



## TRABAJO DE DIPLOMA

“Propuesta de medidas acústicas para desordenes en la articulación”

**Autor: Ariel Covas González**

**Tutor: Dra. Maria E. Hernández – Díaz Huici**

**Santa Clara**

**2009**

**"Año del 50 Aniversario del la Revolución"**



# **Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

## **Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Centro de Estudios de Electrónica y Tecnología de la Información**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**“Propuesta de medidas acústicas para desordenes en la articulación”**

**Autor: Ariel Covas González**

**Tutor: Dra. Maria E. Hernández – Díaz Huici**

Profesor titular

Centro de Estudios de Electrónica y Tecnología de la Información

Facultad de Ingeniería Eléctrica

E-mail: [mariae@ucv.edu.cu](mailto:mariae@ucv.edu.cu)

**Santa Clara**

**2009**

**"Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución"**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Biomédica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Autor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## ***PENSAMIENTO***

***Nada esta mas oculto que lo que esta ante nuestros ojos***

***Edgar Allan Poe***

## DEDICATORIA

A toda mi familia y en especial a mis padres que son la razón de tanto esfuerzo y a mi tutora y amiga María que es el principal artífice de todo lo logrado.

.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mis agradecimientos a todos los que se esforzaron en brindar los conocimientos adquiridos, en especial a mi amigo Arturo por su ayuda y paciencia y a su madre María que ya también es mía por su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

## TAREA TÉCNICA

- Revisión bibliográfica para conocer las principales características presentes en pacientes con problemas articulatorios.
- Realizar un análisis profundo de las características de la envolvente espectral haciendo uso de los coeficientes Cepstrales y LPC para su posterior implementación en la medida de la transición espectral.
- Programación de un algoritmo capaz de extraer parámetros de interés en la transición espectral de pacientes con el habla disártrica para poder realizar una evaluación objetiva de la misma.
- Análisis del desempeño del algoritmo programado teniendo en cuenta las pruebas de diadocoquinesis hechas a los pacientes y las evaluaciones subjetivas dadas por los expertos.
- Tabular los resultados en tablas Excel y buscar correlaciones para cada uno de los grupos disátricos entre los parámetros extraídos y las evaluaciones subjetivas con que se cuentan.
- Confección del informe final.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## RESUMEN

En el presente trabajo se continúa la exploración de las posibilidades de la transición espectral como medida de la articulación. Con relación a trabajos precedentes, se representa mejor el espectro de bajas frecuencias, y se buscan desviaciones con relación a la primera alocución de la sílaba y no al valor medio de sus repeticiones. De esta forma las medidas sobre la transición espectral de los parámetros propuestos por Hernández –Díaz se ven mejorados en cuatro de los grupos disátricos analizados. Estos resultados pueden extenderse a otros grupos de trastornos del habla y emplearse para seguir los procesos de la rehabilitación.

## TABLA DE CONTENIDOS

|                                                                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA .....                                                                                         | iv   |
| AGRADECIMIENTOS .....                                                                                     | vi   |
| TAREA TÉCNICA.....                                                                                        | vii  |
| RESUMEN .....                                                                                             | viii |
| INTRODUCCIÓN.....                                                                                         | 1    |
| I. Medidas relacionadas con los desordenes de la Articulación.....                                        | 4    |
| 1.1 La señal objeto de estudio .....                                                                      | 4    |
| 1.2 Articulación.....                                                                                     | 4    |
| 1.2.1 Funciones del Tracto Vocal para Articulación de Vocales: Correlaciones espectrales.....             | 4    |
| 1.2.2 Producción de las vocales en pacientes con disartria .....                                          | 5    |
| 1.2.3 Funciones del tracto vocal para la articulación de las consonantes: Correlaciones espectrales ..... | 5    |
| 1.2.4 Explosión y ruido fricativo en la Disartria .....                                                   | 6    |
| 1.2.5 Índice de la pendiente de F2 en la Disartria. ....                                                  | 7    |
| 1.2.6 Medidas de la Energía en Disartria. ....                                                            | 7    |
| 1.2.7 Función Velofaríngea. ....                                                                          | 8    |
| 1.2.8 Coordinación de la actividad laríngea y supralaríngea. ....                                         | 8    |
| 1.3 Exploración de otras herramientas para medir articulación. ....                                       | 8    |
| 1.3.1 Representaciones Espectrales. ....                                                                  | 8    |
| 1.3.2 Cepstrum a partir del LPC. ....                                                                     | 11   |
| 1.3.3 La Transición Espectral .....                                                                       | 11   |
| 1.4 Conclusiones parciales. ....                                                                          | 14   |
| II. MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                             | 15   |
| 2.1 Selección del algoritmo.....                                                                          | 15   |
| 2.2 Modificaciones hechas al algoritmo con relación a los trabajos de Hernández, Dusan y Furui.....       | 15   |
| 2.2.1 Diferencias en Cuanto a Características Espectrales. ....                                           | 15   |
| 2.2.2 Diferencias en Cuanto a la Medición de la Transición Espectral. ....                                | 16   |

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3   | Extracción de Rasgos en la Transición Espectral .....                                   | 17 |
| 2.3.1 | Determinación del Intervalo Crítico .....                                               | 17 |
| 2.3.2 | Determinación de la Desviación Estándar. ....                                           | 19 |
| 2.3.3 | Determinación de la Kurtosis .....                                                      | 19 |
| 2.3.4 | Determinación de la Pendiente .....                                                     | 19 |
| 2.3.5 | Procesamiento General. ....                                                             | 19 |
| 2.4   | Materiales.....                                                                         | 20 |
| 2.5   | Método. ....                                                                            | 22 |
| 2.6   | Conclusiones del Capítulo. ....                                                         | 23 |
| III.  | Resultados y Discusión.....                                                             | 24 |
| 3.1   | Resultado y Validez. ....                                                               | 24 |
| 3.1.1 | Mejores correlaciones para cada posición articulatoria en cada tipo de enfermedad. .... | 26 |
| 3.2   | Comparación en cuanto a resultados con respecto a [20]. ....                            | 30 |
| 3.3   | Conclusiones Parciales.....                                                             | 32 |
|       | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                                                    | 33 |
|       | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                        | 34 |
|       | Anexo 1.....                                                                            | 36 |
|       | Evaluaciones Subjetivas.....                                                            | 36 |
|       | Parámetros Calculados para la sílaba /pa/.....                                          | 38 |
|       | Parámetros Calculados para la sílaba /ta/.....                                          | 40 |
|       | Parámetros Calculados para la sílaba /ka/.....                                          | 42 |

## INTRODUCCIÓN

### Generalidades:

La perspectiva de este proyecto es el desarrollo de investigaciones y herramientas basadas en sistemas informáticos que integren y usen toda la información relevante en la señal acústica para mejorar el conocimiento en materia de salud y todo el proceso relacionado con la prevención, diagnóstico y tratamiento de personas con habla disártrica.

Los estudios reportados en la literatura sobre la disartria son en su mayoría informativos. El nivel de desafío tan alto está dado porque en la disartria pueden aparecer complejos desordenes con potenciales interrupciones que ocurren en todo el sistema de producción del habla, por lo que la información en la señal puede estar considerablemente enmascarada y disminuida, en contraste con la necesidad de medidas precisas.

La disartrias es un complejo desorden del habla, representa una variedad de padecimientos neurológicos que pueden afectar potencialmente cada componente de la producción del habla, en algunas personas con disartria el problema puede estar limitado a algún subsistema en particular, por ejemplo la laringe en el caso de pacientes con disartria Flácida, pero en muchos individuos la interrupción puede ser distribuida sobre componentes de la respiración, laringe y supra laringe. Algo semejante es típico en enfermedades como (Parkinson, ELA, Múltiple Esclerosis).

Producto de la dificultad para obtener medidas acústicas objetivas las evaluaciones perceptuales han sido la principal forma de clasificación y descripción de la disartria. Ha sido muy cuestionado si las evaluaciones de percepción, aisladamente pueden usarse para discriminar entre interrupciones que ocurran simultáneamente en dos o más componentes del aparato fonador, especialmente cuando estas valoraciones son realizadas por jueces o especialistas diferentes con variados entrenamientos y métodos para realizar la evaluación perceptual [3].

El progreso en el estudio de disartrias ha sido lento debido a varios factores como:

1. El modesto esfuerzo en la investigación neurológica de los desordenes del habla.

2. La dificultad en el análisis acústico para personas con discontinuidades en la fonación, hipernasalidad, articulación imprecisa y otras.
3. Las pocas publicaciones sobre análisis acústico de las disartrias, que mayormente se concentran en un pequeño número de medidas aplicadas a pequeñas muestras.

Esto conduce a la siguiente formulación del problema:

Hasta el momento no se cuenta con una herramienta objetiva y confiable para representar los problemas articulatorios en la disartria. Se hace difícil en la actualidad contar con evaluaciones precisas de la severidad articulatoria. Además de que existen pocos estudios que profundicen en el análisis de los cambios espectrales entre la consonante y la vocal.

La forma de abordar el problema es analizar la señal acústica por tramas teniendo en cuenta aquellos lugares donde ocurre la transición espectral de interés. Técnicas similares se han empleado con anterioridad en sistemas de reconocimiento. A partir de estas zonas extraer rasgos característicos de la misma. De los cuales pudieran calcularse parámetros que brinden información de la calidad articulatoria.

En la literatura aparecen diferentes tipos de algoritmos basados en la medida de la transición espectral. Para facilitar el análisis de la señal acústica de estudio, se necesita una implementación que pueda determine el lugar exacto donde esta ocurre y a partir de ella se puedan calcular una serie de parámetros, que brinden información de interés teniendo en cuenta las características articulatorias de los grupos disátricos seleccionados en este estudio. Para resolver este problema se debe elegir un algoritmo apropiado e implementarlo para su posterior uso.

De este problema se originan las siguientes interrogantes científicas:

- ¿Cómo implementar un algoritmo basado en la medida de la transición espectral utilizando técnicas empleadas en sistemas de reconocimiento, que pudiera servir para dar una evaluación objetiva de la calidad articulatoria?
- ¿Cómo evaluar la efectividad de la implementación realizada?

Por lo tanto el objetivo general del presente proyecto es:

Implementar una herramienta virtual, basado en un algoritmo validado en la literatura, que permita evaluar la articulación a través de una serie de parámetros, en pruebas de diadocoquinesis realizadas a pacientes de grupos representativos del habla disártrica, teniendo en cuenta los puntos donde ocurren cambios espectrales de interés.

De este objetivo general se derivan los objetivos específicos siguientes:

- Seleccionar el algoritmo adecuado.
- Programar el algoritmo seleccionado en MATLAB versión 7.2.
- Evaluar los resultados alcanzados.

Con este proyecto se contribuye al desarrollo en el área del procesamiento de voz y un mejor análisis de la articulación en la disartria.

La implementación de estas soluciones permitirá a los especialistas e investigadores realizar estudios y análisis comparativos, que contribuirán a una mejor evaluación en materia de rehabilitación de pacientes con habla disártrica.

El informe de la investigación se estructura en introducción, capitulo, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

En la introducción se deja definida la importancia, actualidad y necesidad del tema que se aborda.

El Capítulo 1 se dedica al análisis de la literatura teniendo en cuenta lo poco que hay reportado en materia de articulación en ella. Se comentan varios tipos de medidas aplicadas en la disartria y otros desordenes del habla realizando una selección y profundización de las que se consideran más importantes a tener en cuenta.

El Capítulo 2 se utiliza para expresar el diseño metodológico de la investigación y el algoritmo seleccionado. Además se explica algunas de las técnicas empleadas para lograr el objetivo. Se expresan las modificaciones realizadas en el algoritmo con respecto a otros basados en la medida de la transición espectral reportados en la literatura.

En el Capítulo 3 se realiza la validación de la efectividad del método mediante la comparación de los resultados obtenidos con respecto a otros estudios similares y por inspección visual de la señal en análisis.

## **Medidas relacionadas con los desordenes de la Articulación**

*Resumen:* En este capítulo se hace un análisis de los diferentes aspectos de la articulación, así como de las diferentes características acústicas del habla en personas con disartria y los tipos de modificaciones que le ocurren a la articulación. Debido a la gran importancia que juegan estos factores en los distintos cambios espectrales que ocurren en la señal del habla. Además se realiza un estudio de los diferentes tipos de relaciones acústicas y medidas validadas en la literatura para una posterior selección del algoritmo a implementar.

### **1.1 La señal objeto de estudio**

La Disartria comprende un conjunto de desordenes neurológicos en el habla debidos a una debilidad o deficiencia de la coordinación de los músculos relacionados con la producción del habla. El habla puede ser lenta imprecisa o descoordinada. Puede afectar tanto a niños como a adultos. La Disartria en la infancia puede ser congénita o adquirida. Es a menudo un síntoma de una enfermedad como la parálisis cerebral, la distrofia muscular entre otras. En adultos la disartria puede darse como resultado de enfermedades degenerativas (Parkinson, Huntington, ELA, Esclerosis Múltiple), infecciones (Meningitis), y tumores cerebrales. En ambos, adultos y niños, puede ser el resultado de lesiones en la cabeza.

Las personas con dichas enfermedades o con discapacidad auditiva tienen como resultado un habla desordenada con problemas de articulación y poca funcionalidad prosódica (falta de entonación o entonación inexacta).

Los subsistemas que intervienen en la producción del habla deben de trabajar coordinadamente. El habla inteligible es el resultado de una secuencia de procesos. La respiración, la fonación, la resonancia, la articulación y la prosodia necesitan interactuar en coordinación. Una afectación en cualquiera de los subsistemas puede resultar en un desorden de la comunicación.

El impacto relativo de la calidad vocal, la nasalidad, la articulación y la prosodia han sido analizados en estudios recientes. La articulación y la prosodia mostraron las correlaciones más fuertes con la inteligibilidad del habla[1].

Por tanto, encontrar medidas objetivas para la articulación y la prosodia es un componente esencial para determinar índices de inteligibilidad.

### **1.2 Articulación**

#### **1.2.1 Funciones del Tracto Vocal para Articulación de Vocales: Correlaciones espectrales**

Kent et al, 1999 sugiere un conjunto de medidas para representar la articulación entre las que se encuentran los valores absolutos de la frecuencia de F1, F2, F3. Diferencias de los valores absolutos de F2-F1, F1-F0 y el triangulo o cuadrilátero vocálico.

La articulación de la vocal es usualmente indizada acústicamente por medidas de la frecuencia de los formantes, principalmente el primero, segundo y tercer formante (F1, F2, F3). Los datos obtenidos de las frecuencias de los formantes para las vocales han sido reportados como valores absolutos para determinados grupos de sexo y edad y algunos artículos han reportado el uso del área plana de la vocal[2][3].

Una regla general en las relaciones acústicas articulatorias es que la frecuencia F1 varía inversamente con la altura de la lengua y F2 varía inversamente con el avance de la lengua. Una interpretación alternativa es que la diferencia de F2-F1 incrementa con el avance de la lengua. Este valor de diferencia puede ser expresado en frecuencia absoluta o como alguna transformación. Una advertencia en el uso de la diferencia de F1-F0 en el habla con disartria es que F0 está sujeto a muchas influencias y puede ser errático en algunos ejemplos de disartrias. Particularmente cuando la función laríngea es altamente variable o cuando el sujeto está disfónico, la diferencia de F1-F0 es un valor cuestionable.

Las relaciones acústicas-articulatorias para la vocal pueden ser resumidas como siguen:

- Adelantado - F2 (alto), larga separación de F2-F1
- Retrasado - F2 (bajo), pequeña separación de F2-F1
- Baja -F1 (alto) larga separación de F2-F1
- Alta -F1 (bajo) pequeña separación de F1-F0
- Centralizada - todos los valores de los formantes convergen.

Contraste de las vocales reducido –reducción del área plana del triángulo vocálico

### **1.2.2 Producción de las vocales en pacientes con disartria**

Las anomalías reportadas con mayor frecuencia en la articulación de vocales en pacientes con disartria incluyen: centralización de las frecuencias de los formantes [4][5], reducción del área plana acústica de las vocales, y aparición de frecuencias anormales para las vocales altas y frontales [6].

La inestabilidad en los patrones de formantes de las vocales puede ser de interés. Fluctuaciones en las frecuencias de los formantes es una variabilidad del patrón de formantes en la vocal sostenida [8]. Estas fluctuaciones han sido usadas para registrar movimientos involuntarios en el tracto vocal en enfermedades como Corea o Distonía.

### **1.2.3 Funciones del tracto vocal para la articulación de las consonantes: Correlaciones espectrales**

Kent et al, 1999 [7] sugiere un conjunto de medidas: Espectro de oclusivas sordas o ruido de fricación. Transiciones de formantes para CV y VC.

Dado que las consonantes son una clase compleja de sonidos no hay una sola medida que pueda aplicarse, una usual descripción puede ser entre sonoras y sordas, las sonoras (líquidas y nasales) puede ser descritas por patrones de formantes y antifonantes en segmentos de transición. Las sordas (oclusivas, africadas, fricativas)

involucran un evento fricativo: una explosión seguida de un breve intervalo de ruido para las africadas o un largo intervalo de ruido para las fricativas.

#### 1.2.4 Explosión y ruido fricativo en la Disartria

Las propiedades espectrales del fin de la explosión y el ruido fricativo han sido estudiadas tanto en la disartria como en la afasia [9].

No hay un medio generalmente aceptado que represente el ruido espectral como un número pequeño de índices cuantitativos. Los momentos espectrales pueden ser suficientes para muchos propósitos pero estos no han sido ampliamente utilizados en el estudio de la disartria.

**Primer momento** (media) Da el centro de gravedad para el ruido y parece ser sensible a una mala articulación de las fricativas.

**Segundo momento** (desviación estándar) representa la distribución de energía alrededor de la media, da una medida de los valores esparcidos alrededor de la media, su formula está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Standard deviation} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1)$$

Se calcula encontrando el promedio de la distancia de cada valor de la media.

**Tercer momento** (*skewness*) describe la simetría de la distribución. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{skewness} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n - 1} \bigg/ s^3 \quad (2)$$

La medida estadística *skewness* es cuantificada dividiendo el promedio elevado al cubo de las distancias por el cubo de la desviación estándar, valores mayores que cero indican skew positivas y menores que cero skew negativa

**Cuarto momento** (*kurtosis*) está relacionado con la distribución de los picos de energía. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{kurtosis} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n - 1} / s^4 \quad (3)$$

Distribuciones más picudas de lo normal son llamadas **leptokurtosis** y menos picudas **platykurtosis**. Esta ecuación es casi la misma que la de skewness excepto que las distancias de la media están elevadas a la cuarta potencia y el promedio de las distancias es dividida por la desviación estándar elevado a la cuarta potencia. Un resultado igual a 3 indica cero kurtosis, mayores que 3 indican leptokurtosis y menores que 3 platykurtosis.

En uno de los pocos estudios donde los momentos espectrales fueron aplicados en la disartria, se compararon los espectros fricativos del habla de personas con ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis) con el habla de personas neurológicamente sanas. La diferencia en frecuencia para el primer momento fue correlacionada con evaluaciones perceptuales de la precisión de la consonante. Se demostró que el primer momento (media espectral) es un índice útil de producción fricativa, particularmente cuando es combinado con la medida de la duración y la energía del segmento de ruido[10].

### 1.2.5 Índice de la pendiente de F2 en la Disartria.

Un índice acústico que ha sido correlacionado en la articulación es la pendiente de la transición de F2 en la secuencia consonante-vocal[11]. En pacientes con ALS el promedio de la pendiente de F2 para un pequeño número de palabras de prueba (índice de la pendiente de F2) fue correlacionada con puntuaciones globales de la inteligibilidad del habla para dichos pacientes. Fue reportado que la disminución en la inteligibilidad global del habla en personas con ALS es paralela a una disminución consistente en la pendiente de F2 [12].

### 1.2.6 Medidas de la Energía en Disartria.

La precisión del momento de la transición al finalizar la consonante es determinado en parte por la medida de la energía acústica. En general la zona donde termina la consonante es asociada al silencio virtual del fin de la apertura. Pero algunos pacientes con disartria especialmente aquellos con la enfermedad de Parkinson tienden a producir energía durante el silencio. Esta energía tiende a tener una o dos formas: ruido turbulento (*spirantization*), generado en el sitio de constricción oral por una oclusión incompleta lo que ocurre dado que hay una pobre coordinación de la acción de la laringe y la supra laringe.

Los espectros de energía son generalmente muy distintivos para este tipo de error. La energía al final de la abertura ocurre generalmente para sílabas que no reciben el acento primario [13]. Pero en personas con un deterioro severo de la articulación la energía se puede notar frecuentemente en las consonantes, en sílabas de variados niveles de

acentuación o cuando se les pide que repitan las sílabas continuamente (diadocoquinesis).

### 1.2.7 Función Velofaríngea.

Los cambios en las frecuencias de los formantes, reducción en la amplitud de los formantes, incremento en el ancho de banda de los formantes, presencia de formantes nasales y antiformantes caracterizan acústicamente la nasalidad[14].

### 1.2.8 Coordinación de la actividad laríngea y supralaríngea.

El parámetro más utilizado tanto en voces normales como patológicas para evaluar la coordinación entre los subsistemas es VOT.

El voice onset time (VOT) se define como: El intervalo entre la oclusión y el comienzo de energía periódica, el intervalo fisiológico entre la liberación de la constricción de la consonante y el comienzo de la vibración de las cuerdas vocales.

Algunos autores estiman que este índice debe ser combinado con otras medidas para emitir un criterio Ej. LDG (laryngeal devoicing gesture) Tiempo de cierre+VOT.[Kent et al, 1999][7].

## 1.3 Exploración de otras herramientas para medir articulación.

Dado que la articulación ocurre entre por lo menos dos fonemas, las consonantes y las vocales están estrechamente relacionadas, y la información más importante no está relacionada con los segmentos estacionarios, los parámetros acústicos ampliamente usados en el análisis de la de la calidad vocal están descartados. Debe pensarse en métodos aplicables tanto a segmentos sordos como sonoros que representen o cuantifiquen la envolvente espectral.

### 1.3.1 Representaciones Espectrales.

Como primera forma de representar espectralmente la señal de voz mencionaremos el Cepstrum, por su vasto empleo en las técnicas de reconocimiento [15]; este no es más que la transformada inversa de Fourier (IDTFT) del logaritmo de la magnitud de la transformada de Fourier de tiempo discreto de la señal (DTFT). El Cepstrum de la señal  $x[n]$  se define como:

$$c[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log |X(e^{i\omega})| e^{i\omega n} d\omega, \quad (4)$$

Donde la (DTFT) de la señal está dada por la siguiente ecuación:

$$X(e^{i\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-i\omega n}. \quad (5)$$

Para pueda ser usado en el procesamiento de voz debemos sustituir estos por operaciones computables. Lo que se puede hacer dado que la Transformada Discreta de Fourier (DFT)[computada por un algoritmo de la transformada discreta de Fourier de tiempo corto (FFT)] es una versión muestreada de la DTFT de una secuencia de longitud finita [16].

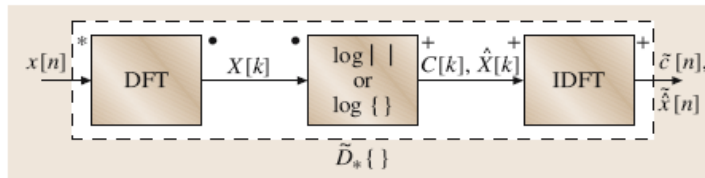


Fig. 0-1 Computo del Cepstrum usando DFT.

Donde

$$\begin{aligned}
 X[k] &= \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-i(2\pi k/N)n} \\
 \hat{X}[k] &= \log |X[k]| + i \arg\{X[k]\} \\
 \tilde{x}[n] &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{X}[k] e^{i(2\pi k/N)n},
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

La DTFT se reemplaza por la DFT, la tilde ( ~ ) encima del símbolo  $c[n]$  y  $\hat{x}[n]$  es usado para enfatizar que el cómputo del cepstrum usando DTF carece de aliasing en el dominio del tiempo.

Las técnicas de análisis de predicción lineal usualmente conocidas como *linear predictive coding* (LPC) como otra forma de representación espectral son ampliamente usadas en los sistemas de procesamiento digital de la señal de voz. En LPC como en el modelo todo polo es obtenido por asumir primeramente que la salida  $s[n]$  es equivalente a la señal de voz dada  $x[n]$ , luego se calculan un grupo de coeficientes de predicción ( $\alpha_k$ ), lo que minimiza el cuadrado medio de predicción de error.

$$E = \left\langle e^2[n] \right\rangle = \left\langle \left( x[n] - \sum_{k=1}^p \alpha_k x[n-k] \right)^2 \right\rangle
 \tag{7}$$

El espectro LP suavizado resuelve mejor los picos principales en el espectro armónico. Los tres primeros picos principales en la estructura armónica coinciden con los tres primeros formantes (F1, F2, F3). En la Fig. 0-2 el pico fuerte que se encuentra sobre los 4 kHz posiblemente refleja una frecuencia de resonancia del tubo de la laringe. Los factores sub-glotaes son con todas probabilidades responsables del pico menor armónico en 1Khz. Se puede ver que los picos del espectro LPC tienden a ser

influenciados hacia un pico armónico cercano al espectro de tiempo corto. Esto puede causar algún tipo de variabilidad en la representación del espectro LPC.

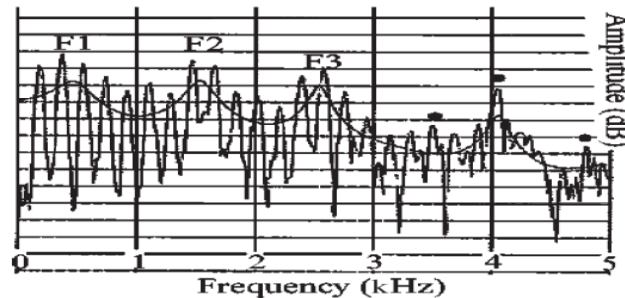


Fig. 0-2 Armónicos y Espectro de Predicción Lineal

En la figura I-3 se muestra la función de autocorrelación y el Cepstrum de un segmento de la señal de voz. La función de auto correlación  $r[k]$  es la IDTFT de  $|X(ei\omega)|^2$  mientras que el cepstrum  $c[n]$  es la IDTFT del  $\log |X(ei\omega)|$ . Como en el cepstrum la función de auto correlación muestra un pico que corresponde con el periodo fundamental de la señal, sin embargo este pico no es muy distinto al del cepstrum. En el análisis LPC las variaciones periódicas de la transformada de Fourier de tiempo corto son eliminadas haciendo  $p$  mucho menor que el período fundamental  $P_0$ . La línea gris débil muestra los valores de auto correlación seleccionados para determinar un sistema de modelación con  $P=12$  la cual es mucho menor que el valor de  $P_0=92$  determinados por el cepstrum.

El valor de  $p$  es suficiente para representar los efectos combinados del tracto vocal y el espectro glottal para frecuencias de muestreo de 8 kHz Pero demasiado pequeño para representar los detalle finos en el espectro de tiempo corto. Generalmente el orden  $p$  se escoge para proveer una resonancia por kHz de ancho de banda con 2 o 4 polos extras para representar el espectro global.

Las pequeñas diferencias en los picos de las frecuencias de los formantes en dos espectros LP similares pueden ser relativamente grandes a la hora de establecer diferencias globales que puedan afectar el reconocimiento. Sin embargo el Cepstrum al ser más suave, esas pequeñas diferencias no tienen mucho efecto, tiende a exhibir

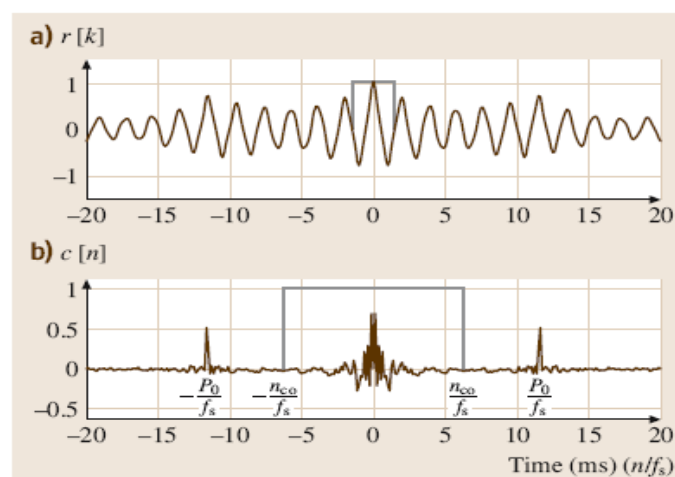


Fig. 0-3 (a) Función de autocorrelación utilizada en el análisis LPC. (b) Cepstrum

mayor inmunidad a las variabilidades que no tienen mucha información en el espectro de la señal [17]. Pero dado que el espectro LPC resuelve mejor los picos relacionados a los formantes, resultan de gran utilidad y brindan información clínicamente utilizable como es el índice de la pendiente de F2, antes mencionados.

### 1.3.2 Cepstrum a partir del LPC.

En el método LPC el segmento corto del habla enventada es representado primeramente por los  $p+1$  valores de autocorrelación  $r[k]$  donde  $k = 0, 1, \dots, p$ , seguido por los coeficientes de predicción  $a_k$ , para  $k = 1, 2, \dots, p$ , finalmente por la transformada Z,  $H(z)$ . La truncación de la función de autocorrelación para los valores  $p+1$  causa el suavizado que se busca para estimar el tracto vocal. Correspondiente a  $H(z)$  hay una respuesta al impulso  $h[n]$ . Seguidamente el análisis LPC calcula los parámetros de la transformada Z de  $h[n]$  [16].

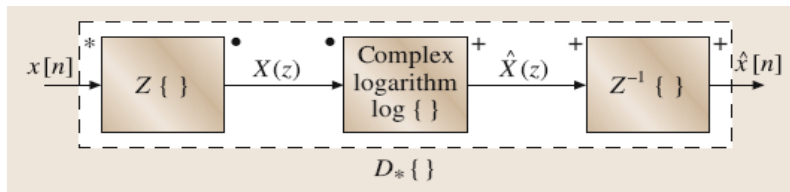


Fig. 0-3 Representación Z transformada de las características del sistema para convolución

De esta forma puede el operador  $Z\{\}$  ser sustituido por el análisis LPC como una implementación en la Fig. 0-3, cuando la entrada es  $h[n]$ . Dado que el estimado del modelo LPC es de fase mínima (todos los polos dentro del círculo unitario), además de que el cepstrum complejo de la respuesta al impulso del modelo LPC es

$$\hat{h}[n] = \begin{cases} 0 & n < 0 \\ \log G & n = 0 \\ \sum_{k=1}^{M_i} \frac{c_k^n}{n} & n > 0 \end{cases} \quad (8)$$

El Cepstrum queda de la siguiente forma

$$c[n] = \text{Ev}\{\hat{h}[n]\} = \begin{cases} \log G & n = 0 \\ \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{M_i} \frac{c_k^{|n|}}{|n|} & n \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

### 1.3.3 La Transición Espectral

Investigaciones recientes han mostrado que las posiciones de la Transición Espectrales Máximas están relacionadas con los puntos críticos perceptuales que contienen la información más importante en la percepción de las consonantes y las sílabas [18][19].

En un experimento realizado con el objetivo de aplicarse en reconocimiento[18], Furui calculó la energía utilizando ventanas de 30 ms a intervalos de 10 ms a lo largo de toda la señal. El comienzo y el final de cada sílaba se determinaron colocando un valor umbral de energía. El centro de la vocal se obtuvo en el punto donde la transición tendía al valor mínimo y el valor de la energía se hace máximo para la sílaba. Para extraer los coeficientes cepstrales cada 5 ms, se aplicaron ventanas de Hamming de 30 ms.

La medida de la transición espectral en tiempo fue definida como:

$$STM(t) = \sum_{i=1}^p a_i^2 / p \quad (9)$$

Donde

$$a_i = \left( \sum_{n=-n_0}^{n_0} C_i(n) \right) / \left( \sum_{n=-n_0}^{n_0} n \right) \quad (10)$$

Para este estudio  $p$  es el número de coeficientes,  $C_i(n)$  es el orden de los coeficientes cepstrales ( $1 < i < p$ ) para las  $n$  ésimas tramas dentro del intervalo cuyo centro es  $t$  y la longitud del intervalo es  $2n_0 + 1$ .

Luego se aplica una regresión lineal de los coeficientes cepstrales que corresponde a la variación lineal del patrón de la envolvente en una unidad de tiempo representada por el cepstrum.

Entre los resultados obtenidos por Furui, se definió el Intervalo Esencial para varios grupos de sílabas, para el caso de las sílabas que contienen una consonante y una vocal, comprende desde el punto donde comienza la aspiración, o sea en la posición inicial de la sílaba hasta 20 ms después de establecida la vocal, para este grupo la duración del intervalo esencial se determinó que en general es menor que 50 ms. Por tanto, es de gran importancia poder determinar el intervalo esencial de las sílabas ya que en este se encuentra la verdadera transición espectral.

Otra definición dada en este reporte es la de Intervalo Crítico, el cual se encuentra definido por los puntos críticos perceptuales. El primer punto crítico perceptual, es aquel a partir del cual, si se trunca la sílaba por su parte inicial, se obtiene un deterioro marcado en la inteligibilidad de la misma, o sea, es el punto hasta donde la consonante puede ser recortada e identificada. El segundo punto crítico perceptual se obtiene recortando la sílaba desde el final hasta donde la misma es aun reconocible. Luego el intervalo crítico contiene la información necesaria tanto de la consonante como de la vocal para que la sílaba sea reconocida.

Un experimento similar fue llevado a cabo por Dr. Hernandez – Diaz M. en el reporte “*The development of objective tools to assess and manage articulation and prosody in hearing impaired and dysarthric patients*”; para probar si la medida de la transición espectral propuesta por Furui en [18] es válida para tasas de muestreo de 44.1 kHz

debido a que el algoritmo original de Furui fue desarrollado con datos muestreados a una frecuencia de 8 kHz y 10 coeficientes cepstrales. Transiciones similares fueron obtenidas utilizando ambas tasas de muestreo. Para lograr esto los rasgos espectrales utilizados fueron los coeficientes cepstrales  $C_i$  los cuales han sido utilizados extensivamente en los sistemas ARS (*automatic speech recognition*) y los detalles del computo de los mismos pueden ser encontrados en [16]. Primeramente cada uno de los datos fue transformado en tramas espectrales utilizando ventanas de Hamming de 30 ms con un paso de 2.5 ms entre ellas a cada una de las cuales se extrajo un grupo de coeficientes cepstrales  $p$  desde 1 hasta el 55 excluyendo el coeficiente de orden cero ya que este representa el total de la energía [20].

La medida de las transiciones espectrales por sus siglas en ingles (SMT) obtenida por este es comparada con la señal temporal planteada como se muestra en la figura.

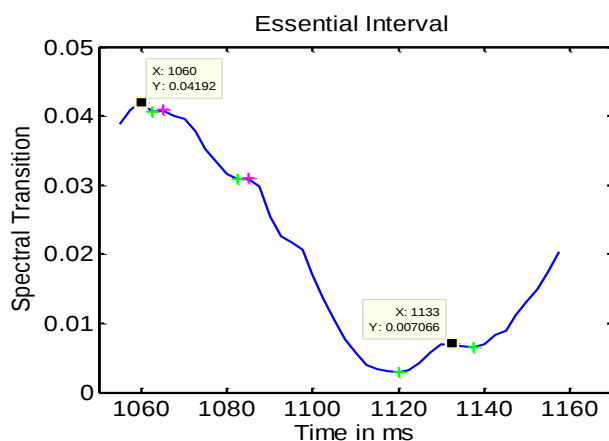


Fig I.5 SMT del segmento correspondiente a la sílaba

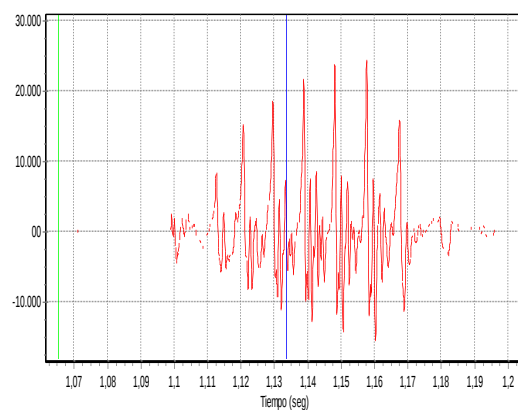


Fig I.6 Intervalo Esencial Para la misma Sílaba

Utilizando una base de datos de pacientes con Disartria seleccionados de las Clínicas Mayo a los cuales se les realizaron pruebas de diadocoquinesis. Para cada uno de los vectores estimados como intervalo esencia de las secuencias de sílabas se les calculo la kurtosis y la media, reflejando que los intervalos detectados de forma automática por el algoritmo correspondían con los inspeccionados visualmente en un 81.8% de los casos en un intervalo de  $\pm 2.5$  ms, mostrando que los segmentos con duraciones menores a los reportados generalmente se presentan en pacientes disátricos. La media del intervalo esencial no reflejo la severidad de los desordenes del habla.

Finalmente se propusieron los siguientes rasgos para establecer una correlación con las evaluaciones subjetivas de la severidad articulatoria; el intervalo esencial, incluida su desviación estándar y la kurtosis para secuencias de la misma sílaba; la pendiente de la transición y su desviación para las secuencias, y el área asociada a los picos de la transición. Contando con evaluaciones perceptuales de la articulación de tres expertos de las sílabas /pa/, /ta/ y /ka/. Estas evaluaciones fueron correlacionadas con los rasgos extraídos de la transición para cada uno de los grupos de pacientes.

#### **1.4 Conclusiones parciales.**

Mientras en la literatura aparecen muchos trabajos relacionados con medidas de la calidad vocal muy pocos pueden ser encontrados que desarrollen medidas objetivas de la articulación. Por tanto el presente trabajo está orientado a investigar la relación entre las características principales de la articulación y la transición espectral y medidas derivadas, las cuales podrían ser utilizadas como la base de una valoración objetiva para la calidad de la articulación, teniendo esta un papel de importancia para determinar un índice de inteligibilidad en el habla.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

*Resumen.* En el desarrollo de este capítulo se definirán los materiales y métodos utilizados para la realización del trabajo. También se realiza una descripción de los criterios manejados en la implementación del algoritmo seleccionado, con la cual se explican sus ventajas con respecto a otras investigaciones antes mencionadas, así como sus características principales y las herramientas utilizadas en el mismo.

### 2.1 Selección del algoritmo.

El procesamiento general del algoritmo toma como base el trabajo desarrollado por Dr. Hernandez – Diaz, M. en su reporte antes mencionado, el cual fue desarrollado a partir de la propuesta de Furui en [18]. En dicho trabajo, se explora la transición espectral de consonantes oclusivas en pruebas de diadocoquinesis para varios grupos disártricos que reportan distorsión o imprecisión articulatoria. A partir de la transición espectral se extraen algunos rasgos propuestos en [19] por su importancia en el análisis de la señal acústica, así como la valiosa información que proveen.

La medida de la transición espectral utilizada en este estudio es la misma que se propuso en [18] y descrita en el epígrafe 1.3.3 la cual puede ser interpretada como la magnitud de la razón de cambio espectral.

### 2.2 Modificaciones hechas al algoritmo con relación a los trabajos de Hernández, Dusan y Furui.

Para este estudio se contó con una base de datos representativos de varios grupos disártricos, las cuales fueron las mismas empleadas en [19] lo que resulta de gran utilidad para establecer comparación en cuanto a resultados.

A diferencia de otros estudios [19][20], a estos datos se les realizó un diezmo a una tasa 5:1 produciendo un efecto de filtrado paso bajo, o sea, hasta 8 kHz (la misma frecuencia de muestreo propuesta por Furui en [18]). Este paso se implementó utilizando la función *decimate* la cual forma parte del paquete de software libre Voice Box de Matlab. Teniendo en cuenta que la información de importancia para la señal de voz está contenida en una banda de frecuencia de hasta 4 kHz, no es preciso extender el espectro hasta 22 kHz.

#### 2.2.1 Diferencias en Cuanto a Características Espectrales.

A diferencia del estudio realizado por Hernández – Díaz, donde se emplearon los coeficientes Cepstrales, o en [20] en la cual la transición se determinó a partir de los

Mel-Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC); para este proyecto la característica espectral utilizada fue el Cepstrum a partir de los coeficientes LPC, como en [18]. Los cuales han sido ampliamente usados en los sistemas de procesamiento digital de la señal de voz y los detalles de su obtención pueden ser encontrados en [16]. Para cada una de las pruebas de diadocoquinesis en la base de datos, las señales de voz primeramente fueron transformadas en tramas espectrales aplicándose ventanas de Hamming de 30 ms, el paso entre ellas elegido fue de 2.5 ms para una representación más refinada del intervalo crítico mientras que en [18] fue de 10ms y en [20] de 5 ms. El número de coeficientes LPC se fijó en 12, después de realizar dicho enventanado. Se seleccionaron 12 coeficientes cepstrales, excluyendo el coeficiente de orden cero, este no fue usado dado que este análisis se enfoca solamente en los rasgos espectrales; estos coeficientes son suficientes para representar los efectos combinados del tracto vocal y la excitación para frecuencias de muestreo de 8kHz como se explica en el epígrafe 1.3.1.

### 2.2.2 Diferencias en Cuanto a la Medición de la Transición Espectral.

El criterio usado en este estudio para la extracción de rasgos que puedan ser de importancia para evaluar la articulación es basado en la medida de la razón de cambio espectral. Puesto que esta generalmente muestra picos en la transición CV, tal medida puede ser usada para extraer y calcular los momentos espectrales.

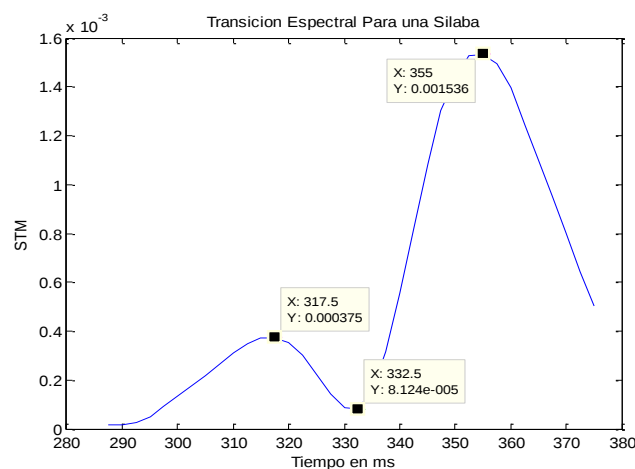
La Medida de la Transición Espectral (STM, del Inglés *Spectral Transition Measure*) empleada en este estudio, es la misma que fue propuesta en [18] y que además ha sido utilizada en estudios relacionados a la articulación, tales como [20], la misma puede ser interpretada como la magnitud de la razón de cambio espectral. Esta medida de la transición espectral puede ser calculada por una implementación de la ecuación (9) en la cual  $d_i$  es el número de coeficientes de regresión. La longitud del intervalo  $(2n_0 + 1)$  del cual se extraen los coeficientes de regresión  $d_i$  es de 50 ms la cual corresponde a 1/3 de la longitud de la sílaba en la articulación natural del habla continua [18] centrado en la trama a la cual la  $STM(t)$ , es calculada. Este valor parece ser adecuado para preservar la información de transición asociados con los cambios de un fonema a otro y además para representar la transición de la envolvente espectral por aproximación lineal. Es por este motivo que en este estudio para representar la envolvente de la transición, la ventana a la cual se le extraen los coeficientes de regresión lineal se abre hasta 100 ms alrededor del punto medio, pues el primer punto de interés de la transición necesita las tramas previas correspondientes a 25 ms y el último punto de interés necesita también las tramas correspondientes a 25 ms después del mismo.

## 2.3 Extracción de Rasgos en la Transición Espectral.

A partir de haber podido determinar la zona donde ocurre la transición espectral en la secuencia CV y de haber medido y representado la envolvente de la misma, se procede a extraer de esta, rasgos característicos con los que se pudieran calcular los momentos espectrales.

### 2.3.1 Determinación del Intervalo Crítico

El primer rasgo propuesto y medido en [19] es el intervalo esencial, pero para este estudio como primera propuesta fue la de medir no el intervalo esencial si no obtener una medida más aproximada al intervalo crítico propuesto por Furui. La selección de intervalo crítico está dada por la importancia de este en la evaluación de la inteligibilidad. Para ello el valor absoluto de la energía fue calculado en la misma ventana de la transición espectral. El comienzo de la vocal fue determinado por medio de un umbral particular en la onda de la energía (20% del valor máximo de la energía en toda la locución), centrando la ventana donde la energía alcanza el valor umbral. Un segmento de 100 ms de la medida de la transición espectral es seleccionado para determinar el intervalo crítico de la sílaba. Una lógica de picos y valles es incluida en un vector para determinar el intervalo crítico como se muestra en la figura II.1

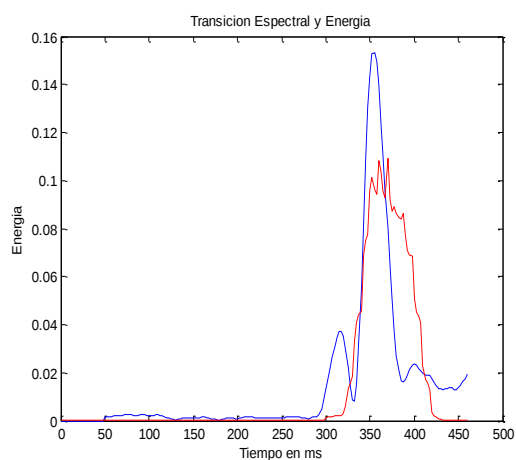


**Fig. II-1 Segmento SMT**

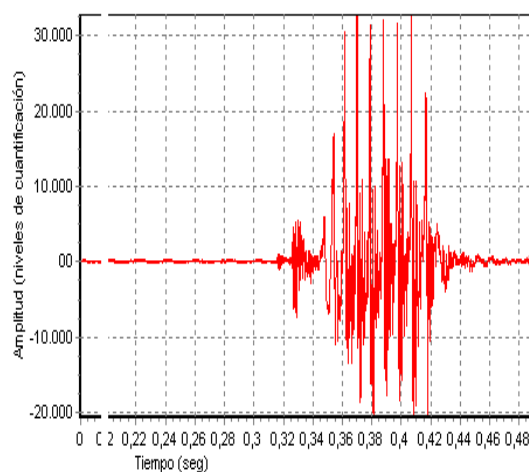
Para varias sílabas en los datos el intervalo crítico fue estimado por inspección visual de la señal temporal y el espectrograma. Con el objetivo de realizar una comparación de la detección del intervalo manual y automática. La Fig. II-2 muestra simultáneamente la transición espectral (azul) y la energía (rojo) para una sílaba (ka) de una prueba de diadocoquinesis.

La figura II.3 permite comprobar mediante el oscilograma de la señal temporal que el punto medio del intervalo en la figura II.1 es exactamente el punto donde comienza la transición de la consonante hacia la vocal y que los máximos de la transición coinciden aproximadamente con los límites del intervalo crítico.

Una comparación de la Fig. II-2 con la II.3 permite ver que la energía es una buena referencia para encontrar el punto medio alrededor del cual se va a buscar la transición.



**Fig. II-2 Transición Espectral y Energía para una Sílab**



**Fig.II-3 Oscilograma**

Una vez determinada los puntos que definen la transición espectral se pasa a extraer de la misma una serie de rasgos propuestos en [21] tales como **la pendiente de la transición** (entre el mínimo y el segundo máximo en la figura II.1), **el intervalo crítico aproximado** (entre los dos máximos en la figura II.1) y **el área** (área bajo la curva de máximo a máximo en la figura II.1).

### 2.3.2 Determinación de la Desviación Estándar.

La desviación estándar también fue calculada para cada uno de los rasgos en [19], pero a diferencia de lo anterior, en este trabajo, se halla la diferencia de cada uno de los parámetros de todas las sílabas de las pruebas de diadocoquinesis con respecto a la primera sílaba, **la desviación** para cada parámetro es el promedio de las diferencias de cada valor con respecto a la primera sílaba articulada. Esto se implementó tras haber evaluado cada uno de los datos y determinar que el primer fonema se articulaba mejor que los restantes, la calidad articulatoria y la energía decaía con el tiempo en la mayoría de los casos.

### 2.3.3 Determinación de la Kurtosis

Con el vector de intervalo crítico estimado para una secuencia de sílabas dadas, **la kurtosis** y el valor medio es calculado. La kurtosis para este proyecto es calculada de la misma forma que en [19].

### 2.3.4 Determinación de la Pendiente

Dado que la pendiente de la transición espectral, que corresponde con el intervalo crítico, se encuentra relacionada con la calidad de la articulatoria [21], resulta de suma importancia poder determinarla para establecer una evaluación objetiva de la calidad articulatoria.

### 2.3.5 Procesamiento General.

En la figura 2.4 se muestra en síntesis una descripción general de los pasos seguidos por el algoritmo implementado en este estudio. La secuencia de pasos puede ser descrita como sigue:

- (a) Acondicionamiento de la señal de voz: A cada uno de los datos de las pruebas de diadocoquinesis se le realiza un diezmo equivalente a un filtrado paso bajo con el objetivo de limitar el espectro a 4 kHz, para de esta forma eliminar ruidos que pudieran estar presentes en la señal y afectar el resultado.
- (b) Determinación del segmento a analizar y determinación de la posición de la ventana de análisis para cada sílaba: Los valores absolutos de la energía son calculados sobre ventanas de 30 ms a intervalos de 2.5 ms a través de toda la señal. El comienzo de la vocal es determinado por un valor umbral particular de la energía (20% del máximo de

la energía). En este punto se abre una ventana en la cual se mide la transición espectral descrita en epígrafe 1.3.3.

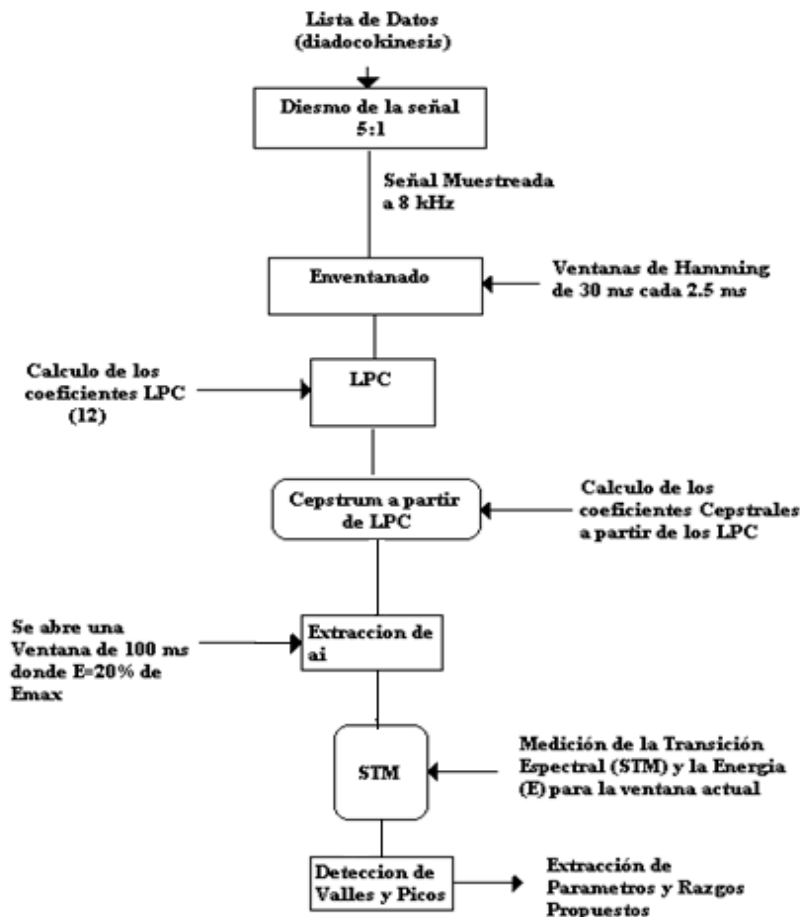


Fig.II-4 Diagrama de Bloques General del Algoritmo

## 2.4 Materiales.

Para determinar las posiciones de las transiciones espectrales de interés teniendo en cuenta parámetros de energía en la señal temporal se contó con una base de datos de pruebas de diadocoquinesis de pacientes con Disartria seleccionados de las Clínicas Mayo [22].

Un total de 59 grabaciones muestreadas a frecuencias de 44.1 kHz y una resolución de 16 bits con un solo canal (mono), se escogieron de la base de datos. Las consonantes oclusivas, (/p/, /t/, /k/) en las pruebas de diadocoquinesis fueron las seleccionadas dado que sus características fonéticas son bien conocidas. Estas pruebas son útiles para

determinar la velocidad y la regularidad de los movimientos recíprocos. Esto permite dar una valoración de la precisión articulatoria y del cierre velofaríngeo [23]. En la tabla 1 se relaciona la cantidad de pacientes seleccionados por grupos disártricos.

TABLA I  
NÚMEROS DE PACIENTES PARA LOS GRUPOS DISÁRTRICOS REPRESENTATIVOS

| <i><b>Tipo de Disartria</b></i> | <i><b>n</b></i>  |
|---------------------------------|------------------|
| <i><b>Flácida</b></i>           | <i><b>5</b></i>  |
| <i><b>Espástica</b></i>         | <i><b>5</b></i>  |
| <i><b>Atáxica</b></i>           | <i><b>8</b></i>  |
| <i><b>Hipokinetica</b></i>      | <i><b>7</b></i>  |
| <i><b>Distonía</b></i>          | <i><b>10</b></i> |
| <i><b>Corea</b></i>             | <i><b>8</b></i>  |
| <i><b>Temblor Orgánico</b></i>  | <i><b>4</b></i>  |
| <i><b>PFLM</b></i>              | <i><b>3</b></i>  |
| <i><b>ELA</b></i>               | <i><b>8</b></i>  |

Las evaluaciones subjetivas del experimento fueron diseñadas y llevadas a cabo en colaboración con expertos en patologías del habla de la Universidad Hospital de Amberes. A los expertos se les pidió que evaluaran por separados los sonidos /pa/, /ta/ y /ka/ porque estas sílabas involucran diferentes articuladores y podrían tener diferente percepción de severidad. Por otro lado ellas presentan diferentes características en la transición espectral como se describe en [18]. Tres expertos participaron en las evaluaciones, cada uno de ellos con amplia experiencia en patologías del habla con más de 7 años en servicios neurológicos. Todos ellos estaban familiarizados con el diagnóstico y el tratamiento de desórdenes motores del habla. Todas las muestras fueron evaluadas en una sección. Las evaluaciones fueron hechas siguiendo las instrucciones de Chenery (1998)[24]. Quien usó las siguientes categorías para describir la precisión de las consonantes.

- (0) Producción precisa y normal de las consonantes.
- (1) Imprecisión notable en la producción de consonantes.
- (2) Moderado grado de producción imprecisa.
- (3) Imprecisión severa de las consonantes (Interfiere con inteligibilidad y el reconocimiento de las consonantes)

El promedio de las tres evaluaciones fue seleccionado para fomentar el análisis y correlacionarlas con las medidas acústicas.

Para el desarrollo y prueba del algoritmo se empleó el paquete de software MATLAB, versión 7.2, para la plataforma Windows. El MATLAB posee características que lo hacen muy útil en el área del procesamiento de señales dado su amplia utilización en nuestros días como poderosa herramienta de cálculo por su facilidad de programación. Se hizo uso especialmente del ToolBox de Procesamiento Digital de Señales.

También fueron utilizados para el desarrollo de este trabajo algunos softwares libres, como el Colea[25] y el ECAH, que brindan facilidades para el análisis de la señal del habla pues cuenta con herramientas que permiten seleccionar un segmento en específico dentro de la señal, así como posibilidades de visualización, lo que resulta de gran importancia para el análisis de las diferentes características asociadas al fonema y el estudio de las modificaciones articulatorias que ocurren, por lo que pueden servir para validar la implementación y los resultados.

## **2.5 Método.**

El análisis es logrado por comparar los valores obtenidos de los parámetros propuestos, los cuales son extraídos de la medida de la transición espectral propuesta por Furui con las evaluaciones subjetivas hechas por los tres expertos de las sílabas /pa/, /ta/ y /ka/. Los resultados de las correlaciones entre los valores obtenidos para cada uno de los parámetros y el promedio de las tres evaluaciones hechas por los expertos fueron tabulados en tablas Excel (Anexo 1) para cada uno de los pacientes en cada una de las sílabas, representando articuladores diferentes. Regresiones lineales con los parámetros que exhiben una mejor correlación se realizaron para los grupos con resultados comunes.

## **2.6 Conclusiones del Capitulo.**

En el presente capitulo se describe el algoritmo implementado así como los materiales y métodos empleados en el experimento para explorar las potencialidades de las medidas propuestas. Los resultados se discuten en el capítulo III.

### III. Resultados y Discusión

*Resumen:* En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos por el algoritmo programado. Teniendo en cuenta que el algoritmo original fue desarrollado a partir del análisis de las zonas de transición espectral, se han tomado un conjunto de pruebas de diadoquinesis, en pacientes representativos de grupos disátricos, para extraer de las mismas una serie de parámetros que puedan brindar información de interés.

#### 3.1 Resultado y Validez.

A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos y tabulados en Excel para cada una de las sílabas después de realizada la programación correspondiente de las funciones explicadas en el capítulo anterior. En amarillo se señalan las correlaciones fuertes de interés.

La tabla 2 muestra los resultados de la correlación entre el valor medio de la opinión de los expertos y cada uno de los parámetros propuestos y calculados durante el análisis de la sílaba /pa/.

**Tabla 2 Correlaciones para grupos disartricos en la sílaba /pa/.**

| /pa/ Correlaciones      | Int Crítico | Desviación | Kurtosis | Pendiente | Desviación | Área     | Desviación |
|-------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----------|------------|
| <b>Flácida</b>          | 0,306255    | -0,65563   | -0,53805 | -0,00983  | -0,96451   | 0,29504  | -0,94495   |
| <b>Atáxica</b>          | -0,55265    | -0,40102   | -0,1861  | 0,220819  | -0,44797   | -0,45425 | -0,25605   |
| <b>Espástica</b>        | 0,557866    | 0,588676   | -0,54671 | -0,0155   | -0,23793   | 0,599289 | 0,402309   |
| <b>Corea</b>            | -0,17519    | 0,464079   | 0,02543  | 0,144795  | 0,472941   | -0,52439 | 0,145516   |
| <b>Parkinsonism</b>     | -0,14517    | 0,008551   | -0,19371 | -0,58056  | -0,29589   | 0,173813 | 0,067298   |
| <b>Temblor Orgánico</b> | 0,058824    | 0,043774   | -0,76662 | -0,93094  | -0,28459   | 0,187867 | -0,19315   |
| <b>Distonía</b>         | 0,10607     | -0,18919   | -0,08822 | -0,12026  | 0,085618   | 0,291938 | -0,00823   |
| <b>ELA</b>              | 0,285299    | -0,25251   | 0,018097 | 0,545678  | -0,61752   | 0,111239 | -0,18478   |
| <b>PFLM</b>             | -0,98783    | 0,7145     | -0,98973 | -0,83884  | 1          | -0,9934  | 0,419009   |

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados del análisis homólogo en las sílabas /ta/ y /ka/.

Disartria Flácida, Temblor Orgánico y PFLM presentan los mejores resultados en la sílaba /pa/. Para el caso de PFLM presenta una desviación consistente en la articulación. Otras como el Parkinsonismo y ELA presentan solo una moderada correlación /pa/ para pendiente y la desviación de la misma respectivamente. Atáxica solo exhibe una moderada correlación en la desviación de la pendiente de /ka/. Las muestras de

Parkinson solo muestran una correlación fuerte en la sílaba /ka/ para el área. Esto puede relacionarse con las anomalías temporales que caracterizan este desorden y que son más evidentes en consonantes con VOT mayores, como es reportado por [23].

Las fallas irregulares, los movimientos alternativos y los temblores producen diferentes efectos en la articulación imprecisa, solo cuando un número mayor de articuladores están involucrados en la producción del sonido puede haber correlación.

**Tabla 3 Correlaciones para grupos disártricos en la sílaba /ta/.**

| /ta/ Correlaciones | Int Crítico | Desviación | Kurtosis | Pendiente | Desviación | Área     | Desviación |
|--------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----------|------------|
| Flácida            | 0,716183    | -0,43343   | -0,31273 | 0,670865  | -0,90586   | 0,683123 | -0,80864   |
| Atáxica            | -0,43607    | -0,23237   | 0,244997 | -0,13411  | 0,098895   | -0,43932 | 0,133217   |
| Espástica          | 0,077129    | -0,37542   | -0,82174 | 0,488534  | 0,343377   | 0,752335 | -0,34581   |
| Corea              | -0,60323    | 0,711145   | 0,297507 | 0,512295  | 0,398019   | -0,70892 | 0,572949   |
| Parkinsonism       | -0,3212     | -0,23129   | -0,08973 | -0,13103  | -0,10505   | -0,16804 | -0,24745   |
| Tremor Orgánico    | 0,2         | 0,856925   | 0,117505 | 0,849121  | -0,80412   | 0,000698 | 0,872486   |
| Distonía           | 0,596056    | -0,16786   | -0,26299 | -0,61322  | -0,17806   | -0,4017  | -0,42017   |
| ELA                | 0,624091    | -0,10579   | -0,95175 | -0,73439  | -0,88884   | 0,559161 | -0,24055   |
| PFLM               | -0,98198    | 0,493037   | -0,77511 | 0,536276  | -0,99438   | -0,94491 | -0,32219   |

**Tabla 4 Correlaciones para grupos disártricos en la sílaba /ka/.**

| /ka/ Correlaciones | Int Crítico | Desviación | Kurtosis | Pendiente | Desviación | Área     | Desviación |
|--------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----------|------------|
| Flácida            | 0,415171    | -0,72306   | 0,288824 | -0,15035  | -0,7524    | 0,77247  | -0,92655   |
| Atáxica            | -0,50477    | -0,31453   | -0,27733 | 0,066226  | -0,61487   | -0,0843  | -0,20514   |
| Espástica          | -0,47334    | 0,135205   | 0,040182 | 0,314304  | 0,539025   | 0,59016  | 0,131962   |
| Corea              | 0,399627    | 0,334014   | 0,488439 | 0,383663  | 0,661064   | 0,539792 | 0,512912   |
| Parkinsonism       | 0,438152    | -0,42026   | -0,18839 | -0,12061  | -0,0273    | 0,813978 | -0,30723   |
| Tremor Orgánico    | 0,140028    | 0,025659   | -0,13745 | 0,122499  | 0,894666   | 0,966195 | -0,0089    |
| Distonía           | -0,40536    | -0,58426   | -0,60547 | 0,528978  | -0,11302   | -0,32998 | -0,52685   |
| ELA                | -0,29267    | 0,266301   | -0,77779 | 0,398925  | 0,10205    | -0,45281 | -0,55773   |
| PFLM               | 0,381246    | -0,46847   | -0,82335 | -0,76824  | 0,203144   | 0,19143  | -0,59419   |

### 3.1.1 Mejores correlaciones para cada posición articulatoria en cada tipo de enfermedad.

En la siguiente tabla se resumen las mejores correlaciones para cada una de las posiciones articulatorias en cada una de las enfermedades representativas de la disartria. Lo cual es de gran importancia para establecer una relación entre los parámetros calculados y su relación con la articulación y la evaluación subjetiva dada por los expertos.

**Tabla 5 Mejores correlaciones vs parámetros para cada tipo de disartria en los sonidos /pa/, /ta/, /ka/**

| Disartrias                                   | Articulación                                                                                                                         | /pa/                                                            | /ta/                                                                                                      | /ka/                                                                                        |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flácida (Múltiples nervios craneales)<br>n=5 | Imprecisión *<br>Imprecisión bilabial, labiodental, lingual alveolar, vocales y líquidas. Débil presión de consonantes**             | Desviación de la Pendiente(-0,96)<br>Desviación del Área(-0,94) | Desviación de la Pendiente(-0,91)<br>Desviación del Área(-0,80)<br><br>Intervalo Crítico(0,72)            | , Área (0,77)<br><br>Desviación del Área (0,93)<br><br>Desviación de la Pendiente (-0,7524) |
| Espástica (Pseudobulbar)<br>n=5              | Lenta: imprecisión*<br>Contraste en los niveles de presión acústica en las consonantes.. La duración de fonema para la transición ** |                                                                 | Kurtosis(-0,82)<br><br>Área(0,75)                                                                         |                                                                                             |
| Mixta (ELA)<br>n=6                           | Lenta: imprecisión *<br>Fuerza reducida de labio; La lengua y la mandíbula **                                                        |                                                                 | Kurtosis(-0,95)<br>Pendiente(0,74)<br><br>Desviación de la Pendiente(-0,88)                               | Kurtosis(-0,77)                                                                             |
| Atáxica<br>n=8                               | Fallas irregulares*<br>Imprecisión de las consonantes**                                                                              |                                                                 |                                                                                                           |                                                                                             |
| Hipokinética (Parkinsonismo)<br>n=8          | Acelerada: imprecisión*<br>Falla para completar la articulación o el contacto sostenido para una duración suficiente de la misma**   |                                                                 |                                                                                                           | Área(0,81)                                                                                  |
| Hiperkinética (Distonía)<br>n=10             | Distorsiones fluctuantes (Lentas)*                                                                                                   |                                                                 |                                                                                                           |                                                                                             |
| Hiperkinética (Corea)<br>n=8                 | Abruptas distorsiones intermitentes (Rápido)*                                                                                        |                                                                 | Desviación del Int Crítico(0,71)<br><br>Área(-0,71)                                                       |                                                                                             |
| Hiperkinética (Temblor Orgánico)<br>n=4      | Normal: Fallas secundarias irregulares *                                                                                             | Kurtosis(-0,76)<br><br>Pendiente(-0,93)                         | Desviación del Área(0,87)<br><br>Pendiente(0,85)Desviación de la Pendiente(0,80).Desviación del I.C(0,86) | Área (0,96)<br><br>Desviación de la Pendiente(0,89)                                         |
| Hiperkinética (PFLM)<br>n=3                  | Normal, o flácida, espástica, o atáxica disartria*                                                                                   | Área(-0,99). Pendiente(1). Int Crítico(0,98)                    | Desviación de la Pendiente(-0,99). Int Crítico(0,98)                                                      | Kurtosis(-0,82)<br><br>Pendiente(0,77)                                                      |

\*Disartria: *Diagnostico diferencial*. Arnold E. Aronson. Volume 1 Mentor Seminars 1993.

\*\*Desordenes Motores del Habla. *Substrates, Differential Diagnosis, and Management*. Joseph R. Duffy. Mosby 1995.

De acuerdo a los resultados mostrados en las tablas 2, 3, 4 y resumidos en la tabla 5 la **Disartria Flácida** muestra correlaciones fuertes para la desviación de la pendiente y del área respectivamente para la /pa/ la /ta/ y la /ka/ además también muestra correlaciones fuertes en el caso de /ta/ en el intervalo crítico y para /ka/ en la desviación, el intervalo crítico y en el área.

La **Atáxica** no muestra ninguna correlación fuerte en ninguno de los sonidos solo una moderada correlación en /ka/.

En el caso de la **Espástica** solo muestra correlaciones fuertes para el caso de /ta/ en la kurtosis y en el área no así para los sonidos /pa/ y /ka/ donde solo se obtienen correlaciones muy leves en el área.

En los pacientes con **Corea** al igual que en la espástica solo salen a relucir correlaciones fuertes para el sonido /ta/ en los parámetros área y desviación del intervalo crítico mientras que en la /pa/ no hay ninguna correlación y en la /ka/ una moderada en la desviación de la pendiente.

El **Parkinson** solo muestra correlación en el área de la /ka/ y nada en los demás sonidos.

Los pacientes con **Temblores Orgánicos** muestran correlaciones fuertes en la pendiente de la /pa/ y de la /ta/ además para la /pa/ en la kurtosis y para la /ta/ en la desviación del intervalo crítico de la pendiente y del área y en el caso de la /ka/ en la desviación de la pendiente y en el área.

La **Distonía** al igual que la **Atáxica** no muestra ninguna correlación considerable para ninguno de las posiciones articulatoria en los tres sonidos.

**Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA)**; para el caso de esta enfermedad en el sonido /pa/ no se detectan correlaciones fuertes solo moderada en la desviación de la pendiente pero en /ta/ si las hay para la kurtosis la pendiente y la desviación de la misma y para /ka/ en la kurtosis.

**Palato Faríngeo Laríngeo Mioclonus (PLFM)**: esta enfermedad muestra correlaciones fuertes en los tres sonidos para la mayoría de los parámetros calculados, en /pa/ hay correlaciones de interés para todas excepto en la desviación del área. Para /ta/ se encuentran en el intervalo crítico, la kurtosis, desviación de la pendiente y área. En /ka/ las correlaciones están en kurtosis y pendiente.

Estos resultados pueden resumirse de la siguiente manera: Las transiciones son más cortas, más débiles e inestables cuando el índice de severidad aumenta para las pruebas efectuadas en la disartria flácida. Esto se evidencia por los siguientes hechos.

- Los valores negativos de las correlaciones de la desviación de la pendiente y del área para los sonidos /pa/, /ta/ y /ka/ indican que la articulación es menos estable y consecutiva para la Disartria Flácida por sus imprecisiones bilabiales y

labiodentales.

- Los valores del área aumentan con el aumento de la severidad en las evaluaciones para (Espástica) y lo contrario en (Corea y PFLM) en el sonido /ta/ y en /ka/ un aumento del área se relaciona con un aumento del índice de severidad en (Flácida, Parkinson y Temblor Orgánico).
- La kurtosis indica que una disminución de esta con respecto al incremento de los valores de la severidad articulatoria se evidencia en pacientes de PFLM en los tres sonidos y lo mismo en ELA para la /ta/ y la /ka/. En estos casos mostrando **platykurtosis** en la mayoría de estos casos.
- No hay correspondencia y estabilidad en ninguno de los parámetros en la sílaba /pa/ para las siguientes enfermedades: Atáxica, Corea y Distonía. Para la sílaba /ta/ en la Atáxica y Distonía y en /ka/ ni la Espástica, Atáxica y Distonía. Reflejando estas enfermedades inestabilidad en la repetición de las sílabas fuera de la variabilidad del habla normal.

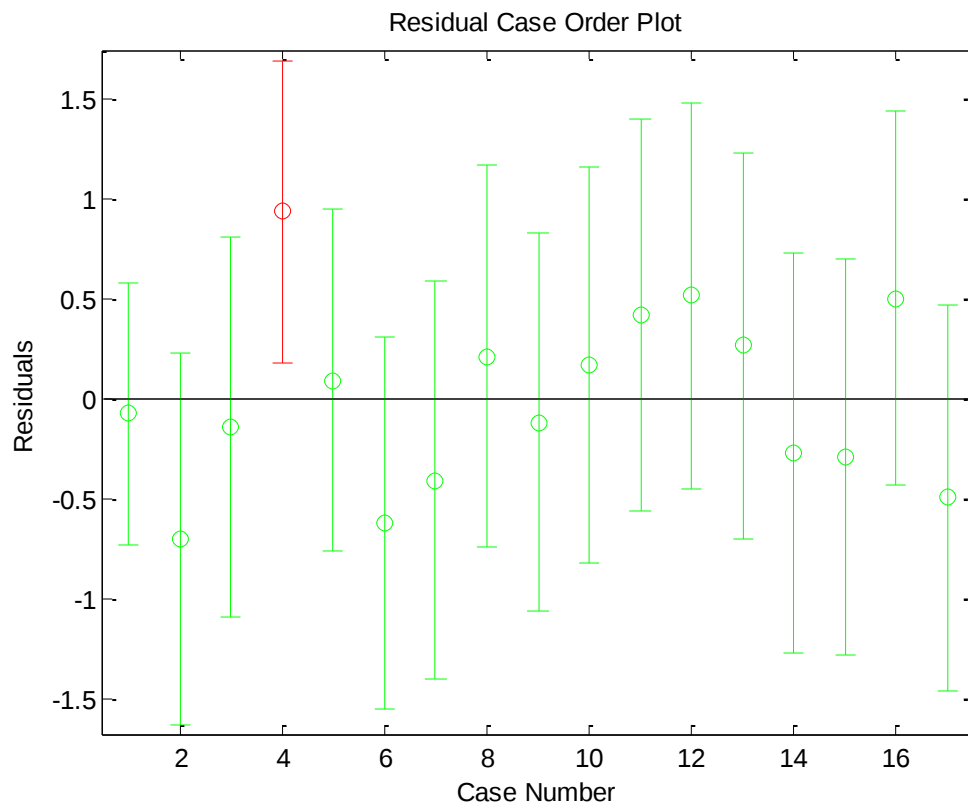
En la literatura se encuentran reportados las dificultades articulatorias para estos grupos en las consonantes oclusivas y los articuladores envueltos en estas. La tabla 5 da soporte a los resultados para los sonidos seleccionados.

En estos grupos las desviaciones articulatorias pueden ser descritas como fallas irregulares, fluctuaciones o distorsiones intermitentes, la falta de regularidades observadas en los grupos mencionados anteriormente y las moderadas correlaciones entre las evaluaciones subjetivas y los parámetros son muestra de ello.

Yendo de la articulación labial a la velar, se observan que en los sonidos /pa/ se encuentran correlaciones fuertes entre las medidas propuestas y las evaluaciones subjetivas en tres tipos de disartrias. Mientras, en los sonidos /ta/ se encuentran correlaciones para seis tipos de disartrias. Pudiera pensarse que hay más articuladores involucrados en la producción de estos sonidos y por ello hay una mejor representación del problema en la señal acústica.

Dado que la articulación imprecisa en ELA está relacionada con la disartria flácida y la espástica. Junto con los grupos de evaluaciones de los pacientes Flácidos, Espásticos y Palato Faríngeo Laríngeo Mioclonus y ELA, la kurtosis del intervalo crítico y la desviación de la pendiente mostraron una buena regresión lineal. La figura III.1 muestra el gráfico de los residuos de la regresión lineal mientras que la tabla 6 resume las evaluaciones perceptuales para cada uno de los pacientes y los valores obtenidos de los parámetros mencionados, luego de remover un outlier. Las estadísticas de la regresión son las siguientes  $R^2 = 0.7660$   $F = 22.9187$ ,  $p = 0.0000$ .

$R^2 = 0.7660$  indica que el modelo cuenta con más del 76% de variabilidad de los casos. La  $F$  mayor que 12 para este caso 22 y el valor de  $p$  indican que es altamente improbable que todos los coeficientes de regresión sean cero. La varianza del error de 0.2303 indica que hay una pequeña variabilidad aleatoria entre las variables (kurtosis, desviación de la pendiente) y la función de regresión.



**Fig.III-1 Ploteo Residual para la sílaba /pa/.**

**Tabla 6 Grupos Disártricos con mejores correlaciones para la sílaba /ta/**

| DE.DS.PFLM.ELA | Promedio de Evaluación Perceptual | Kurtosis    | Desviación de la Pendiente |
|----------------|-----------------------------------|-------------|----------------------------|
| 1              | 0                                 | 5.026477543 | 0.906747027                |
| 2              | 1.33333                           | 1.904313289 | 0.922254275                |
| 3              | 0.666666667                       | 3.576514563 | 1.109645455                |
| 4              | 3                                 | 1.46974848  | 1.195295374                |
| 5              | 1.333333333                       | 2.162140053 | 1.617867594                |
| 6              | 2                                 | 1.345744043 | 0.660323734                |
| 7              | 2                                 | 1.868265595 | 0.534922268                |
| 8              | 3                                 | 1.858097572 | 0.123092472                |
| 9              | 3                                 | 1.385357858 | 0.085664288                |
| 10             | 3                                 | 1.421057097 | 0.379198167                |
| 11             | 3                                 | 1.752797784 | 0.423867655                |
| 12             | 2                                 | 2.545963804 | 1.08313748                 |
| 13             | 3                                 | 1.834074074 | 0.197224069                |
| 14             | 2                                 | 2.279468512 | 0.399202517                |
| 15             | 1.666666667                       | 1.86981288  | 1.027542169                |
| 16             | 2                                 | 3.188808864 | 0.621111064                |
| 17             | 1                                 | 2.487944608 | 1.109191239                |

De esta forma puede apreciarse que, la Kurtosis del intervalo crítico y la variación de la pendiente en la repetición de las sílabas ta, se combinan para dar lugar a una medida acústica que se correlaciona con la severidad de los pacientes de los grupos disátricos PFLM, ELA, Flácida y Espástica.

### 3.2 Comparación en cuanto a resultados con respecto a [21].

En este epígrafe se llevará a cabo una comparación en cuanto a los resultados más importantes obtenidos para cada uno de los parámetros propuestos en cada una de las tres posiciones articulatorias, con el trabajo presentado en el quinto encuentro internacional MAVEBA (Models And Analysis Of Vocal Emissions For Biomedical Application) en diciembre del 2007 por Dr. Hernández – Díaz, M. Teniendo en cuenta las modificaciones hechas a partir de lo que se propuso en dicho trabajo y que fueron explicadas en el capítulo II, las correlaciones mostraron las siguientes diferencias, apreciables en la tabla 6 en la cual se reflejan los resultados de las correlaciones entre el promedio de las evaluaciones subjetivas con los resultados de los parámetros calculados para cada uno de los grupos de pacientes de los grupos representativos de la Disartria obtenidas en [19].

**Tabla 7 Mejores correlaciones vs parámetros en los sonidos /pa/, /ta/, /ka/ obtenidas en [21].**

| Disartrias                                            | Articulación                                                                                                                                  | /pa/                 | /ta/                          | /ka/                                                                                  |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Flácida<br>(Múltiples<br>nervios<br>craneales)<br>n=5 | Imprecisión *<br>Imprecisión bilabial, labiodental,<br>lingual alveolar, vocales, y líquidas.<br>Débil presión de consonantes**               | Kurtosis<br>(-0,91)  |                               | Intervalo Esencial,<br>Áreas (-0,84)                                                  |
| Espástica<br>(Pseudobulbar)<br>n=5                    | Lenta: imprecisión*<br>Contraste en los niveles de presión<br>acústica en las consonantes.. La<br>duración de fonema para la transición<br>** | Pendiente<br>(-0,79) | Pendiente<br>(-0,90)          | Intervalo Esencial, (-<br>0,89), Áreas<br>(-0,90)<br>Kurtosis (-0,78), Sstd<br>(0,78) |
| Mixta<br>(ELA)<br>n=6                                 | Lenta: imprecisión *<br>Fuerza reducida de labio; La lengua y<br>la mandíbula **                                                              |                      | Intervalo Esencial,<br>(0,76) | Slope (-0,99), Sstd (-<br>0,80)                                                       |
| Atáxica<br>n=8                                        | Fallas irregulares*<br>Imprecisión de las consonantes**                                                                                       |                      |                               |                                                                                       |
| (Parkinson)<br>n=8                                    | Acelerada: imprecisión*<br>Falla para completar la articulación o<br>el contacto sostenido para una<br>duración suficiente de la misma**      |                      |                               | Kurtosis (-0,83), Sstd<br>(-0,80)<br>(n=5)                                            |
| Hiperkinética<br>(Disonía)<br>n=10                    | Distorsiones fluctuantes (Lentas)*                                                                                                            |                      |                               |                                                                                       |
| (Corea)<br>n=8                                        | Distorsiones abruptas<br>intermitentes (Rápidas)*                                                                                             |                      | Pendiente (0,72)              |                                                                                       |
| (Temblor<br>Orgánico)<br>n=4                          | Normal: Fallas secundarias irregulares<br>*                                                                                                   |                      | Pendiente<br>(-0,72)          | Pendiente (0,87)                                                                      |
| (Hiperkinética<br>disartria)<br>n=3                   | Normal, o flácida, espástica, o atáxica<br>disartria*                                                                                         | Pendiente<br>(-0,99) | Sstd<br>(-0,99)               | -1 (n=2)                                                                              |

\*Disartria: *Diagnostico diferencial*. Arnold E. Aronson. Volume 1 Mentor Seminars 1993.

\*\*Desordenes Motores del Habla. *Substrates, Differential Diagnosis, and Management*. Joseph R. Duffy. Mosby 1995.

Como se puede apreciar en la tabla 7 el uso de los coeficientes LPC empleados en este proyecto tiene ventajas significativas con respecto al uso de los Cepstrales reales utilizados en [16]. Para una serie de enfermedades representativas de la disartria se obtuvieron mejores correlaciones entre los parámetros extraídos de la medida de la transición espectral con las evaluaciones subjetivas dadas por los expertos.

Para la Disartria Flácida haciendo uso de los coeficientes Cepstrales extraídos directamente de la zona donde ocurre la transición espectral se obtuvieron correlaciones para la sílaba /pa/ de 0,91 en la Kurtosis ninguna significativa para la /ta/ y de -0,84 para el Intervalo crítico y el Área mientras que empleando los coeficientes cepstrales a partir de los LPC se obtuvieron correlaciones para esta enfermedad de -0,96 para la Desviación de la Pendiente y de -0,94 para la Desviación del Área en la sílaba /ka/ aparecen además mejoras en la /ta/ y en la /ka/ como se puede apreciar en la tabla 5.

Se evidencian mejoras en las correlaciones también para otro grupo de enfermedades como ELA para el caso de la sílaba /ta/ donde se encuentran correlaciones en nuevos parámetros. En Corea se obtienen nuevas correlaciones para la sílaba /ta/.

En los pacientes con Temblor Orgánico se obtienen mejores y más correlaciones fuertes tanto para las sílabas /pa/, /ta/ como /ka/. Lo mismo ocurre para el grupo PFLM.

Las enfermedades como la Atáxica y la Distrofia no muestran resultados positivos ni correlaciones de interés para ambos estudios lo cual está dado por las características articulatorias presentes en estos grupos disártricos. En el caso del Parkinson los resultados son similares en las sílabas /pa/ y /ta/ donde no se encuentran correlaciones algunas, las diferencias están reportadas en la /ka/.

Solo los resultados son por debajo en la Espástica donde para este estudio solo se logran obtener correlaciones importantes para la Kurtosis y el Área mientras que en [19] se obtienen correlaciones fuertes para los tres momentos articulatorios.

Esta comparación puede realizarse por una simple inspección visual de las tablas 5 y 7 la cual indica; mejoras significativas para un total de cuatro enfermedades (Disartria Flácida, Esclerosis Lateral Amiotrófica, Corea y Palato Faríngeo Laríngeo Mioclonus). Estas enfermedades, por la descripción médica de las imprecisiones que ocurren en sus articulaciones, que son del tipo bilabial, velar, en semivocales y en general, en las consonantes oclusivas, es de esperar que aparezcan correlacionadas en todos los sonidos. Los resultados son similares para un grupo de enfermedades en las cuales no aparecen correlaciones (Atáxica y Distrofia) las cuales presentan imprecisiones en las consonantes y fallas irregulares en la articulación por lo cual resulta muy difícil en estos casos poder obtener consecutividad en la articulación que conlleven a obtener buenas correlaciones.

### **3.3 Conclusiones Parciales.**

A través de los resultados mostrados a partir del análisis de la articulación de consonantes oclusivas, se evidencia que los parámetros propuestos abren la posibilidad de una medida acústica de la imprecisión articulatoria, con ventajas reportadas en el empleo de los coeficientes LPC. Es de destacarse que esto es válido para aquellos grupos disátricos en los cuales las desviaciones en la articulación son consistentes.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

La elaboración del presente trabajo ha permitido arribar a las siguientes conclusiones y se han obtenido resultados que merecen ser destacados:

- El estudio bibliográfico realizado para este proyecto de todo lo concerniente a la articulación aplicada a la disartria, demuestra la necesidad del desarrollo de herramientas objetivas que introduzcan medidas, que representen la severidad en dimensiones importantes como la articulación y la prosodia.
- Las modificaciones realizadas a los algoritmos basados en la medida de transición espectral han permitido mejorar los resultados reportados en la literatura con anterioridad. Además de poder establecer una relación entre esta y la percepción de la articulación.
- Los resultados demuestran que el algoritmo puede ser integrado como una herramienta virtual, para evaluar la articulación de forma objetiva en varios grupos de enfermedades representativas de la disartria.

### Recomendaciones

- Teniendo en cuenta que los expertos evalúan la articulación principalmente en el habla fluida o en los ejercicios de lectura, un algoritmo nuevo puede ser desarrollado para extraer las características bajo estas condiciones y para toda clase de consonantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] De Bodt, M. S., Hernandez – Diaz Huici, M. E., Van De Heyning, P.; “Intelligibility as a linear combination of dimensions in dysarthric speech”; *Journal of Communications Disorders* 5220 ,pp 1 – 10. 2000.
- [2] Kent, R.D., “Isovowel lines for evaluating vowel formant structure in speech disorder”, *Journal of Speech and Hearing Disorder*, 44, pp 513– 521, 1979.
- [3] Kent, R.D., Netsell, R.D., & Abbs, J., “Acoustic characteristic of dysarthria associate with cerebellar disease”, *Journal of Speech and Hearing Research*, 22, pp 627– 648, 1979.
- [4] Ziegler, W., & von Cramon, D., “Vowel distortion in traumatic dysarthria : A format study” , *Phonetica*, 40, pp 63– 78, 1983a.
- [5] Ziegler, W., & von Cramon, D., “Vowel distortion in traumatic dysarthria: Lip rounding versus tongue advancement”, *Phonetica*, 40, pp 312– 322, 1983b.
- [6] Watanabe, S., Arasaky, K., Nagata, H., & Shouji, S., “Analysis of Dysarthria in amyotrophic lateral sclerosis –MRI of the tongue and formant analysis of vowels”., *Rinsho Shinkeigaku [Clinical Neurology]*, 34, pp 217–223, 1994.
- [7] Kent, R.D. , Weismer, G. , Kent, J. F. , Vorperian, H.K. & Duffy, J.R. “Acoustic Studies of Disarthric Speech: Method, Progress, and Potential”.*Journal of Communication Disorders*, vol. 32, pp 141-186. 1999.
- [8] Robb, M., Blomgren, M., & Chen, Y., “Formant frequency fluctuation in stuttering and nontuttering adults”, *Journal of Fluency Disorder*, 34, pp 73– 84, 1998.
- [9] Forrest, K., & Weismer, G., “Acoustic analysis of dysarthria speech”., *Clinical management of sensorimotor speech disorder*, pp 63– 80, 1997.
- [10] Tjaden, K., & Tumer, G.S., “Spectral properties of fricatives in amyotrophic lateral sclerosis”, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 36, pp 1177– 1190, 1997.
- [11] Weismer, G., & Martin, K., & Kent, R.D., “Formant trajectory characteristics of males whit amyotrophic lateral sclerosis”, *Journal of Acoustical Society of America*, 91, pp 1085– 1098, 1992.
- [12] Kent, R.D., Sufit, R.L., Rosenbek, J.C., Kent, J.F., Weismer, G., Martin, R.E., & Brooks, B.R., “Speech deterioration in amyotrophic lateral sclerosis: A case of study”, *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, pp 1269– 1275, 1991.
- [13] Ackerman, H., & Ziegler, W., “Articulatory deficits in Parkinsonian dysarthria: An acustic analysis”, *Journal Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 54, pp 1093– 1098, 1991b.
- [14] Kent, R.D., & Read, W.C., “The Acoustic Analysis of Speech”, San Diego: Singular Publishing Group., 1992.
- [15] Sadaoky Furui, Ed., & Mohan Sondhi, M., Ed., “Advances in speech signal processing”, New York: Marcel Dekker, Inc, 19, pp 597- 599, 1992.

- [16] Benesty, J., Sondhi, M., & Huang, Y. (Eds.), “Springer Handbooks of Speech Processing”, Berlin: Springer-Verlag Heidelberg., 9, pp 161– 170, 2008.
- [17] Rabiner, L., & Juang, B.H. J., “Fundamentals of Speech Recognition”, Englewood Cliffs: Prentice-Hall., 1993.
- [18] Furui, S., “On the role of spectral transitions for speech perception” , *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 80 (4) , pp 1016 – 1025, 1986.
- [19] Hernandez – Díaz Huici, M. E., Verhelst, W., “The development of objective tools to assess and manage articulation and prosody in hearing impaired and dysarthric patients”, Research in Brussels RIB-2006/006 Report, August 2007.
- [20] Dusan, S. and Rabiner, L. “On the relation between Maximum Spectral Transitions and phone boundaries”, In Proc. Interspeech, Pittsburgh, Pennsylvania, pp 17-21, 2006.
- [21] Hernández – Díaz Huici, M. & Verhelst, W., “Spectral transition features in dysarthric speech”, Proc. of MA VEBA, Firenze, Italy, pp 139- 142, 2007.
- [22] Aronson A.E., “Dysarthria: Differential diagnosis”, (CD). Rochester, MN: Mentor Seminars, 1993.
- [23] Duffy, J. R., “Motor speech disorders substrates, differential diagnosis, and management”, St. Louis, Missouri: 2nd Ed., Elsevier Mosby, pp 484-487, 2005.
- [24] Chenery, H.J., “Perceptual analysis of dysarthric speech”. In: Murdoch, E. (ed.) Dysarthria: A Physiological Approach to Assessment and Treatment. Cheltenham: Stanley Thorns Ltd., 1998.
- [25] Loizou, P., COLEA: A MATLAB software tool for speech analysis. [En línea]. Disponible en: <http://giles.ualr.edu/asd/speech/> . Visitado el: 6/6/08
- [26] Ellis, D., PLP and Rasta (and MFCC, and inversion) in Matlab using melfcc.m and invmelfcc.m [En línea]. Disponible en: <http://www.ee.columbia.edu/~dpwe/resources/>
- [27] H. Hermansky, “Perceptual line predictive (PLP) analysis of speech”, J. Acoust. Soc. Am., vol. 87, no. 4, pp. 1738-1752, Apr. 1990.
- [28] María E. Hernández – Díaz Huici and Werner Verhelst, "Exploring articulation in dysarthric speech by means of spectral transitions", XIII-th Convention of Electrical Engineering, CIE 2007, Santa Clara, Cuba, June 18-22, 2007.
- [29] Shriberg, L. D., & Kent, R. D. *Clinical phonetics*. John Wiley & Sons, New York, 1982.

## Anexo 1

### Evaluaciones Subjetivas

| Paciente        | Juez1 | Juez2 | Juez3 | Mean     |
|-----------------|-------|-------|-------|----------|
| Aronsonka       | 0     | 0     | 0     | 0        |
| MSDside1FD1Fka  | 3     | 3     | 3     | 3        |
| MSDside1FD2Fka  | 2     | 2     | 2     | 2        |
| MSDside1FD3Mka  | 2     | 1     | 2     | 1.666667 |
| MSDside1FD4Fka  | 1     | 3     | 2     | 2        |
| MSDside1FD5Fka  | 2     | 0     | 1     | 1        |
| MSDside2 AD1Fka | 2     | 2     | 1     | 1.666667 |
| MSDside2 AD2Mka | 3     | 3     | 3     | 3        |
| MSDside2 AD3Fka | 2     | 1     | 2     | 1.666667 |
| MSDside2 AD4Mka | 2     | 3     | 2     | 2.333333 |
| MSDside2 AD5Mka | 1     | 2     | 2     | 1.666667 |
| MSDside2 AD6Fka | 1     | 2     | 1     | 1.333333 |
| MSDside2 AD7Mka | 1     | 2     | 1     | 1.333333 |
| MSDside2 AD8Fka | 2     | 3     | 3     | 2.666667 |
| MSDside2SD1Mka  | 0     | 0     | 0     | 0        |
| MSDside2SD2Mka  | 2     | 0     | 1     | 1        |
| MSDside2SD3Fka  | 2     | 1     | 2     | 1.666667 |
| MSDside2SD4Mka  | 3     | 3     | 3     | 3        |
| MSDside2SD5Fka  | 3     | 3     | 2     | 2.666667 |
| MSDside3 KR1Mka | 2     | 3     | 3     | 2.666667 |
| MSDside3 KR2Fka | 2     | 3     | 3     | 2.666667 |
| MSDside3 KR3Fka | 3     | 3     | 3     | 3        |
| MSDside3 KR4Mka | 1     | 1     | 2     | 1.333333 |
| MSDside3 KR5Fka | 2     | 3     | 3     | 2.666667 |
| MSDside3 KR6Fka | 2     | 3     | 3     | 2.666667 |
| MSDside3 KR7Fka | 2     | 2     | 2     | 2        |
| MSDside3 KR8Fka | 3     | 2     | 3     | 2.666667 |
| MSDside3 PK1Mka | 1     | 1     | 1     | 1        |
| MSDside3 PK2Mka | 1     | 1     | 1     | 1        |
| MSDside3 PK3Mka | 3     | 2     | 3     | 2.666667 |
| MSDside3 PK5Mka | 2     | 1     | 1     | 1.333333 |
| MSDside3 PK6Mka | 3     | 2     | 3     | 2.666667 |
| MSDside3 PK7Mka | 1     | 2     | 2     | 1.666667 |

|                 |   |   |   |          |
|-----------------|---|---|---|----------|
| MSDside3 PK8Mka | 2 | 2 | 2 | 2        |
| MSDside4 VT1Mka | 0 | 0 | 1 | 0.333333 |
| MSDside4 VT2Fka | 1 | 1 | 1 | 1        |
| MSDside4 VT3Fka | 1 | 1 | 1 | 1        |
| MSDside4 VT4Fka | 2 | 2 | 2 | 2        |
| MSDside4DT10Fka | 1 | 1 | 1 | 1        |
| MSDside4DT11Fka | 2 | 2 | 2 | 2        |
| MSDside4DT1Fka  | 1 | 0 | 2 | 1        |
| MSDside4DT2Fka  | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside4DT3Mka  | 2 | 1 | 2 | 1.666667 |
| MSDside4DT5Fka  | 2 | 1 | 2 | 1.666667 |
| MSDside4DT6Mka  | 1 | 1 | 1 | 1        |
| MSDside4DT7Mka  | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside4DT8Mka  | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside4DT9Fka  | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside5 AL2Fka | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside5 AL3Fka | 3 | 2 | 3 | 2.666667 |
| MSDside5 AL4Mka | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside5 AL5Mka | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside5 AL6Fka | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside5 AL7Mka | 3 | 3 | 3 | 3        |
| MSDside5 AL8Fka | 2 | 2 | 2 | 2        |
| MSDside5 PF1Mka | 1 | 2 | 1 | 1.333333 |
| MSDside5 PF2Fka | 2 | 2 | 2 | 2        |
| MSDside5 PF3Mka | 2 | 2 | 2 | 2        |

### Parámetros Calculados para la sílaba /pa/

| Intervalo<br>Crítico | Desviación | Kurtosis | Pendiente | Desviación | Áreas    | Desviación |
|----------------------|------------|----------|-----------|------------|----------|------------|
| 35                   | 32.5       | 2.892931 | 0.111086  | 0.657266   | 7        | 6.344255   |
| 47.5                 | 10         | 1        | 0.097204  | 0.02776    | 7.250471 | 2.499058   |
| 32.5                 | 49.4343    | 1.507934 | 0.056248  | 0.352827   | 6.5      | 7.858171   |
| 35                   | 44.9305    | 2.911063 | 0.162451  | Inf        | 7        | 8.9861     |
| 61.25                | 63.73774   | 1.645116 | -0.06349  | 0.320176   | 7.001431 | 4.90259    |
| 40                   | 47.03722   | 1.709248 | 0.066666  | 1.030818   | 7.00021  | 11.42784   |
| 37.5                 | 30.31089   | 4.176773 | 0.090881  | 1.645774   | 7.5      | 5.612368   |
| 30                   | 43.01163   | 3.406249 | 0.112497  | 0.465786   | 6        | 8.602325   |
| 41.25                | 12.24745   | 1.625    | 0.074174  | 0.295616   | 7.250037 | 2.06151    |
| 37.5                 | 46.83748   | 3.920648 | 0.087114  | Inf        | 7        | 14.38716   |
| 35                   | 90.13878   | 3.765515 | -0.06274  | Inf        | 7        | 18.41144   |
| 42.5                 | 72.11103   | 4.22428  | 0.087114  | 0.924624   | 7.500116 | 10.79354   |
| 37.5                 | 168.1889   | 3.788887 | 0.099994  | 1.669762   | 7.5      | 28.58277   |
| 40                   | 58.94913   | 2.933311 | 0.071427  | 0.990984   | 8        | 12.16505   |
| 35                   | 18.87459   | 3.132687 | 0.083316  | 0.521547   | 7        | 3.774917   |
| 35                   | 60         | 5.67648  | -0.07142  | 6.977347   | 7        | 16.58959   |
| 40                   | 41.60829   | 2.607815 | 0.071427  | 1.637493   | 7.75     | 14.02609   |
| 36.25                | 77.45967   | 2.206733 | 0.116863  | 0.603597   | 7.25     | 16.4924    |
| 42.5                 | 34.00368   | 2.137913 | -0.07143  | 1.584941   | 8        | 6.928111   |
| 37.5                 | 44.22952   | 2.079781 | 0.071793  | 1.52522    | 7        | 9.260027   |
| 35                   | 43.87482   | 1.52665  | 0.16662   | 1.527694   | 7        | 8.902228   |
| 42.5                 | 45.48351   | 2.938114 | 0.062498  | 1.190811   | 7.500006 | 6.324598   |
| 41.25                | 41.00305   | 2.899538 | 0.066663  | 0.611941   | 8        | 8.077537   |
| 43.75                | 53.96758   | 1.840296 | 0.074173  | 0.753421   | 6.75029  | 21.13602   |
| 38.75                | 40.85034   | 4.818748 | 0.060661  | 0.525665   | 7.5      | 7.664826   |
| 40                   | 35.17812   | 2.082296 | 0.076919  | 0.628453   | 7.000926 | 7.175843   |
| 35                   | 41.90764   | 2.802925 | 0.083331  | 0.756942   | 7        | 8.3666     |
| 32.5                 | 41.53312   | 2.787223 | 0.076922  | Inf        | 6.5      | 8.306624   |
| 40                   | 75.2911    | 3.064752 | 0.083329  | 2.342017   | 8        | 13.58273   |
| 40                   | 63.88466   | 2.317695 | 0.083331  | 1.607982   | 7.5      | 12.99028   |
| 51.25                | 27.6134    | 2.31152  | 0.124988  | 0.263523   | 6.250793 | 4.635699   |
| 35                   | 34.64102   | 2.786211 | -0.1      | 0.557347   | 7        | 6.928203   |
| 37.5                 | 109.516    | 2.527767 | 0.076922  | 2.020853   | 7.5      | 20.40856   |
| 38.75                | 97.81999   | 3.251893 | 0.074173  | 1.468511   | 7.5      | 17.88175   |
| 32.5                 | 47.43416   | 5.13942  | 0.099978  | 0.755462   | 6.5      | 8.732177   |
| 37.5                 | 117.7126   | 3.190812 | 0.090903  | 1.586717   | 7        | 21.71991   |

|       |          |          |          |          |          |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 37.5  | 44.58139 | 2.387615 | 0.057565 | 0.488213 | 7.25     | 9.32679  |
| 33.75 | 56.95393 | 2.524874 | -0.10554 | 0.4714   | 6.75     | 7.035868 |
| 35    | 63.14665 | 2.072468 | 0.074168 | 1.324536 | 7        | 12.62933 |
| 35    | 25.12469 | 1.5      | 0.052631 | 0.300202 | 7        | 5.024938 |
| 30    | 27.15695 | 3.000877 | 0.133891 | 1.018801 | 6        | 5.43139  |
| 38.75 | 25.8602  | 2.734757 | -0.08013 | 0.657846 | 7.75     | 4.636817 |
| 37.5  | 53.56071 | 2.319568 | -0.06512 | 1.014488 | 7.000007 | 10.14887 |
| 40    | 36.3146  | 1.591489 | 0.071425 | 1.281096 | 7.000029 | 18.07518 |
| 45    | 38.40573 | 2.315391 | 0.066666 | 0.315109 | 7.5      | 6.613598 |
| 30    | 20       | 1.973958 | 0.111065 | 0.67177  | 6        | 4        |
| 37.5  | 82.38629 | 2.232313 | 0.124989 | 1.21277  | 7.5      | 14.59454 |
| 42.5  | 37.24916 | 2.401564 | 0.076922 | Inf      | 8.5      | 5.612527 |
| 38.75 | 68.64765 | 1.710977 | 0.055727 | 0.561468 | 7.75     | 13.08627 |
| 40    | 16.3936  | 1.543911 | -0.07692 | 0.598606 | 8        | 3.840508 |
| 40    | 29.15476 | 1.5      | 0.076922 | 0.10052  | 8        | 5.830952 |
| 37.5  | 0        | NaN      | 0.142795 | 0        | 7.5      | 0        |
| 47.5  | 51.47815 | 3.90811  | 0.066665 | 1.006938 | 9.5      | 10.12422 |
| 28.75 | 12.5     | 1        | 0.024979 | 0.449937 | 5.75     | 2.5      |
| 47.5  | 15       | 1        | 0.116867 | 0.051946 | 6.750118 | 2.499763 |
| 35    | 27.38613 | 1.875    | -0.09373 | 1.14786  | 7        | 4.500038 |
| 46.25 | 36.99662 | 3.84954  | 0.083911 | 0.770374 | 9.25     | 7.399324 |
| 40    | 45.20785 | 1.915508 | 0.062499 | 2.617732 | 7.5      | 6.763895 |
| 38.75 | 66.56763 | 2.2132   | 0.074171 | Inf      | 7.25     | 13.09584 |

### Parámetros Calculados para la sílaba /ta/

| Intervalo<br>Crítico | Desviación | Kurtosis | Pendiente | Desviación | Áreas    | Desviación |
|----------------------|------------|----------|-----------|------------|----------|------------|
| 37.5                 | 14.57738   | 7.431349 | 0.124987  | 1.096158   | 7.5      | 2.915476   |
| 48.75                | 25.73908   | 1.834074 | 0.074992  | 0.197224   | 8.500994 | 2.448694   |
| 37.5                 | 37.99671   | 2.279469 | 0.063456  | 0.399203   | 7.5      | 7.245697   |
| 40                   | 27.95085   | 1.869813 | 0.076913  | 1.027542   | 7.5      | 5.431203   |
| 26.25                | 28.50439   | 3.188809 | -0.02916  | 0.621111   | 5.25     | 5.700877   |
| 28.75                | 32.69174   | 2.487945 | -0.09091  | 1.109191   | 5.50001  | 6.928182   |
| 40                   | 35.61952   | 2.835926 | 0.083323  | 0.515007   | 7.25     | 6.726284   |
| 40                   | 68.69316   | 2.268698 | 0.066662  | 0.628997   | 6.5      | 16.79947   |
| 47.5                 | 42.93891   | 1.435053 | 0.071424  | 0.345399   | 7.000884 | 5.361989   |
| 33.75                | 39.05125   | 2.195577 | -0.08013  | Inf        | 6.75     | 7.549844   |
| 35                   | 26.10077   | 2.905447 | -0.00238  | 1.237984   | 6.500439 | 4.795489   |
| 40                   | 93.6416    | 2.065247 | 0.06666   | 1.315286   | 7.25     | 15.35434   |
| 48.75                | 76.93341   | 2.902862 | 0.074171  | Inf        | 8.25     | 15.90514   |
| 37.5                 | 37.24916   | 4.010139 | 0.083319  | 1.683805   | 7.5      | 9.960355   |
| 35                   | 33.07189   | 5.026478 | 0.111058  | 0.906747   | 7        | 6.614307   |
| 37.5                 | 71.32671   | 1.904313 | 0.066665  | 0.922254   | 7.5      | 12.50957   |
| 42.5                 | 94.5714    | 3.576515 | 0.071419  | 1.109645   | 8        | 13.74783   |
| 35                   | 37.58324   | 1.469748 | 0.111102  | 1.195295   | 8        | 7.314369   |
| 42.5                 | 34.09545   | 2.692058 | 0.142827  | 0.902741   | 8.5      | 6.819091   |
| 32.5                 | 14.36141   | 1.614069 | 0.090891  | 0.72014    | 6.5      | 2.549516   |
| 30                   | 53.90965   | 3.067925 | 0.078783  | Inf        | 6        | 9.924727   |
| 42.5                 | 42.64681   | 3.19706  | 0.08333   | 1.358172   | 7        | 8.660354   |
| 38.75                | 12.74755   | 2.217993 | 0.041661  | 0.41859    | 7.75     | 2.54951    |
| 35                   | 77.98237   | 2.323123 | 0.090895  | 1.360681   | 7        | 13.35113   |
| 40                   | 36.6572    | 2.085876 | 0.062499  | 1.190484   | 7.000063 | 7.499696   |
| 37.5                 | 33.54102   | 2.454546 | 0.090897  | 0.703392   | 7.5      | 8.030576   |
| 32.5                 | 35.53168   | 1.776318 | 0.07692   | 0.325067   | 6.5      | 5.049896   |
| 35                   | 10.6066    | 2.555556 | -0.1111   | 0.683885   | 7        | 2.12132    |
| 40                   | 71.63274   | 2.031447 | 0.074171  | Inf        | 7        | 13.99919   |
| 40                   | 40.54319   | 4.17001  | -0.00721  | 0.734787   | 8        | 7.314216   |
| 41.25                | 16.00781   | 1.722414 | -0.08846  | 0.162822   | 8.25     | 3.201562   |
| 28.75                | 2.5        | 1        | -0.14282  | 4.83E-06   | 5.75     | 0.5        |
| 31.25                | 31.02418   | 2.217406 | -0.07179  | 1.41704    | 6.25     | 6.204837   |
| 31.25                | 35.79455   | 2.069429 | 0.091655  | Inf        | 6        | 6.964112   |
| 33.75                | 22.5       | 5.184041 | -0.10554  | 0.869359   | 6.75     | 4.5        |
| 36.25                | 51.29571   | 3.139306 | 0.0909    | 0.770811   | 6.751909 | 9.406584   |
| 37.5                 | 54.08327   | 2.661458 | 0.090907  | 0.62291    | 7.5      | 10.54752   |
| 35                   | 60.98155   | 5.453825 | 0.124947  | 0.357599   | 7        | 12.70824   |
| 37.5                 | 73.99324   | 2.076783 | 0.111093  | 0.843431   | 7.5      | 15.00828   |

|       |          |          |          |          |          |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 30    | 14.14214 | 1.5      | 0.090903 | 0.396198 | 6        | 2.828427 |
| 37.5  | 19.68502 | 3.526464 | 0.076921 | 0.65808  | 7.5      | 4.183288 |
| 43.75 | 2.5      | 1        | -0.99952 | 0.000234 | 0.500306 | 0.000354 |
| 32.5  | 25.61738 | 1.668795 | 0.090902 | Inf      | 6.5      | 5.123475 |
| 36.25 | 23.18405 | 3.051615 | 0.105526 | 1.4009   | 7        | 6.122938 |
| 37.5  | 25.37223 | 1.904537 | 0.071424 | 0.290981 | 6.5      | 5.80935  |
| 42.5  | 30.20761 | 2.668864 | -0.06667 | 0.659154 | 7.500067 | 4.717078 |
| 46.25 | 29.89565 | 2.412908 | 0.080122 | 0.528881 | 8.5      | 5.828929 |
| 36.25 | 18.37117 | 2.777265 | 0.095439 | Inf      | 7        | 8.336468 |
| 35    | 13.46291 | 1.858098 | 0.1111   | 0.123092 | 7        | 2.692582 |
| 40    | 25.12469 | 1.385358 | -0.09401 | 0.085664 | 8        | 5.024938 |
| 40    | 69.10137 | 1.421057 | 0.062499 | 0.379198 | 7.50056  | 7.000002 |
| 27.5  | 0        | NaN      | 0.124993 | 0        | 5.5      | 0        |
| 40    | 0        | NaN      | -0.12499 | 0        | 8        | 0        |
| 30    | 0        | NaN      | 0.333273 | 0        | 6        | 0        |
| 38.75 | 30       | 1.752798 | 0.094012 | 0.423868 | 6.000033 | 7.826074 |
| 25    | 27.72634 | 2.545964 | 0.499792 | 1.083137 | 5        | 5.545268 |
| 37.5  | 35.44362 | 2.16214  | -0.07692 | 1.617868 | 7        | 8.059636 |
| 31.25 | 44.9305  | 1.345744 | 0.037869 | 0.660324 | 6.25     | 8.9861   |
| 32.5  | 35.35534 | 1.868266 | -0.07143 | 0.534922 | 6.5      | 4.472461 |

### Parámetros Calculados para la sílaba /ka/

| Intervalo | Crítico | Desviación | Kurtosis | Pendiente | Desviación | Áreas    | Desviación |
|-----------|---------|------------|----------|-----------|------------|----------|------------|
|           | 42.5    | 58.41661   | 1.957452 | 0.111095  | 0.218687   | 8.5      | 12.0202    |
|           | 47.5    | 23.58495   | 2.213761 | 0.071791  | 0.2887     | 9        | 1.730881   |
|           | 43.75   | 27.6134    | 1.828924 | 0.087115  | 0.269145   | 7.75     | 5.978185   |
|           | 27.5    | 24.87469   | 2.198819 | 0.111084  | 0.33533    | 5.5      | 4.974937   |
|           | 32.5    | 19.03943   | 1.5      | -0.08331  | 0.431074   | 6.5      | 3.807887   |
|           | 41.25   | 68.69316   | 1.874683 | 0.087112  | 1.152604   | 6.500261 | 7.803474   |
|           | 45      | 51.47815   | 1.652628 | 0.064577  | 0.967928   | 7.500171 | 10.85058   |
|           | 42.5    | 48.79805   | 1.889167 | 0.06111   | 0.352203   | 8.000123 | 7.889954   |
|           | 42.5    | 33.63406   | 2.103333 | 0.062495  | 0.997693   | 8        | 5.998753   |
|           | 35      | 77.13624   | 1.787507 | 0.062739  | 1.660646   | 6.5      | 20.7542    |
|           | 40      | 120.2861   | 5.024608 | -0.07692  | 1.273109   | 7.5      | 8.080551   |
|           | 45      | 58.78988   | 2.520703 | 0.100994  | 1.595582   | 7        | 15.14579   |
|           | 45      | 95.32838   | 2.839426 | 0.076921  | 1.380851   | 7.750033 | 16.44723   |
|           | 40      | 52.14163   | 2.748975 | 0.07692   | 0.939898   | 7.000057 | 9.012802   |
|           | 50      | 74.07766   | 3.388701 | 0.080122  | 0.32923    | 7        | 11.50816   |
|           | 36.25   | 40.77377   | 2.611142 | -0.01389  | 1.462002   | 7.000158 | 7.314382   |
|           | 42.5    | 20         | 1.69898  | 0.066666  | 1.137982   | 8        | 4.661626   |
|           | 40      | 42.5       | 3.229763 | 0.087115  | 1.117115   | 7.5      | 8.999651   |
|           | 42.5    | 119.7132   | 3.219724 | 0.071423  | 1.146569   | 7.50218  | 14.50806   |
|           | 38.75   | 16.20185   | 1.221453 | -0.01704  | 1.136023   | 7.75     | 7.245192   |
|           | 36.25   | 39.84344   | 2.759193 | -0.00208  | 1.23751    | 7        | 7.648469   |
|           | 35      | 31.62278   | 2.783393 | 0.090905  | 2.959798   | 7        | 6.324555   |
|           | 30      | 20.76656   | 1.378776 | -0.12496  | 0.625512   | 6        | 4.153312   |
|           | 35      | 49.05354   | 2.551281 | -0.07141  | 0.888667   | 6.5      | 8.775127   |
|           | 30      | 46.83748   | 2.213359 | -0.09997  | 1.302335   | 6        | 8.930009   |
|           | 37.5    | 41.833     | 2.456686 | 0.090905  | 0.28942    | 6.5      | 8.601814   |
|           | 40      | 65.8597    | 3.557587 | 0.083325  | 1.109906   | 7.5      | 11.03441   |
|           | 33.75   | 12.5       | 1        | 0.121405  | 0.042814   | 6.75     | 2.5        |
|           | 40      | 75         | 3.944596 | 0.090904  | 1.836937   | 7        | 16.30154   |
|           | 37.5    | 33.81937   | 1.975676 | 0.124985  | 1.461965   | 7.5      | 5.979151   |
|           | 33.75   | 57.2822    | 2.037809 | 0.111108  | 0.193789   | 6.75     | 3.355152   |
|           | 40      | 0          | NaN      | 0.066666  | 0          | 7.500006 | 0          |
|           | 37.5    | 59.47689   | 1.959261 | -0.07143  | 0.740328   | 7.5      | 13.12383   |
|           | 37.5    | 64.42049   | 2.075938 | -0.06203  | 0.754892   | 7.5      | 13.48096   |
|           | 40      | 26.80951   | 3.871261 | 0.095445  | 0.475416   | 6.75     | 5.913541   |
|           | 37.5    | 65.81223   | 2.749535 | -0.08332  | 0.716069   | 7        | 14.60156   |
|           | 37.5    | 40.54319   | 2.218079 | -0.09999  | 0.683338   | 7        | 4.871531   |
|           | 40      | 32.59601   | 3.394979 | 0.090888  | 0.783376   | 8        | 6.519202   |

|       |          |          |          |          |          |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 35    | 81.70067 | 3.409795 | -0.1111  | 1.97779  | 7        | 15.19871 |
| 32.5  | 13.69306 | 2.2747   | 0.111109 | 0.06643  | 6.5      | 2.738613 |
| 35    | 50.9902  | 2.783813 | 0.088444 | 0.837609 | 7        | 7.332101 |
| 27.5  | 46.23311 | 2.301761 | 0.041666 | 0.342767 | 5.5      | 7.449915 |
| 31.25 | 29.89565 | 3.224845 | -0.09544 | 0.531579 | 6.25     | 5.97913  |
| 40    | 23.97916 | 1.848771 | -0.06942 | 0.412191 | 8        | 4.974934 |
| 37.5  | 56.29165 | 2.502144 | -0.05555 | 0.451836 | 7        | 10.22273 |
| 35    | 21.06537 | 2.375305 | 0.090884 | 0.730586 | 7        | 4.609612 |
| 32.5  | 28.17357 | 1.376725 | 0.142826 | 0.276523 | 6.5      | 5.634714 |
| 36.25 | 31.32491 | 2.206359 | -0.00699 | 1.882459 | 7.25     | 6.264982 |
| 36.25 | 24.2384  | 1.573333 | -0.21143 | 1.530661 | 6.750195 | 1.580646 |
| 40    | 22.36068 | 1.5      | -0.09091 | 0.27576  | 8        | 4.472136 |
| 47.5  | 17.67767 | 1.5      | 0.099985 | 0.07072  | 7        | 3.200361 |
| 42.5  | 0        | NaN      | 0.249981 | 0        | 8.5      | 0        |
| 40    | 30.92329 | 1.5      | 0.166663 | 0.305682 | 8        | 6.184658 |
| 32.5  | 16.00781 | 1.5      | 0.111104 | 0.229052 | 6.5      | 3.201562 |
| 43.75 | 9.354143 | 1.64     | -0.06904 | 0.305943 | 8.25     | 6.095224 |
| 30    | 61.69481 | 3.040934 | 0.097213 | 1.395525 | 6        | 12.33896 |
| 37.5  | 63.78675 | 2.16201  | -0.0769  | 1.811697 | 6.505075 | 11.25854 |
| 28.75 | 12.5     | 1        | -0.39977 | 1.199386 | 5.75     | 2.5      |