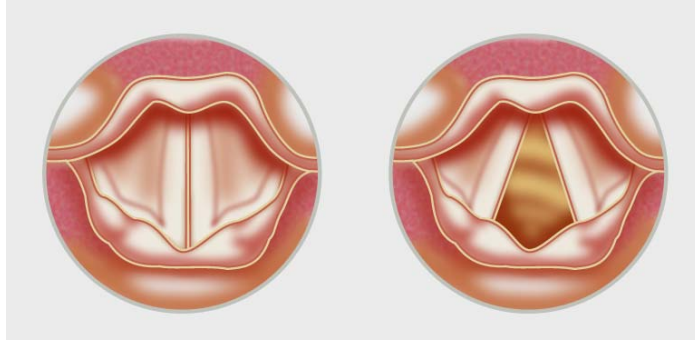


Fig.3. A) glotis en fonación. B). glotis en respiración. Extraída de: <http://acerverailustrador.wordpress.com/2012/08/21/cuerdas-vocales/> (Autor Alejandro Cervera)

La cv consta de dos capas:

- 1) Capa superficial.
- 2) Capa profunda.

CAPA SUPERFICIAL.

Consta a su vez de dos capas:

- 1) Mucosa: que es un epitelio escamoso pseudo estratificado.
- 2) Submucosa o lámina propia: que engloba al espacio de Reinke, Fibras elásticas y fibras colágenas.
 - 1) La mucosa se caracteriza porque no tiene glándulas y por tanto la lubricación de las ccvv procede de las regiones superiores e inferiores que presenta una mucosa de tipo respiratorio con presencia de glándulas acinosas. (se han descrito microcrestas en el borde del epitelio cordal que favorecen la distribución del moco)
 - 2) En la lámina propia, la porción superficial equivale al espacio de Reinke (compuesta por escasas fibras de elastina sumergidas en una sustancia fundamental con pocos fibroblastos, sólo está presente en tercio medio, no en anterior ni posterior), que es una sustancia laxa, amorfa y de gran importancia ya que es la que permite el deslizamiento de la mucosa sobre el ligamento vocal, por lo que patologías a este nivel como el edema, pueden provocar alteraciones en la vibración. Sólo está presente en el tercio medio de la cv. La capa intermedia formada por las fibras elásticas y la capa profunda de la submucosa por fibras colágenas conforman el llamado ligamento vocal, que lleva una distribución paralela al músculo vocal.(al igual que los vasos que la irrigan) Una característica importante del ligamento lo conforman unos engrosamientos, uno anterior y otro posterior denominados mácula flava anterior y posterior y cuya función es de sistema de almohadillado que amortigua la vibración, y protege así de un gran número de lesiones. (las máculas: sustancia compuesta por estroma fibroblastos y fibras elásticas.)

CAPA PROFUNDA.

Está formada por el fascículo interno del músculo tiroaritenoides, que va desde el ángulo anterior de cartílago tiroides hasta la apófisis vocal del aritenoides. (es un músculo esquelético tipo IIa, cuya característica es que se contrae con rapidez y conservan la resistencia del tipo I, que se contraen con más lentitud pero muy resistentes. Las del tipo IIb son de contracción muy rápida pero poca resistencia.). Aunque realmente el músculo vocal tiene dos grupos de fibras, el compartimento interno o vocal, tiene mayor cantidad de fibras musculares lentas, en tanto que el compartimento externo o tiroaritenoides lateral tiene más cantidad de fibras rápidas, razón por la que parece que éste último interviene más en la aducción mientras que el compartimento interno lo hace preferentemente en el control de la tensión muscular en la fonación.

Pensemos que la cv es un brazo con su camisa, la camisa sería la mucosa de la cv, que es la región más móvil. Entre la camisa y la piel quedaría un espacio que estaría lleno de una sustancia resbaladiza y que equivaldría al espacio de Reinke, y una vez llegado al brazo iríamos teniendo capas cada vez más rígidas conforme avanzamos hacia el interior del brazo, así tendríamos la piel, la musculatura y el hueso. De igual manera ocurre en la cv, a partir del espacio de Reinke nos encontraríamos con una capa de fibras elásticas, luego una de fibras colágenas y por último la capa muscular y que por tanto irían de mayor a menor plasticidad y de una menor a una mayor rigidez.(los coeficientes de rigidez son: **cubierta** 1; **transición** 8; **cuerpo** 10, donde *cubierta* engloba mucosa y espacio de reinke, *transición* engloba al ligamento vocal y *cuerpo* que hace referencia al músculo.) Fig 4.

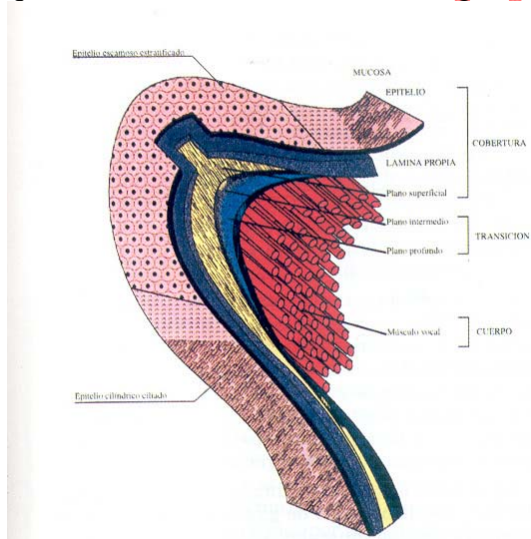


Fig 4. Representación de las capas de la cuerda vocal. Gráfico extraído de la ponencia oficial de la SEORL 1996.

1) REGION SUPRAGLOTICA:

Constituida por la región buco-faríngeo-laríngeo, fosas nasales y senos paranasales. Su función principal es la de filtro del sonido glótico, enriqueciéndolo al favorecer la acumulación de energía en alguno de los armónicos que se están produciendo a nivel glótico, y dando lugar a lo que se conoce como formantes.

Es esta región, gracias a lo anteriormente dicho, la que confiere la cualidad del TIMBRE a nuestra voz, y por tanto la responsable de nuestra carta de presentación y de que podamos reconocer a una persona por su voz sin necesidad de verle la cara. Colaborando también como comentamos anteriormente en menor medida en la INTENSIDAD, esta aportación de la región supraglótica es más palpable en cantantes profesionales fundamentalmente líricos, por el gran uso que hacen de las cavidades resonanciales, que además de implementar la intensidad de base de los niveles anteriores tiene la particularidad de favorecer una mayor **proyección** del sonido, concepto que trataremos con posterioridad, y que permite a ese sonido ser escuchado con mayor claridad.

CICLO GLÓTICO:

Realmente ¿cómo se produce el sonido a nivel de las cuerdas vocales?:

1º Inspiramos haciendo un trabajo activo por parte de la musculatura inspiratoria (Diafragma e intercostales medios y externos), y el aire entra por la presión negativa generada en el interior de la caja torácica.

2º Se cierra glotis por acción del interaritenoides y el cricoaritenoides lateral, y tiroaritenoides se contrae de manera isométrica (sin acortamientos ni elongaciones, simplemente aumentando su rigidez) más o menos, dependiendo de la frecuencia a la que tengamos intención de iniciar la fonación. Dependiendo de esta frecuencia también puede estar implicado el cricotiroideo, si la frecuencia es elevada y necesitamos un elongamiento de las cuerdas.

3º Por acción de la relajación de la musculatura inspiratoria se va aumentando la presión subglótica hasta el punto en que supera la presión que están ejerciendo las ccvv para evitar el escape de aire. La tensión a superar la delimita la contracción del tiroaritenoides junto con interaritenoides y cricoaritenoides lateral, en las frecuencias graves y medias, en tanto que en las agudas toma también partido el cricotiroideo y al provocar una elongación y tensar las ccvv.

4º Llegados a este punto, por acción de la musculatura espiratoria, o más bien por la relajación de la inspiratoria, va aumentando la presión subglótica, hasta el punto en que dicha presión supera la tensión glótica y el aire se abre paso entre las ccvv de abajo a arriba y de anterior a posterior.

5º Esa salida aérea genera una ondulación en la capa mucosa de las ccvv en el sentido del flujo aéreo.

6° Acto seguido, consecuencia de la salida del aire a través de las ccvv disminuye la presión subglótica, por debajo de la tensión que tienen las propias ccvv, lo que provoca, junto con el efecto Bernouilli (succión de las ccvv hacia línea media ejercida por el chorro de aire que pasa a través de ellas) un nuevo cierre de la región glótica que va de posterior a anterior y de inferior a superior nuevamente. Volviendo así al punto de partida (Fig. 5) (la diferencia de fase vertical es el lapso de tiempo entre la abertura de las ccvv a nivel inferior y la abertura completa del hojal glótico. Hay tres componentes uno horizontal, que es lo que se abren en sentido longitudinal y es de unos 3mm, otro vertical que equivaldría al grosor de la cv de unos 0,2-0,5mm y otro ondulatorio)

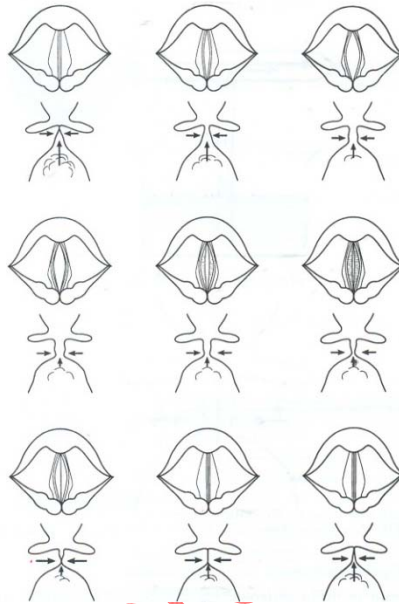


Fig 5. Ciclo glótico según Schönhärl. Fijese en el tamaño de las flechas pues marcan a su vez como varían las fuerzas de presión a nivel subglótico, en tanto que las flechas de cierre de las cuerdas vocales se mantendrán iguales mientras exista una misma frecuencia de fonación.

A todo este proceso se le conoce como ciclo glótico. Llegados a este punto vuelve a ir aumentando la presión subglótica por acción de la musculatura respiratoria hasta superar nuevamente la tensión de las ccvv, como para poder separarlas y que se inicie otro ciclo glótico.

Este ciclo se repite a razón de unas 150 veces por segundo, dando lugar a una onda compleja periódica constituida por la frecuencia fundamental (la menor de todas ellas), que en este caso sería 150 Hz, y sus armónicos, múltiplos de la anterior, cuyas intensidades van decayendo a razón de unos 12 dB por octava (Fig 6.), esto es así en el caso de salir el sonido directamente de la glotis al exterior.

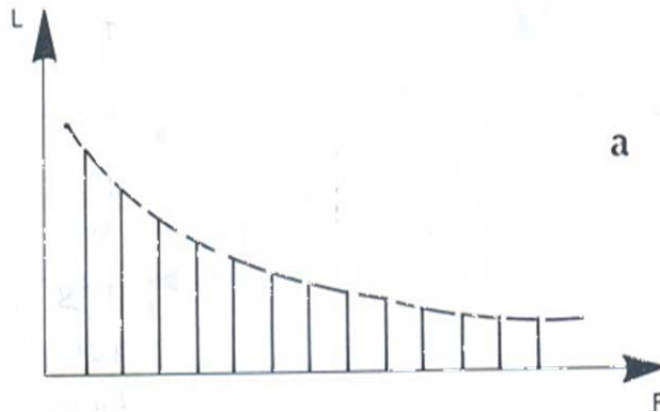


Fig 6. frecuencia fundamental con sus armónicos con decrecimiento de la intensidad a razón de 12 dB por octava, sin filtro de cavidades supraglóticas.

Así por ejemplo en una mujer cuya frecuencia fundamental ronda los 200 Hz por segundo, el proceso anterior se repetiría 200 veces en ese segundo y tendría sus respectivos armónicos en 400,600,800,1000,1200.... O lo que es lo mismo cuando emitimos la 4 de 440 Hz lo que estamos haciendo es repetir ese ciclo 440 veces en un solo segundo y su onda compleja estaría constituida por una frecuencia fundamental de 440 Hz y sus armónicos múltiplos de ésta en 880, 1320,1760.....

Ahora bien si la producción sonora se quedase a este nivel lo más que obtendríamos sería un sonido más o menos agudo, dependiendo de su frecuencia fundamental, pero que simularía el vuelo de un abejorro o de características robóticas. De ahí la importancia de la región supraglótica. Es en esta región donde se favorece la condensación de energía sobre algunos de los armónicos de los que consta la onda glótica, dando lugar así a lo que conocemos como formantes. La condensación sobre los armónicos no va a ser siempre la misma, es decir unas veces se favorecerá el acúmulo de energía en 500, 1600 y 2700Hz por ejemplo y en otras ocasiones será 640, 1390 y 2300Hz etc... ¿ De qué va a depender? Depende de la posición y tamaño del tracto buco-faríngeo laríngeo, de la región nasal y paranasal y más en concreto de sus partes móviles como son la lengua, el paladar blando, los labios... y por supuesto, y en relación con lo anterior, de la vocal que estemos utilizando, dado que según que vocal emitamos, así tendremos un resonador de dimensiones y forma diferente. Por ejemplo no tiene la misma envolvente espectral una "a" que una "i", es más, tan siquiera tienen la misma cadencia de formantes una "a" abierta que una "a" cerrada aunque el espectro es muy similar. Es por esto que personas con un tamaño lingual diferente, tamaño de paladar diferente y diferentes dimensiones de cavidades de resonancia tienen timbres totalmente diferentes, sin tener en cuenta que cada uno tendrá una forma diferente de articular la misma vocal "a" por ejemplo(unos más abierta, otros más cerrada...). Esta es la causa de que cada persona tenga su timbre de voz característico que permite reconocerlo sin verle la cara. Ahora bien, al hilo de lo anterior podríamos concluir, que para imitar a una persona el único requisito sería que la cavidad resonadora tuviese las mismas dimensiones que el personaje al que queremos imitar, y la cosa no es tan sencilla ya que intervienen muchos otros factores como puede ser la rigidez o elasticidad de las paredes de la cavidad resonadora, es decir no basta con que tenga la misma forma el resonador sino que además sus paredes tienen que tener la misma rigidez o elasticidad en todos sus puntos para que el sonido sea exactamente igual.

Todas estas características de tamaño, elasticidad, rigidez confieren a nuestro resonador lo que conocemos como natural de resonancia, que no es más que la frecuencia del sonido que suele amplificar ese resonador, es cierto que también amplificaría sonidos próximos en frecuencia tanto por arriba como por abajo pero en menor grado que la natural de resonancia. (el ancho de banda de un resonador o filtro es el rango de frecuencias que son amplificadas dentro de un intervalo de 3 dB tanto por arriba como por debajo de la natural de resonancia).

Hasta ahora tenemos una onda compleja periódica que sale de la glotis como un sonido robotizado, que está compuesta de frecuencia fundamental y armónicos, y que al pasar por nuestro resonador (la región supraglótica), ve amplificadas algunas de esas frecuencias-armónicos, dependiendo del tamaño, la forma, la elasticidad y rigidez de ese resonador, obteniendo así curvas como las de la fig 7. a diferencia de la que teníamos en la fig 6.

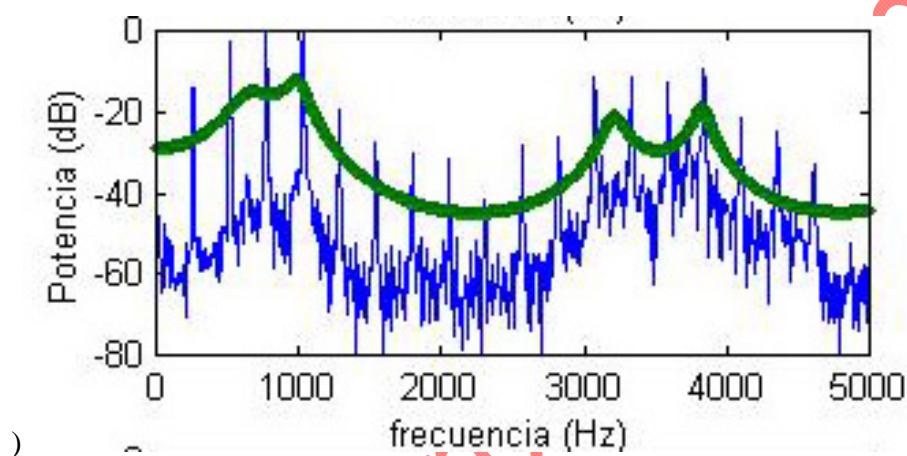


Fig 7. onda sonora glótica una vez que atraviesa la región supraglótica. Se aprecia como en determinadas frecuencias hay una condensación de energía. Los picos donde más energía se condensa conforman lo que conocemos como formantes (existe un formante por cada Khz de frecuencia)

Pero claro, la cosa se complica aún más, cuando nuestro resonador no solo está cambiando constantemente y modificando sus naturales de resonancia, sino que además no todo el resonador está al mismo tiempo con la misma elasticidad, rigidez..., sino que tenemos partes que están muy rígidas en tanto que otras están muy laxas, y presenta recovecos que harían las veces de otro resonador diferente. Para que lo entendamos, pensemos que tenemos cinco habitaciones comunicadas entre sí y a su vez comunicadas con un pasillo que tiene una única puerta de salida que da a la calle. Cada habitación está hecha de un material diferente por ejemplo, hierro, cemento, madera, papel y goma. Como es lógico pensar cada habitación tendrá una natural de resonancia diferente porque sus paredes vibran a frecuencias diferentes y absorben frecuencias diferentes.

Pues bien si metiésemos un sonido como el que sale de la glotis, es decir sin filtrar, en estas habitaciones, ese sonido se enriquecería, o lo que es lo mismo sus armónicos se potenciarían coincidiendo con las cinco frecuencias a las que vibran las cinco habitaciones. Con lo que a la salida del pasillo tendríamos un sonido ya filtrado en donde los picos de la envolvente espectral coincidirían aproximadamente con la natural de resonancia de las cinco habitaciones, es decir, los formantes, donde se condensa mayor energía sonora en la onda, estarían aproximadamente en la misma frecuencia a la que vibra las habitaciones. Pues bien, algo similar ocurre en nuestro resonador con la particularidad de que nuestras habitaciones para colmo cambian, modificando la

elasticidad, tamaño y rigidez, lo que hace que cambie también la frecuencia que amplifican en cada momento.

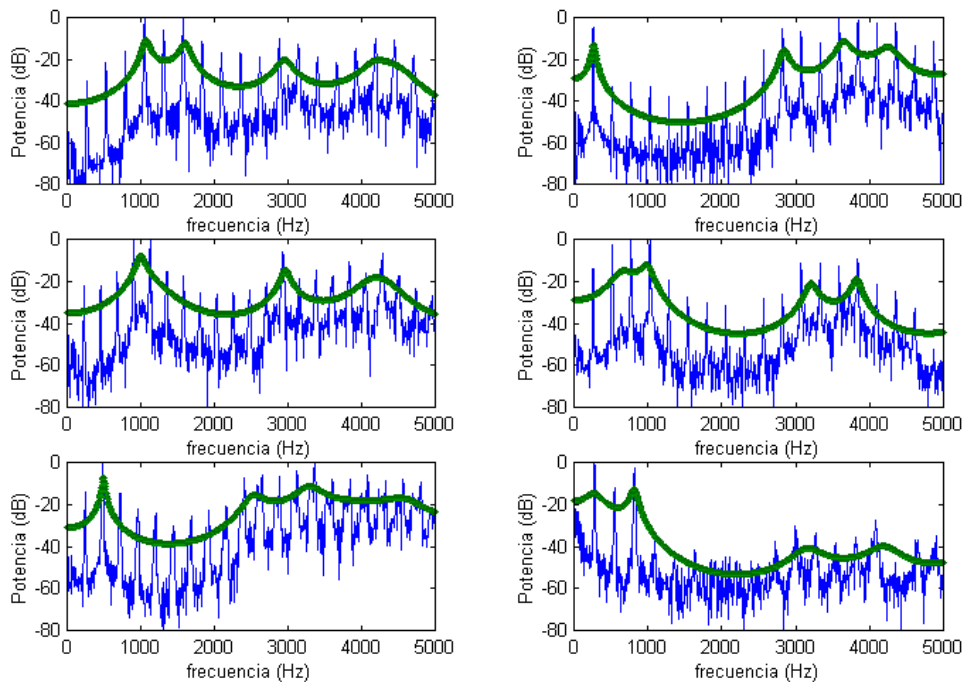


Fig.8. Onda sonora de las diferentes vocales una vez atravesado el resonador, acompañado de su envolvente espectral que nos marca los formantes.

Pues bien una vez introducido el tema de los formantes profundicemos un poco:

Por lo general si sometemos a una persona normal a un examen acústico por ordenador, seguramente en la representación de su espectrograma veamos multitud de ondas que representan los armónicos, que van disminuyendo conforme aumenta su frecuencia, pero que hay zonas de conjuntos de ondas que sobresalen del resto. Si a esta representación le sacamos la envolvente espectral, nos dará una línea que va descendiendo, pero que en determinadas ocasiones hace picos, coincidiendo con ese conjunto de armónicos que sobresalían. Cada pico de la envolvente es lo que conocemos como formante y teóricamente existe uno por cada Khz de frecuencia, pero en la práctica son audibles hasta 4, 5 o 6. Pues bien, en las personas normales lo frecuente es encontrar 2 o 3 de estos picos a lo largo de la envolvente, que corresponderían a los formantes F1, F2, F3 por orden de aparición. Pero el F4 y F5, muy rara vez el F6, son los llamados formantes del cantante F4 y F5, que serían otros dos picos de la envolvente después de los tres primeros. ¿Para qué sirven F4 y F5? , no es que ellos sirvan para algo sino que su presencia es el reflejo del uso de zonas de resonancia no habituales en la población en general, que al tener una natural de resonancia en frecuencias muy agudas (3000-4000 Hz) favorecen la amplificación de los armónicos que presentan esas frecuencias, lo cual se traduce en sonidos: más intensos, con armónicos sobregudos de mayor energía y sobre todo con mayor facilidad para la proyección.

¿Qué entendemos por proyección del sonido?, en el mundo de la voz profesional, se le da mucha importancia a eso que llaman proyección, y que en el argot canoro se expresa como una voz que corre, es decir que es aquella que llega más fácilmente a las últimas butacas del anfiteatro. ¿Por qué una voz con F4 y F5 tiene más proyección?. Es debido a que al amplificar los armónicos sobreaudos, estos refuerzan el sonido y aparte, al tener esta frecuencia tan alta sobresalen por encima de los instrumentos de la orquesta, los cuales tienen una amplia gama de frecuencias de sonido, pero la más aguda ronda los 3000 Hz, por lo tanto, estos armónicos amplificados están por encima de las frecuencias más altas que se pueden encontrar en una orquesta lo que da lugar a que sobresalgan por encima de ella y se escuchen mucho mejor.

Como hemos visto, las diferentes zonas del tracto vocal enriquecen unos armónicos y atenúan otros, lo cual interfiere también en las características tímbricas del sonido, así zonas de la región hipofaríngea, por su predominio en la condensación de energía en frecuencias graves, da a la voz un timbre “tierno y redondo” pero “sordo y velado”, y al contrario parte anterior del tracto vocal y resonadores altos dan al sonido un carácter brillante, rico, coloreado y a veces metálico, estridente y apretado.

Como se suele decir, todo en exceso es malo, y para la voz también es aplicable, ya que un exceso de resonadores bajos nos darán una voz sorda, poco timbrada y engolada, y por el contrario una voz que abusa de resonadores altos nos dará una voz que quizás esté perfectamente colocada para una emisión sana, potente y con proyección, pero puede resultar estridente y metálica en exceso, incluso puede favorecer la estrechez del sonido, obteniendo un sonido apretado y poco saludable en el canto. Es por tanto un problema de no fácil solución para un profesional de la voz y la razón de porqué una carrera de canto lírico requiere no menos de 5-6 años de estudio hacia la búsqueda del sonido perfecto, y que no todo el mundo consigue, y que está compuesto de una emisión saludable para el cantante, que a la vez sea cómoda, de consecución fácil, y sobre todo que guste al público, que es quién en definitiva valora el arte de ese cantante.

BIBLIOGRAFIA:

- 1) Garcia-Tapia, R; Cobeta Marco, I: Diagnóstico y tratamiento de los trastornos de la voz.1996.
- 2) A.Giovanni, A ; Ouaknine , M; Garrel, R: Enciclopedia medico-quirúrgica. “fisiología de la fonación”. 20-632-A-10. 2004.
- 3) Creiver-Buchman, L; Brihaye-Arpin, S; Sauvignet, A; et all. Enciclopedia medico-quirúrgica, “Disfonías no orgánicas (funcionales). E-20-752-A-15. 2006.
- 4) Avilés Jurado, F.J; Domenech Vadillo, E; Figuerola i Massana, E: Libro virtual de formación en ORL, “Patología de la voz hablada y de la voz cantada.cap.117.
- 5) Massegur Solench, H. Tratado de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello, “Biomecánica Laríngea”. Cap.167.2008.
- 6) Nuñez Batalla, F. Tratado de Otorrinolaringología y Cirugía de cabeza y cuello.”Función fonatoria”.cap.169.2008.
- 7) Jackson Menaldi, C.A; La voz Normal,” Análisis y Características de la voz hablada y cantada”.cap.5. 167-89.1992.
- 8) Sapaly, J; La voz normal,”Psicoacústica”. Cap.3; 48-114. 1992.
- 9) Dinville,C; La voix Chantee:Ed.Masson.1982.
- 10) Casado, J.C ; Adrian, J.A : La evaluación clínica de la voz, fundamentos médicos y logopédicos,”Anatomía funcional de la voz”. Cap.2;35-50.2002.

- 11) Fujimura, O. Vocal physiology. Voice production, mechanisms and functions. Raven Press, 1998.
- 12) Sataloff, RT. Clinical anatomy and physiology of the voice: Professional voice; the science and art clinical care. New York: Singular, 1997.

www.voz-profesional.com