

**LA ELECTROMAGNETOMETRÍA EN EL ESTUDIO
DE LA PRODUCCIÓN DEL HABLA**

JOAQUÍN ROMERO GALLEGO
Universitat Rovira i Virgili
joaquin.romero@urv.cat

RESUMEN

Este artículo presenta una descripción breve y simplificada del articulógrafo mediosagital electromagnético (EMMA o EMA) y de las ventajas de su utilización en el estudio de la producción del habla. El articulógrafo ofrece la posibilidad de obtener información directa y en tiempo real del movimiento de todos los articuladores, incluida la lengua. El artículo menciona algunos aspectos técnicos básicos del aparato y describe brevemente el funcionamiento y el protocolo experimental estándar. La señal obtenida mediante el articulógrafo permite disponer de una gran cantidad de datos cuantitativos fiables y precisos que pueden ser utilizados para poner a prueba una gran variedad de postulados fonético-fonológicos. Esta versatilidad se ilustra con algunos resultados obtenidos en diferentes lenguas que sirven para dar una idea de las posibilidades que el articulógrafo brinda en el estudio de la producción del habla y de la fonética-fonología experimental en general.

Palabras clave: *electromagnetometría, articulómetro, producción del habla.*

ABSTRACT

This article presents a brief and simplified description of the electromagnetic midsagittal articulometer (EMMA or EMA) as well as some of the advantages that its use in speech production provides. The articulometer allows us to obtain direct and real-time information of the movement of all the articulators, including the tongue. The articles points out some basic technical aspects and describes the functioning and the standard experimental protocol used with EMMA. The signal obtained from the articulometer gives us the opportunity to study a large amount of reliable and precise quantitative data that can be used to test a great variety of theoretical issues within the phonetics-phonology field. This versatility is illustrated here with some results obtained in experiments dealing with different languages. These results provide a picture of the possibilities that the articulometer offers in the study of speech production and of phonetics-phonology in general.

Keywords: *electromagnetometry, articulometer, speech production.*

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente uno de los problemas más persistentes en el estudio de la producción del habla ha sido la dificultad de obtener datos del movimiento de los diferentes articuladores de manera simultánea y en tiempo real. Las técnicas de observación de la articulación del habla existentes presentan limitaciones o bien en cuanto al tipo de articulador que permiten observar o bien en cuanto a la capacidad de proporcionar datos en tiempo real. Estas limitaciones son particularmente notorias en el caso de la lengua. Entre las técnicas disponibles para la obtención de datos articulatorios que permiten obtener información del papel de la lengua en la producción del habla destaca la electropalatografía, que proporciona datos de contacto lingual en la zona comprendida entre el límite posterior de los alvéolos y el borde del paladar blando. Aunque la electropalatografía permite observar la secuencia de contactos en el tiempo, no proporciona información directa sobre las zonas linguales que no entran en contacto con el paladar artificial. Esto limita la capacidad de obtener datos fiables en el caso de articulaciones no oclusivas. Más recientemente se han empezado a utilizar otras técnicas que permiten la observación de la articulación de manera global, como la resonancia magnética o la ecografía (también conocida como ultrasonido). Aunque la calidad de las imágenes obtenidas con estas técnicas mejora constantemente, en ambos casos existe una dificultad muy considerable a la hora de calibrar y cuantificar el movimiento observado. Este hecho, junto a la complejidad estructural y de utilización y el elevado coste de este tipo de aparatos, los hacen poco viables para el estudio intensivo de la producción del habla.

La electromagnetometría, como herramienta en el estudio de la producción del habla, presenta ventajas claras con respecto a las técnicas mencionadas anteriormente. Como principal atractivo está la capacidad de obtener datos de hasta diez articuladores de manera simultánea y con una resolución temporal suficiente para captar sus movimientos en tiempo real. La utilización de esta técnica en fonética experimental es posible gracias al desarrollo de un aparato conocido como articulómetro mediosagital electromagnético, EMA o EMMA, correspondiente a las siglas en inglés de *Electromagnetic Midsagittal Articulometer*. Dependiendo del modelo de articulómetro utilizado, los datos obtenidos representan dos o tres dimensiones, pero en cualquier caso la calibración y cuantificación de los datos es relativamente simple y permite obtener información fiable sin necesidad de grandes equipamientos. La utilización de la electromagnetometría en el estudio de la producción del habla es relativamente reciente y hoy en día continúa siendo una técnica de uso minoritario debido, entre varios factores, a su complejidad y al elevado precio del equipamiento necesario.

En la actualidad existe una única compañía que comercializa electromagnetómetros para su uso en fonética experimental, Carstens Medizinelektronik (<http://www.articulograph.de/>). Los dos modelos disponibles son el AG200, que proporciona datos en dos dimensiones, y el AG500, que permite la obtención de imágenes tridimensionales. Durante la década de los 90 se utilizó también un modelo de articulómetro no comercial desarrollado en MIT (Perkell et al., 1992) y disponible en un número reducido de centros de investigación. Aunque los detalles de los diferentes modelos varían ligeramente y la complejidad es obviamente mayor en el modelo 3D, los principios físicos y el funcionamiento son en esencia los mismos y por lo tanto los resultados son extrapolables. La información proporcionada en este artículo proviene en parte del modelo EMMA de MIT disponible en los laboratorios Haskins y en parte del equipo Carstens AG100, precursor del AG200 actual, existente en el Laboratori de Fonètica del Institut d'Estudis Catalans de Barcelona.

2. EL ARTICULÓMETRO ELECTROMAGNÉTICO

2.1. Aspectos técnicos

El hardware del sistema EMMA consiste en tres elementos principales. En primer lugar, se encuentra un casco de polietileno que actúa como montura para tres transmisores magnéticos. La figura 1 muestra, a la izquierda, el casco del articulómetro de Haskins y a la derecha el correspondiente al AG100 de Carstens. Como se puede observar, en ambos casos el casco sirve para sujetar los tres transmisores magnéticos, identificados con colores diferentes en el caso del AG100 para facilitar la correcta colocación del casco.

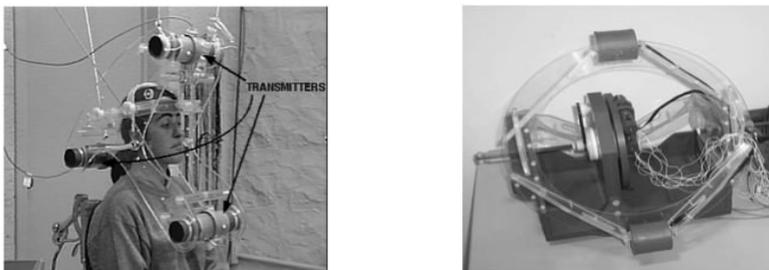


Figura 1. Casco y transmisores del sistema EMMA de Haskins (izquierda) y del AG100 de Carstens (derecha).

Segundo, se cuenta con una serie de bobinas inductoras (receptores) en forma de paralelepípedos de aproximadamente 2x5x5 mm. Estos receptores se colocan en los articuladores cuyo movimiento interesa observar y van conectados, por mediación de un fino hilo metálico recubierto de plástico flexible, al tercer componente del sistema, la caja EMA (véase la figura 2), en donde tiene lugar la obtención de la señal propiamente dicha. Hasta un número máximo de 10 bobinas se pueden utilizar simultáneamente durante una misma sesión experimental, correspondientes a los 10 canales de la caja EMA.



Figura 2. Caja EMA correspondiente al sistema AG100 de Carstens.

Para cada uno de los canales, es decir, para cada una de las bobinas, el movimiento se registra como tres señales separadas, correspondientes a las dimensiones horizontal (X) y vertical (Y) del movimiento, además de una señal adicional (R) que es una estimación del error introducido por la inclinación lateral de los receptores.

2.2. Funcionamiento

El funcionamiento del articulómetro está basado en las perturbaciones que los receptores causan en el campo magnético generado por los tres transmisores montados en el casco. Este campo magnético cubre el área de articulación del hablante, de manera que cuando las bobinas receptoras enganchadas en puntos estratégicos (labios, mandíbula, lengua) en el plano mediosagital del trazado vocal del sujeto se mueven durante el habla, crean una serie de perturbaciones. Estas

perturbaciones se recogen en forma de voltajes que, posteriormente, son transformados por mediación de software en distancias. Estas distancias, a su vez, se pueden observar como movimiento en tiempo real o bien como configuraciones articulatorias en un punto temporal específico.

El funcionamiento del sistema EMMA requiere una labor de calibración previa a su utilización para obtener datos de movimiento fiables. El proceso de calibración consiste, de manera muy resumida, en dos partes principales. Por un lado, está la fase de calibración del círculo, que consiste básicamente en ajustar los niveles de concentración del campo magnético en una zona considerada adecuada para la obtención de los datos. El segundo proceso de calibración, la calibración de las bobinas receptoras que se han de utilizar en el experimento, se realiza previamente a cada sesión experimental. Cada una de las bobinas que se usarán en el experimento tiene que ser calibrada individualmente. Una vez obtenidas las coordenadas correctas, una rutina de software inserta los valores de calibración en los archivos matrices que se utilizarán durante la obtención de los datos.

2.3. Protocolo experimental y obtención de datos

Una vez realizadas las calibraciones pertinentes, el aparato está preparado para la sesión experimental propiamente dicha. Para ello, el informante se sienta en una silla ajustable de manera que quede colocado directamente debajo del casco, el cual se baja, mediante un sistema de poleas, hasta que queda colocado sobre la cabeza del hablante. En ese momento hay que hacer los ajustes necesarios para asegurarse de que los planos mediosagiales del hablante y del casco coinciden. Una vez conseguida la posición correcta, se retira el casco y se procede a la colocación de las bobinas receptoras. Como se mencionó anteriormente, se pueden utilizar hasta un máximo de 10 bobinas de manera simultánea. Normalmente se colocan 9 receptores en los articuladores y se reserva uno para obtener la posición del plano oclusal del hablante, tal como se describe más adelante.

La colocación de las bobinas receptoras en el plano mediosagital del hablante, para lo cual el sistema de MIT dispone de un soporte para lápiz que permite dibujar una línea en el rostro del hablante, suele seguir el siguiente orden: labio superior e inferior (colocados en el borde de la comisura labial), mandíbula superior e inferior (colocados en la zona de contacto entre los dientes y la encía), puente de la nariz (en una zona en la que el movimiento de la piel es mínimo) y, finalmente, en hasta cuatro puntos a lo largo del eje mediosagital de la lengua. Los receptores colocados en la nariz y en la mandíbula superior se usan como puntos de referencia

para posteriormente compensar en la señal resultante el posible movimiento de la cabeza. Los receptores de los labios, la nariz y las mandíbulas se pegan utilizando un adhesivo oral, mientras que los receptores de la lengua se pegan con adhesivo dental.

La colocación de los receptores en la lengua exige una atención y un procedimiento especial, dadas las características anatómicas y fisiológicas de este articulador. El procedimiento seguido normalmente consiste en colocar el primer receptor en el dorso de la lengua, en la zona en la que el hablante articula un sonido velar, /k/ por ejemplo. A continuación se coloca el segundo receptor, aproximadamente a unos 5 mm de la punta de la lengua. Los otros dos receptores se colocan entre el primero y el segundo de manera que la distancia entre los cuatro receptores sea aproximadamente la misma.

Dadas las diferencias en tamaño y forma de la lengua entre los diferentes sujetos, las distancias entre receptores varían ligeramente de uno a otro. Además, dada la naturaleza extremadamente maleable de la lengua, no siempre es posible colocar los receptores de un mismo sujeto de manera equidistantemente exacta. En cualquier caso, la colocación de los receptores ha de ser la que se considere idónea para registrar todos los movimientos verticales y horizontales de la zona de la lengua que interesa observar en una sesión experimental concreta. La figura 3 muestra una fotografía en la que se puede observar la posición de los receptores durante uno de los experimentos descritos en Romero (2000.)



Figura 3. Disposición de los receptores en los diferentes articuladores (sistema AG100).

Una vez colocados todos los receptores, se vuelve a ajustar el casco sobre la cabeza del hablante. Comprobada la alineación de los planos mediasagiales del casco y del hablante, puede comenzar la recogida de datos propiamente dicha. Teórica-mente la cantidad de datos que se pueden obtener en una sesión experimental está limitada únicamente por la capacidad de almacenaje del sistema y, sobre todo, por la capacidad del hablante de permanecer en posición estática. Por norma, los experimentos realizados con el sistema EMMA suelen tener una duración que oscila entre 30 y 90 minutos, aunque dada la inevitable incomodidad que representa para el informante mantener una posición lo más estática posible durante el experimento, es recomendable reducir la duración de cada sesión al mínimo tiempo indispensable. La evolución del movimiento de los receptores durante el habla se puede controlar durante toda la sesión experimental. Una pantalla de ordenador refleja la posición espacial y el movimiento de los receptores, de manera que cualquier fallo en la posición o funcionamiento de los receptores puede ser detectado y corregido durante el experimento.

Aparte de la obtención de datos de habla, en cada sesión experimental se obtienen dos tipos de datos más. Por una parte, se obtienen las coordenadas del plano oclusal del hablante. Para ello, se colocan dos receptores adicionales en una paleta de polietileno y se pide al informante que la sujete entre los dientes, de manera que el primer receptor quede dentro de la boca y el segundo fuera. Los datos así obtenidos se usarán posteriormente para rotar y orientar los datos de movimiento al eje oclusal del hablante. Además se suele obtener un trazado del paladar del informante. Existen diversos métodos para trazar el paladar, pero quizá el más efectivo consiste en pedir al informante que use el receptor de la punta de la lengua para trazar su propio paladar. De esta manera se obtiene una referencia espacial que puede ser luego utilizada a la hora de juzgar y/o analizar la posición espacial de los demás receptores.

2.4. Procesamiento de la señal

Los 10 receptores utilizados durante el experimento están conectados a la caja EMMA, de manera que el número total de canales que se digitalizan de manera simultánea es de 31, treinta para los 10 receptores más uno para el canal de audio, que se graba de manera simultánea. En el sistema de Haskins los datos se digitalizan con una resolución de 12 bits en tiempo real. Los canales fisiológicos se digitalizan a 625 Hz, mientras que la señal acústica se digitaliza a 20.000 Hz. Posteriormente, las señales se filtran a 200 Hz y 9,6 KHz., respectivamente.

Los datos obtenidos en el experimento se almacenan en archivos separados que corresponden a los segmentos de habla en los que está organizado el experimento. Posteriormente a la sesión experimental, cada uno de estos archivos se divide en los 31 canales correspondientes a los 10 receptores más el audio. Tras una observación preliminar que permite descartar la presencia de desviaciones en la orientación de los receptores, los archivos R, indicadores de posibles errores de posicionamiento lateral, se descartan, de manera que los archivos que permanecen para cada segmento de habla son, en el caso de que se hayan colocado cuatro receptores en la lengua: NX y NY (nariz X e Y), MX y MY (maxilar X e Y), LSX y LSY (labio superior X e Y), LIX y LIY (labio inferior X e Y), MAX y MAY (mandíbula X e Y), ALX y ALY (ápice de la lengua X e Y), LLX y LLY (lámينا de la lengua X e Y), CLX y CLY (cuerpo de la lengua X e Y) y DLX y DLY (dorso de la lengua X e Y.)

Una parte del proceso de extracción de las diferentes señales para cada segmento de habla consiste en la corrección de cualquier posible movimiento de cabeza durante la sesión de grabación, así como la rotación de los datos al plano oclusal del hablante. La rutina de corrección del movimiento de la cabeza utiliza como referencias las coordenadas de los receptores de la nariz y de la mandíbula superior. La rotación al plano oclusal se realiza con las coordenadas obtenidas durante la inserción de la paleta con los dos receptores.

Una vez digitalizados, almacenados, extraídos, filtrados, corregidos y rotados, los datos aparecen en la pantalla del ordenador como curvas de movimiento que corresponden a las dimensiones horizontal y vertical del movimiento de los articuladores. Estas curvas son analizadas para obtener información espacial y temporal. El análisis de las señales se realiza utilizando diferentes técnicas dependiendo de los objetivos del experimento. Uno de los procedimientos más usados consiste en obtener primeras y/o segundas derivadas de las curvas de movimiento. Las derivadas permiten visualizar la velocidad o la aceleración de los movimientos y de esta manera identificar puntos en las curvas que se corresponden con eventos articulatorios, como los máximos y mínimos del movimiento correspondiente a consonantes y vocales.

Otro tipo de transformaciones consiste en obtener medidas del grado de constricción. Para ello, se pueden utilizar diferentes técnicas según los articuladores. Por ejemplo, para medir el grado de constricción labial se puede obtener una estimación utilizando las señales de movimiento vertical de los labios superior e inferior. Sustrayendo la señal del labio inferior de la del labio superior

se puede generar una nueva señal que corresponde a la apertura vocálica. La obtención del grado de constricción en otros puntos de articulación requiere procedimientos más complejos. En concreto, para los sonidos articulados en la zona dentoalveolar, se puede usar el trazado del paladar como referencia y calcular las distancias euclidianas entre los puntos de localización espacial del movimiento de la lengua y el paladar.

3. DATOS DE MOVIMIENTO

Como se explica en la introducción, la ventaja más importante de la utilización del electromagnetómetro radica en la posibilidad de observar el movimiento de los articuladores de manera global y en tiempo real.

A continuación se muestran algunos ejemplos del tipo de datos que se pueden obtener utilizando esta técnica como ilustración de las ventajas sobre otros tipos de datos articulatorios y de las posibilidades que abre de cara al estudio de una gran variedad de aspectos de la producción del habla.

3.1. Posición y movimiento bidimensional

La figura 4 muestra una comparación entre la configuración articulatoria durante la producción de la vocal /a/ y la consonante oclusiva dentoalveolar /t/ en español a partir de datos obtenidos con el articulógrafo. Los datos corresponden a un punto en el tiempo identificado como correspondiente al momento de mayor apertura bucal durante la vocal y al de máxima constricción durante la consonante. Los puntos representan la posición de la totalidad de los receptores, lo cual proporciona una visión excelente no solo de cada uno de ellos sino también de la configuración global de todos los articuladores así como de las relaciones espaciales entre ellos. La línea que conecta los cuatro puntos asociados con la lengua permite obtener una visión más intuitiva del movimiento de este articulador y de cómo sus diferentes partes se ven afectadas por los requerimientos articulatorios de una de ellas. La línea curva que se muestra en la figura corresponde al trazado del paladar del hablante. Este trazado no solo actúa como anclaje visual a la hora de interpretar la posición de los receptores, sino que puede ser utilizado, como se explica más abajo, para obtener estimaciones exactas del punto y el grado de constricción.

Si la figura 4 ilustra las ventajas de la utilización de datos de EMMA en la comparación de dos eventos articulatorios en diferentes momentos temporales, las trazas que se muestran en la figura 5 son un ejemplo del resultado del movimiento

bidimensional de un receptor concreto, en este caso el correspondiente al ápice de la lengua, durante la realización de una serie de secuencias VC(C)V en español. Este tipo de representación gráfica permite observar con gran detalle el recorrido exacto de este articulador durante la producción de las secuencias estudiadas y compararlas entre sí, dentro de un mismo contexto vocálico al comparar las trazas dentro de un gráfico, o en diferentes contextos vocálicos observando las diferencias entre los dos gráficos.

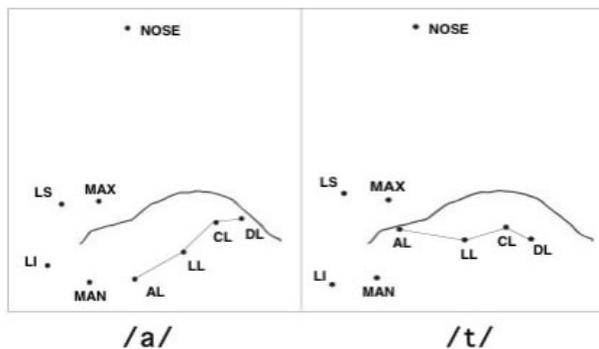


Figura 4. Representación bidimensional correspondiente a la totalidad de los receptores en un punto temporal correspondiente a la vocal /a/–izquierda–y a la consonante /t/–derecha–en español.

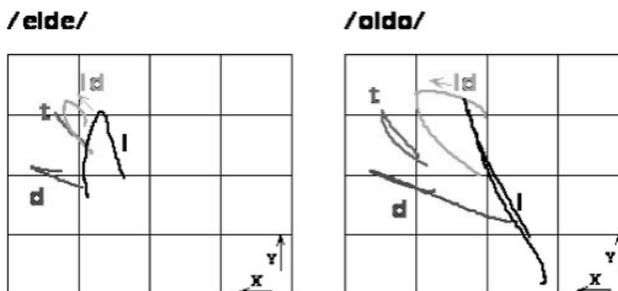


Figura 5. Movimiento bidimensional del receptor correspondiente al ápice de la lengua durante la realización de una repetición de las secuencias /eC(C)e/–izquierda–y /oC(C)o/–derecha–en español.

Pero más allá de la simple observación del movimiento lingual, imágenes como las que se ilustran en la figura 5 permiten constatar aspectos de la articulación del habla que están directamente relacionados con postulados fonético-fonológicos a nivel teórico. En concreto, en este caso los datos que se presentan ilustran cómo el proceso de asimilación del punto de articulación que afecta a la consonante dentoalveolar /d/ en la secuencia /ld/ no tiene como resultado una asimilación absoluta. En realidad el punto de articulación de la secuencia /ld/ no corresponde ni al de la /d/ ni al de la /l/, ni siquiera al de la correspondiente consonante oclusiva /t/, sino que se puede identificar como una posición intermedia entre las dos.

La figura 6 ilustra la posibilidad de combinar el tipo de representación gráfica de las figuras 4 y 5, mostrando la localización espacial de un punto en el tiempo de una serie de repeticiones de una misma secuencia y comparándola con las repeticiones de otras secuencias. En este caso, los datos corresponden también a secuencias del tipo VC(C)V, esta vez del inglés americano, e ilustran un fenómeno similar al que se puede observar en la figura 5. En concreto, las repeticiones de la secuencia /VldV/ aparecen agrupadas en una zona que se encuentra a medio camino entre las de las secuencias /VlV/ y /VdV/. Este tipo de observaciones similares en diferentes lenguas se presta a interpretaciones que pueden ser muy valiosas de cara a entender los mecanismos que subyacen a la producción del habla y que podrían condicionar la articulación independientemente de la lengua concreta.

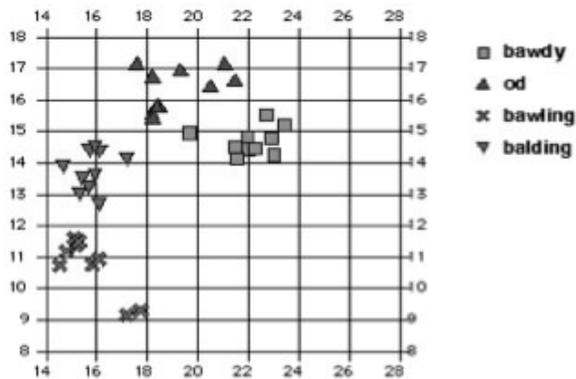


Figura 6. Movimiento bidimensional del receptor correspondiente al ápice de la lengua durante la realización de una repetición de las secuencias VC(C)V en inglés.

Como se puede observar, las posibilidades de representación gráfica de los datos obtenidos con el articulógrafo son múltiples. Por lo que respecta a la observación del movimiento de la lengua, algo extremadamente complicado hasta el desarrollo de esta técnica, los datos de EMMA ofrecen resultados sorprendentes que en algunos casos pueden llevar a reconsiderar ideas generalmente asumidas como válidas en el campo de la fonética-fonología teórica.

3.2. Cuantificación y medidas derivadas

La gran riqueza de detalles que permite observar el articulógrafo se complementa con la posibilidad de obtener mediciones exactas tanto espaciales como temporales del movimiento de los articuladores. La posibilidad de cuantificar el movimiento articulatorio de manera precisa y fiable es lo que realmente convierte al articulógrafo en un instrumento excepcional para la investigación en fonética-fonología experimental. Como se ha explicado anteriormente, la señal resultante del articulógrafo se desdobra en movimiento horizontal (X) y vertical (Y) para cada uno de los receptores. Estas señales unidimensionales permiten comparar de manera directa el movimiento de un mismo articulador en diferentes secuencias de manera que sea posible realizar un tratamiento estadístico de los datos y determinar la significatividad de las similitudes o diferencias entre ellos.

La figura 7 muestra el movimiento vertical (Y) del ápice de la lengua durante la producción de diversas secuencias VCV en español andaluz occidental. La dimensión horizontal representa el tiempo y la curva central corresponde al momento de máxima constricción de la consonante. Como se puede observar, las curvas se pueden diferenciar en dos grupos: por una parte las secuencias que muestran un desplazamiento máximo—/VndV/, /VtV/ y /VsV/—y por otra parte las secuencias cuyo movimiento no alcanza el punto de constricción máximo—/VdV/ y /VsV/. Los valores numéricos correspondientes a estas posiciones indican que la diferencia en desplazamiento vertical del ápice de la lengua es significativamente distinta entre grupos pero no dentro de cada grupo. Estos resultados apuntan a la posible necesidad de replantear algunas nociones tradicionales de las diferencias entre modos de articulación, como oclusivas vs. fricativas o aproximantes.

La posibilidad de cuantificar la información obtenida con el articulógrafo nos permite obtener medidas derivadas que pueden resultar más intuitivas que las dimensiones X o Y individuales a la hora de estudiar aspectos fonéticos como el punto o el modo de articulación de una consonante. Una de las medidas más comunes es la apertura labial, que en la mayoría de casos se puede obtener

simplemente substrayendo el movimiento del labio inferior del movimiento del labio superior. De esta manera se obtiene una medida que es más fácilmente identificable y comparable que los movimientos de cada uno de los labios por separado.

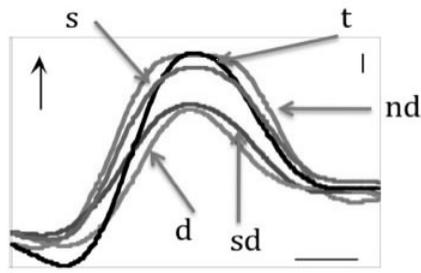


Figura 7. Trazas de movimiento correspondientes al desplazamiento vertical del ápice de la lengua en diferentes secuencias VCV en español andaluz occidental. La flecha vertical indica la dirección del movimiento. La barra vertical representa 1 mm de desplazamiento, mientras que la barra horizontal corresponde a una duración de 50 ms.

Ligeramente más compleja es la obtención del grado de constricción de las consonantes linguales. En estos casos se utiliza el trazado del paladar como referencia fija a partir de la cual se calcula la distancia más corta entre este trazado y el punto de extensión máxima de la lengua correspondiente a la consonante a estudiar. La figura 8 ilustra estos dos tipos de medidas derivadas.

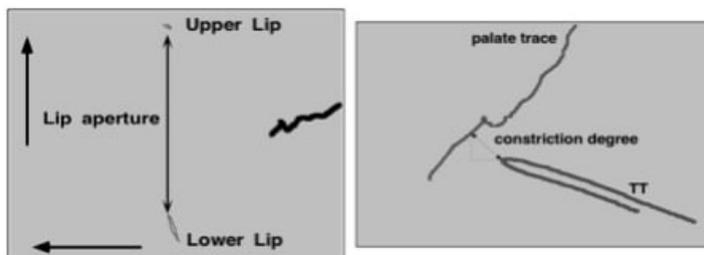


Figura 8. Ejemplificación de la obtención de medidas de apertura labial–izquierda–y grado de constricción lingual–derecha.

4. CONCLUSIONES

Como se ha podido comprobar, a pesar de la complejidad del proceso de obtención de los datos y del procesamiento de la señal, el tipo de información que proporciona la electromagnetometría sobre el movimiento de los articuladores es, sin duda alguna, excepcional. Este tipo de experimentos permiten la observación de los más pequeños detalles del proceso de articulación. Las señales obtenidas son de gran fiabilidad y flexibilidad, ya que pueden ser transformadas y manipuladas de manera que proporcionen una información, tanto cuantitativa como cualitativa, imposible de obtener con otros métodos. Otra gran ventaja de este sistema es que puede ser utilizado de manera simultánea con otras técnicas de medición, como la electropalatografía o la transiluminación laríngea, de manera que se obtiene una imagen completa y precisa de la articulación. La obtención de gran cantidad de datos de movimiento en tiempo real abre las puertas a un gran número de posibles estudios que hasta ahora quedaban relegados al campo de la especulación o la observación impresionística y permite poner a prueba muchas propuestas teóricas del campo de la fonética-fonología.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PERKELL, J.; M. COHEN; M. SVIRSKY; M. MATTHIES; I. GARABIETA y M. JACKSON (1992): «Electro-magnetic midsagittal articulometer (EMMA) systems for transducing speech articulatory movements», *Journal of the Acoustical Society of America*, 92, pp. 3078-3096.
- ROMERO, J. (2000): «American English flapping and tongue-tip blending», *Proceedings of the 5th Speech Production Seminar: Models and Data*, Kloster Seeon, Alemania, pp. 101-104.