UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la Información (CEETI)

TRABAJO DE DIPLOMA

Sistema para la medición de la nasalidad.

Autora: Beatriz Guerra Santana.

Tutores: Dr. Carlos A. Ferrer Riesgo.

Lic. Diana Torres Boza.

Santa Clara

2010

"Año 52 de la Revolución"

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la Información (CEETI)

TRABAJO DE DIPLOMA

Sistema para la medición de la nasalidad.

Autora: Beatriz Guerra Santana

bguerra@uclv.edu.cu

Tutores: Dr.C. Carlos Ariel Ferrer Riesgo

cferrer@uclv.edu.cu

Lic. Diana Torres Boza

dtb@uclv.edu.cu

Santa Clara

2010

"Año 52 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 Tutor

Firma del Jefe de Departamento donde se defiende el trabajo

_____

Firma del Responsable de Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.

Mohandas K. Gandhi

DEDICATORIA

A Liena y Arece por ser los mejores padres que existen en el mundo, por ser el ejemplo que siempre he seguido y seguiré. Por ayudarme a ser quien soy.

Los quiero con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, por estar siempre a mi lado cuando la necesito, por su cariño, su preocupación, su ternura, sus consejos y ese infinito amor que brota de ella que la hace ser la mejor. Muchas gracias mamita, te quiero.

A mi papá, por estar siempre dispuesto a ayudarme, por su amor de padre, su paciencia y entrega en momentos alegres y difíciles, por ser la luz en mi camino y por ser el mejor padre del mundo.Mil gracias PILLO.

A mi tutor por su dedicación y paciencia, por brindarme su ayuda y apoyo. Por aportar conocimientos para mi vida futura. Muchas gracias.

A mi familia en general, mis abuelos Lica, Elba y Galileo, a mis tíos y primos por preocuparse por mí.

A mi novio David por brindarme su amor, por su comprensión y ayuda.

A Diana por ayudarme en la realización de este trabajo y por su disposición en todo momento.

A Alexi por su gran ayuda, por estar presente en los momentos difíciles, por la bondad y la creatividad que lo caracteriza.

A mis grandes amigos Meily, Aimarys, Aida Mara, Sheylan, Yoana y Lenier por brindarme su amistad, por apoyarme y estar presente cada vez que los he necesitado.

A mis amigos del aula, Yadianis, Idi, Lyanett, Yaimeé, Beatriz, Roberto Jiménez, Osmany, Addier, Henkly, Ernesto, Denis, Galindo, Roberto Castellanos y Aquino que juntos hemos

compartido cinco años con alegrías y dificultades y que de una forma u otra me han ayudado y me han apoyado en toda mi carrera.

A mis profesores que con su profesionalidad y conocimientos han contribuido a mi formación.

A Arturo y Eduardo por aportar su granito de arena en los momentos que los necesité.

A la doctora y foniatra Norma y la especialista Frieda de la consulta de Logopedia y Foniatría del policlínico Chiqui Gómez por ayudarme en la realización del trabajo y por su gran profesionalidad.

A mis vecinos Irma, Yamina y Leopoldo por su preocupación y cariño.

A todos los que de una forma u otra han contribuido a formar valores y conocimientos en mi vida y que llevaron a que este trabajo se hiciera realidad.

A TODOS MUCHAS GRACIAS.

TAREA TÉCNICA

- Estudio de los mecanismos de producción de la voz y los trastornos relacionados con el habla, fundamentalmente las características relacionadas con la nasalidad.
- Análisis crítico de las alternativas de medición de la nasalidad.
- Diseño y montaje del hardware del sistema de medición de nasalidad.
- Diseño e implementación del software del sistema de medición.
- Realización de pruebas para la comprobación del funcionamiento del dispositivo.
- Redacción del informe.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

El habla es un elemento importante en la vida de un ser humano, esta es uno de los principales medios de comunicación y contribuye al desarrollo de la sociedad. En este trabajo se realiza un estudio sobre los trastornos del habla específicamente relacionados con las insuficiencias velofaríngeas provocando estas, la aparición de un aumento o disminución de la nasalidad. También se hizo un estudio sobre las distintas alternativas para la medición de la resonancia nasal que han existido hasta los días de hoy demostrando el avance en la actualidad de los sistemas de medición de dicho parámetro que han ido evolucionando cada vez más, estableciendo sus bases fundamentalmente en el uso de la PC como elemento principal, dado sus ventajas con respecto a la portabilidad y flexibilidad. Se realizó un reporte sobre la utilidad de este tipo de mediciones las cuales garantizan un determinado diagnóstico y seguimiento a los tratamientos en personas con patologías de este tipo.

En Cuba no existe un equipo de análisis del habla con respecto a la nasalización, por lo que la implementación del mismo sería de gran ayuda para los especialistas de la rama de Logopedia y Foniatría. En este trabajo se realiza también un estudio de las distintas alternativas de las partes de un sistema de medición de la nasalidad, estableciendo un diseño e implementando un Nasómetro conformado por dos partes: hardware y software. Y luego se efectúan pruebas con el sistema propuesto para verificar la captación de las señales oral-nasal así como la visualización correcta de la nasalidad, llegando a resultados concluyentes en algunos casos.

PENSAMIENTO.....i

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS.....iii

TAREA TÉCNICA v

RESUMEN vi

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1. Fundamentos de la medición de la nasalidad 3

1.1 Mecanismo de producción de la voz. 3

1.2 Alteraciones patológicas del habla. Trastornos del puerto velofaríngeo. 4

1.2.1 El puerto velofaríngeo o paladar blando. Trastornos. 6

1.2.2 Influencia del paladar blando en los sonidos. 7

1.3 Nasalización, emisión nasal y nasalidad. 7

1.3.1 Rinolalias existentes. Causas orgánicas y funcionales. 8

1.4 Utilidad de las mediciones de nasalidad. 11

1.5 Conclusiones parciales 12

CAPÍTULO 2. Análisis crítico de alternativas para la medición de la nasalidad. 13

2.1 Alternativas para la medición de la nasalidad. Esquema general de medición. 13

CAPÍTULO 3. Sistema Propuesto. 22

3.1 Descripción del sistema: Hardware. 23
3.2 Conexión a la PC. 26
3.2.1 Entrada micrófono. 27
3.2.2 Entrada línea. 28
3.3 Descripción del sistema: Software. 29
3.3.1 Facilidades del software. 32
CAPÍTULO 4. Pruebas efectuadas. 36
4.1 Portabilidad del sistema. 36
4.2 Separabilidad de canales. 36
4.3 Grabaciones. 37
4.3.1 Pruebas que produjeron los resultados esperados. 38
4.3.2 Pruebas que produjeron resultados contrarios a los esperados. 42
4.4 Análisis de costo económico. 44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46
Conclusiones 46
Recomendaciones 46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47

INTRODUCCIÓN

El lenguaje es la capacidad superior exclusiva del hombre, de abstraer y generalizar los fenómenos de la realidad, reflejándola por medio de signos convencionales. De esta manera, el lenguaje es humano por excelencia, siendo esencialmente un hecho psicológico, pero a la vez, un hecho social.

En la producción de la voz aparecen una serie de trastornos que le impiden al individuo establecer una buena comunicación y establecerse de manera adecuada en el ámbito social. Dentro de estos trastornos se encuentran las rinolalias o como también se le denominan, la nasalidad presente de manera anormal en algunas personas; es decir, la inadecuada emisión de aire nasal al pronunciar cualquier tipo de sonido.

Varios científicos e investigadores a lo largo de la historia han estudiado este fenómeno y muchos como Fletcher[1, 2], Horii[3] y Rothenberg[4], proporcionaron herramientas para la medición de la nasalidad y así poder obtener un diagnóstico adecuado de la misma.

Actualmente este tipo de patología es diagnosticada y tratada en las consultas de Logopedia y Foniatría. En estos momentos, en Cuba (como en muchos otros lugares a nivel internacional) estos pacientes son diagnosticados, algunos operados y luego rehabilitados, no obstante no se cuenta con un mecanismo para un buen diagnóstico y una documentación de la evolución del paciente una vez iniciada la rehabilitación.

En este trabajo se describen los trastornos de nasalidad, y se implementa un sistema de medición de este parámetro. Se tienen en cuenta diseños existentes en el mundo para diagnosticar y determinar el tipo e intervalo de las terapias. El sistema puede reconocer incluso un grado de hipernasalidad o hiponasalidad que no sea percibido por especialistas acostumbrados a trabajar con este tipo de patología.

Para esto se aplicarán conocimientos de la carrera como las técnicas de adquisición, monitoreo, procesamiento y análisis de la señal de voz, así como de electrónica y programación.

Objetivo general:

Diseño e implementación de un sistema para la medición de la nasalidad.

Objetivos específicos:

- Analizar las mediciones de nasalidad y las distintas alternativas que existen para la realización de las mismas.
- Implementar un dispositivo que permita realizar mediciones de nasalidad.
- Implementar un software para el cálculo y visualización de las mediciones oral-nasal.
- Realizar pruebas con el sistema a grupos con alteraciones de la nasalidad (LPH, IVF, sanos, etc.), para comprobar las mediciones brindadas por el sistema.

Organización del informe

El informe incluye un capítulo introductorio sobre los mecanismos de producción de la voz, los trastornos que afectan la producción del habla específicamente los relacionados con el puerto velofaríngeo, y los conceptos relacionados con la nasalidad, así como la utilidad de las mediciones de este parámetro reportadas en la literatura. Luego un segundo capítulo donde se analizan de manera crítica las distintas alternativas reportadas para la medición de la nasalidad. En el tercer capítulo se describe el sistema propuesto conformado por hardware y software y se muestran las características de ambos. En el cuarto capítulo se muestran y analizan las grabaciones efectuadas con el sistema en diferentes grupos (LPH, IVF, sanos, etc.) para determinar el correcto funcionamiento del dispositivo y las mediciones incluidas en el software, definiéndose la metodología para su uso como herramienta de valor diagnóstico. Para finalizar, se reúnen las conclusiones más importantes del trabajo, así como las recomendaciones para trabajos futuros sobre el tema.

CAPÍTULO 1. Fundamentos de la medición de la nasalidad

El presente capítulo introduce el estado del arte en el estudio de las características de formación de la voz, se discuten los disímiles trastornos que afectan de forma gradual o parcial el habla tomando particular énfasis en las patologías relacionadas con el puerto velofaríngeo. También se analizará el concepto de nasalidad con todas sus características y se argumentará a partir de un estudio realizado sobre la utilidad de las distintas mediciones de nasalidad reportadas en todo el mundo y la importancia de obtener medidas objetivas de este parámetro.

1.1 Mecanismo de producción de la voz.

La voz es producida por la excitación acústica de una cavidad variante en el tiempo, el tracto vocal, la cual es la región de la cavidad de la boca acotada por la cuerdas vocales y los labios. Los variados tipos de sonidos son producidos ajustando tanto el tipo de excitación, como la forma del tracto vocal[5].

El mecanismo de producción de la voz puede modelarse por un sistema compuesto de tres etapas[5]:

Fuente: encargada de la generación de sonidos (pulmones, cuerdas vocales). Específicamente, el sonido puede pertenecer a uno u otro tipo: sonoro o insonoro. La fuente de sonido del tipo sonoro puede ser modelada como un tren de pulsos de distintas formas que a lo largo de la historia han sido propuestas[4, 6]; estos pulsos se repiten oscilando a la frecuencia que vibran las cuerdas vocales (frecuencia fundamental). Por otra parte, el tipo de voz insonora puede ser modelado como un generador de ruido blanco o blanco de banda ancha[7].

Articulación (Modulador): le da forma y entonación a los sonidos que se están generando, comprende el tracto vocal el cual se puede modelar como una caja resonante que modifica (filtra) el sonido proveniente de las cuerdas vocales.

Radiación: corresponde a la parte final de las cavidades oral y nasal, por donde se expulsa el sonido.

El aparato vocal humano está compuesto por los pulmones, la tráquea, la laringe, la faringe y las cavidades oral y nasal (ver figura 1). El mecanismo de producción de la voz se inicia en los pulmones; el aire sale expulsado de ellos hacia la laringe (atravesando la tráquea y la glotis) a diferente presión en función del sonido que se desea generar. La glotis separa las cuerdas vocales y se mantiene abierta mientras se respira, pero en el momento de producir sonidos se va estrechando de manera intermitente. Tras superar la glotis, el aire se acerca al tracto vocal, el cual varía su forma dependiendo de los sonidos a generar. El tracto vocal es una caja de resonancia, cuya forma, y por lo tanto su respuesta, varían de acuerdo a la posición de los órganos articuladores (lengua, labios, mandíbula, velo paladar[8]:

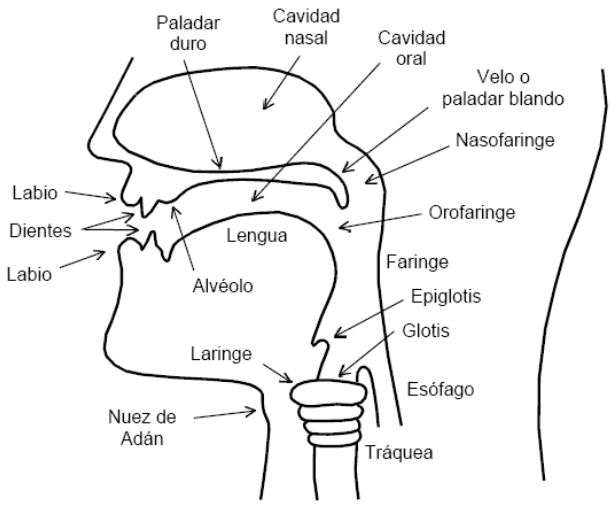


Figura 1.1: Aparato vocal humano.[9]

1.2 Alteraciones patológicas del habla. Trastornos del puerto velofaríngeo.

No siempre el lenguaje se desarrolla normalmente. Se puede decir que las alteraciones, anomalías, perturbaciones o trastornos del lenguaje dificultan, de manera más o menos persistente, la comunicación lingüística, afectando no sólo a aspectos lingüísticos

(fonológicos, sintácticos o semánticos, tanto en el nivel de comprensión y decodificación como de expresión o producción-codificación), sino también intelectuales y de la personalidad, interfiriendo en las relaciones y rendimiento escolar, social y familiar de los individuos afectados[10].

En el habla influyen muchos factores debido a las múltiples estructuras involucradas en su producción. Se concibe en el cerebro, por lo que se ve afectada por trastornos neurológicos, se transmite por los nervios siendo afectada por trastornos nerviosos, se ejecuta mediante actividades musculares afectándose por trastornos motores y por problemas anatómicos como malformaciones, amputaciones u otros que causen la deficiencia o deformidad de alguna estructura.

Como puede apreciarse el origen de los trastornos del lenguaje puede ser variado. En general, cuando la causa puede localizarse en una lesión o disfunción cerebral o del sistema nervioso, se emplea el término orgánico, y, si no es posible descubrir causas similares a las mencionadas, se consideran trastornos funcionales (es necesario mencionar que pueden ser causa de trastorno funcional tumores cerebrales, lesiones obstétricas, enfermedades infecciosas del tipo meningitis, heridas craneales, etc.)[10].

Tratando de unificar criterios referidos a la variedad de taxonomías existentes, y con el fin de proporcionar un conocimiento genérico, se puede clasificar los trastornos del lenguaje en[10-12]:

A. Trastornos orgánicos: Broca y Wernicke fueron pioneros en el estudio de los trastornos del lenguaje con el objetivo de localizar las áreas cerebrales específicamente relacionadas con el lenguaje. Dentro de los trastornos orgánicos se pueden incluir la afasia que se caracteriza por distintos tipos como la afasia receptiva/sensorial de Wernicke, la afasia expresiva de Broca (apraxia o dispraxia), la afasia mixta y la evolutiva o del desarrollo. También dentro de este grupo de trastornos orgánicos se encuentra la alalia y la disartria.
B. Retraso en la adquisición del lenguaje.
C. Trastornos funcionales o articulatorios dentro de los cuales se encuentra la dislalia y la disfemia o tartamudez.

D. Trastornos, no atribuibles a disfunciones, asociados a cuadros clínicos: como son el autismo, la deficiencia mental, el mutismo selectivo, la parálisis cerebral, la dislexia, la disgrafía y la disortografia.

1.2.1 El puerto velofaríngeo o paladar blando. Trastornos.

Como se ha expuesto anteriormente existen disímiles tipos de trastornos que afectan el habla y uno de ellos está relacionado específicamente con el puerto velofaríngeo, que en este caso es importante mencionarlo ya que se encuentra directamente vinculado con el paso del aire por la cavidad nasal en el proceso de la articulación y emisión de los sonidos. Este trabajo tiene el objetivo, precisamente, de analizar el acople de la emisión de aire entre la boca y la nariz utilizando algunas alternativas para un diagnóstico adecuado y más confiable de dicho trastorno.

El puerto velofaríngeo o paladar blando como también se le llama es una de las partes que constituye el paladar, que además presenta una porción gingival o encía, una zona grasa y una zona glandular.

El paladar constituye la pared superior o techo de la cavidad oral. Está dividido en dos partes, la bóveda palatina o paladar óseo en sus dos tercios anteriores, y el paladar blando o velo del paladar en su tercio posterior. En el centro y en la parte más posteroinferior del velo del paladar cuelga la úvula o campanilla[13].

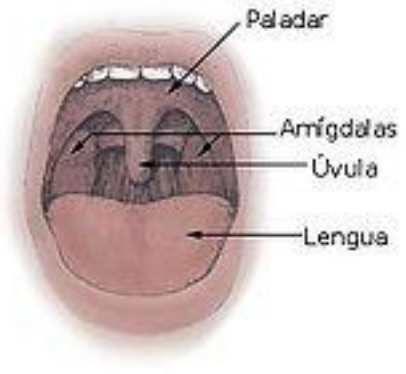


Figura 1.2: Paladar.

1.2.2 Influencia del paladar blando en los sonidos.

Los sonidos del habla, ambos son nasales y orales. Cuando hablamos, algunos sonidos suelen salir por la nariz como los de /m/ y /n/. Se puede sentir la vibración en la nariz cuando se pronuncian palabras como “mamá” y “no.” La mayoría de otros sonidos suelen salir solamente por la boca. No se debe sentir la misma vibración en la nariz cuando se dicen palabras como “papá” y “gato.” Es el cierre del espacio velofaríngeo o paladar blando que permite crear una presión de aire en la boca y producir estos sonidos consonánticos[14].

1.3 Nasalización, emisión nasal y nasalidad.

La nasalización se define como la comunicación que existe entre la cavidad nasal y el resto del tracto vocal; mientras que emisión nasal se refiere al escape anormal de aire por la ruta nasal. Este escape anormal reduce la presión intraoral causando distorsión en las consonantes. Cuando el escape de aire resulta en un resoplo audible, la emisión nasal es obstruida y el habla es seriamente afectada[15].

Con respecto al término “nasalidad” debe apuntarse la existencia de una serie de variaciones normales, relativas a los diferentes grados de resonancia nasal que pueden encontrarse en los distintos idiomas que se hablan en el mundo[16].

Conocidas con esas variaciones: por ejemplo, en el continente europeo son los polacos los que se expresan oralmente con la mayor nasalidad, mientras que los holandeses, por el contrario, revelan la menor nasalidad, se sabe por otra parte, que el idioma francés contiene un llamativo componente nasálico, y que el inglés que se habla en la Gran Bretaña es menos nasal que el de los norteamericanos.

En el idioma español puede percibirse una mayor resonancia nasal al hablarlo los asturianos que cuando es escuchado de los andaluces y de los suramericanos en general, excepción hecha de los argentinos, cuya manifestación oral parece contener cierta nasalidad espástica[16].

De todo lo anteriormente expuesto puede extraerse la conclusión de que no puede derivarse un valor especial de la cantidad de nasalidad de un idioma, puesto que siempre habría que considerar que cada pueblo tiene derecho a hablar de una manera condicionada por el uso y

la costumbre, es decir, supeditadamente al hábito fijado por las asociaciones sensomotrices inherentes al desarrollo idiomático natal[16].

Consecuentemente con lo señalado en el párrafo que precede, la escuela vienesa de logopedia y foniatría propuso, para tener en cuenta ese grado diferente de nasalidad que se necesita en los distintos idiomas, que se usará el término "hiperrinolalia" para designar aquellos casos en que la resonancia nasal esté aumentada en relación con la lengua que se hable, e inversamente, que se utilizará la denominación "hiporrinolalia" en aquellas ocasiones en que esa resonancia nasal se encuentre disminuida[16]. A estas anomalías con respecto a la nasalidad de acuerdo con la lengua hablada muchos autores le llaman también hipernasalidad e hiponasalidad, y en este trabajo nos referiremos a ellas con ambos calificativos.

1.3.1 Rinolalias existentes. Causas orgánicas y funcionales.

Por lo anterior expuesto, y además, apoyándonos en el hecho de que la acepción "nasalidad" abarca por lo menos tres concepciones acústicas que, aunque tienen en común el dirigir la atención del oyente hacia la nariz del que habla, son diferentes entre sí, ofrecemos a continuación lo siguiente[16]:

Clasificación general de las rinolalias.

Las rinolalias pueden dividirse primariamente en tres grupos: 1) *Hiperrinolalias; 2) Hiporrinolalias; 3) Rinolalia espástica.* Un cuarto grupo, derivado de la combinación de los dos primeros, lo constituyen las: *Rinolalias mixtas.*

1. **Hiperrinolalias.**

En este tipo de nasalidad, que corresponde a la "rinolalia abierta" de los antiguos autores, la cavidad nasal, y en menor grado, los senos accesorios según algunos, participan de una manera exagerada en el sonido vocal, dado que el pasaje de aire por la nariz está aumentado. Aunque, como veremos más adelante, este trastorno puede tener varias causas, puede decirse que en la mayoría de los casos se debe a una deficiencia en la movilidad

normal del velo del paladar, lo que obedece a factores que pueden ser bien orgánicos, bien funcionales[16, 17].

- Causas orgánicas de las hiperrinolalias.

El órgano de que depende la hiperrinolalia es el paladar, tanto óseo como blando, sobre todo el segundo, que tiene como función fonatoria cerrar el paso del aire desde la boca a la nariz durante la articulación de los fonemas no nasales, y abrirlo en los nasales (ver figuras 1.3 y 1.4). Entre las distintas causas orgánicas del paladar pueden mencionarse: a) *fisura palatina; b) velo corto; c) parálisis y paresias velares; d) orificios de la bóveda ósea y en el velo, y e) traumatismos velofaríngeos; estos últimos casi siempre quirúrgicos[14, 16]*.

Figura 1.3: El cierre inadecuado durante la producción de los sonidos consonánticos. Cuando el cierre está inadecuado como resultado de los problemas con el paladar blando, el aire sale por la nariz, por el espacio velofaríngeo, y las consonantes llegan a ser débiles o desaparecen.[14]

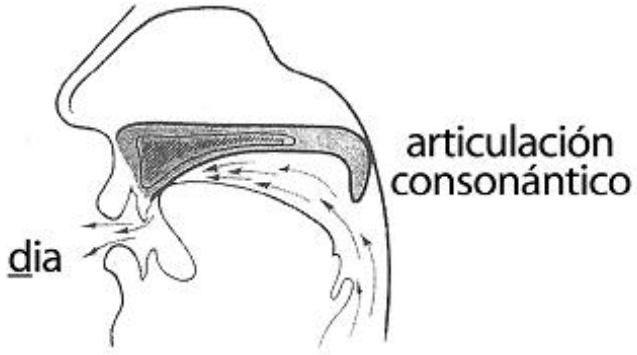


Figura 1.4: El cierre normal durante la producción de los sonidos consonánticos. Un paladar blando normal cierra la nariz de la boca y permite el aumento de la presión que esta ha necesitado para la producción normal de muchas consonantes.[14]

- Causas funcionales de las hiperrinolalias.

Existen varios factores no orgánicos que pueden producir hiperrinolalia, y son los siguientes: a) parálisis y paresias velares funcionales; b) déficit atencional; c) déficit auditivo, y d) imitación.

2. Hiporrinolalias.

Este término corresponde a lo que los autores antiguos denominaban "rinolalia clausa". Por el contrario de lo que sucede en las hiperrinolalias, en este tipo de nasalidad anormal el pasaje fisiológico del aire por la nariz está obstaculizado, y la resonancia nasal de la voz, por tanto, está mermada, dando la impresión de un cierre absoluto, o relativo del conducto[16, 17].

En la gran mayoría de los casos, la hiporrinolalia es de origen orgánico, teniendo como causa un obstáculo determinado, bien en la nariz, bien a la altura del velo del paladar. Se divide en dos grandes grupos: *Hiporrinolalia anterior e Hiporrinolalia posterior[16]*.

- Hiporrinolalia anterior.

En este tipo de hiporrinolalia, el sonido de la voz se asemeja al que se produce si se tapa la nariz durante el habla. Se debe por entero a problemas nasales de tipo orgánico, como crestas pronunciadas, grandes desviaciones del tabique, pólipos, etc. [16]

- Hiporrinolalia posterior.

Aquí el habla da la impresión auditiva de sufrir el individuo un catarro o resfriado agudo. Son responsables de este tipo de hiporrinolalia algunos problemas orgánicos, tales como grandes vegetaciones adenoideas. En casos bastantes raros, la hiporrinolalia posterior puede ser de tipo funcional, o sea, se debe a un levantamiento exagerado del velo. Tales casos de hiporrinolalia funcional pueden producirse como secuela de catarros o resfriados previos, y después de haber desaparecidos éstos, el velo del paladar continúa imitando la manera de hablar anterior.[16]

Como es objetivo de este trabajo la medición de los parámetros que especifiquen la existencia de alguna perturbación en el acople oral-nasal a la hora de hablar, es importante destacar que para la medición objetiva tanto de hipernasalidad como de hiponasalidad se

requiere de la colocación de sensores que capten ya sea el sonido (en la hipernasalidad) o el flujo de aire (en ambas) que se desvía hacia la cavidad nasal.

1.4 Utilidad de las mediciones de nasalidad.

Actualmente las mediciones de nasalidad han ayudado a los médicos y especialistas a definir distintos trastornos en pacientes con problemas del habla, a investigar e indagar más sobre los mismos para tomar decisiones, y a comprobar el estado de un paciente luego de un tratamiento, mostrando las eficiencias o deficiencias del mismo. Algunos ejemplos se describen a continuación:

1) Según Dalston y Seaver[18, 19] en el Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina de la Universidad de Carolina del Norte unas de las mediciones de nasalidad que fueron realizadas estaban destinadas a medir el control motor del habla y la evaluación clínica de los pacientes con problemas del puerto velofaríngeo; al igual, se realizaron estudios donde los resultados demostraron que el equipo utilizado para estas pruebas: el Nasometer II 6450, es un instrumento adecuado que puede ser de valor en la evaluación de pacientes con sospecha de insuficiencia velofaríngea.

2) En el año 1993 se realizaron estudios para comparar la puntuación de nasalización antes y después de la reparación del paladar hendido[20]. Y posteriormente en 1998 se hizo una evaluación cuantitativa de la nasalización después de la hemilaringectomía vertical en pacientes con carcinoma de la laringe, donde los resultados mostraron que la nasalización determinada, tenía una diferencia significativa entre los grupos quirúrgicos y el grupo normal[21].

3) Según un trabajo realizado en Cuba en el año 1999 en el Hospital Pediátrico Docente "Juan Manuel Márquez"[22], a los pacientes fisurados labiopalatinos se les realizó una medición subjetiva/perceptual de nasalidad antes de la cirugía diagnosticándose una hipernasalidad. Luego, en las mediciones posteriores a la cirugía y el tratamiento se demostró la disminución de estas y otras perturbaciones presentadas por cada paciente.

4)En el año 2001 se realizaron estudios en el Instituto de Foniatría, Universidad de Utrecht de los Países Bajos con pacientes que presentaron como trastorno principal un paladar corto congénito, sin una hendidura, en la mayoría de los casos revelados por la adenoidectomía. Estos estudios revelaron que luego de una intervención quirúrgica las mediciones de nasalidad mostraron un menor porcentaje de nasalización. Dichas mediciones se han realizado con el equipo llamado Nasómetro y la mayoría de los estudios que se han hecho en distintas universidades y clínicas del mundo han dado como resultados que el Nasómetro es un instrumento adecuado que puede ser de valor en la evaluación de pacientes con sospecha de insuficiencia velofaríngea así como la evaluación cuantitativa precisa de la cirugía velofaríngea funcional[23].

5)Según un artículo de la Revista Ciencia y Salud de Bogotá en el año 2006[24] se hicieron investigaciones en las cuales una de los parámetros que se analizaban era la nasalidad, para la descripción de las producciones de habla de personas con fisura labiopalatina, y dar a conocer el campo de la fonética clínica en la formación de los fonoaudiólogos.

6)Otro tipo de estudios que se realizan con la nasalidad son los relacionados con la lingüística y la dialectología.

1.5 Conclusiones parciales

Como se ha mostrado existen distintas patologías relacionadas con el habla y dentro de estas se encuentra la inadecuada emisión de aire por la nariz en la pronunciación de los sonidos. Esto lleva consigo la aparición de una hiperrinolalia o una hiporrinolalia o como también puede llamársele hipernasalidad o hiponasalidad. Estas anomalías se pueden detectar muchas veces de manera subjetiva, pero para un mejor diagnóstico se pueden realizar mediciones utilizando dispositivos y herramientas que permitan de manera objetiva obtener una mejor evaluación de los trastornos así como un adecuado tratamiento y evolución de los mismos.

CAPÍTULO 2. Análisis crítico de alternativas para la medición de la nasalidad.

2.1 Alternativas para la medición de la nasalidad. Esquema general de medición.

La nasalidad es una variable que se puede medir mediante la captación del sonido o del flujo de aire. Por ello se han desarrollado equipos para la medición tanto de la intensidad relativa de los componentes oral y nasal del habla (por ejemplo el nasómetro) como del flujo absoluto de aire nasal. En la figura 2.1 se muestra un esquema general para la medición de este parámetro el cual consta de cuatro bloques funcionales: el bloque de sensado, el procesamiento que se le hace a la señal de sonido antes de su análisis, el método de medición empleado y por último la interfaz con el usuario, donde se visualiza la medición nasal en el caso que solamente se midiera al flujo de aire nasal, o de las señales oral y nasal en el caso que se midiera la intensidad de los componentes oral y nasal.

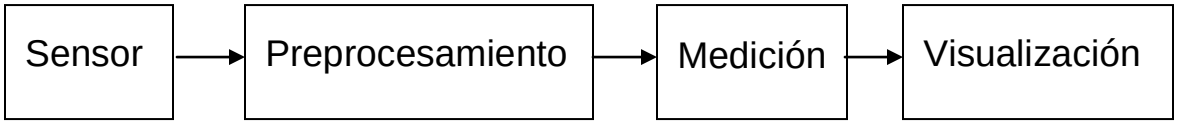


Figura 2.1: Esquema general de medición de la nasalidad.

Los sensores más utilizados en la medición de la nasalidad son para el caso del sonido, los micrófonos y los acelerómetros y en el caso del flujo de aire, el neumotacógrafo y el anemómetro de aire caliente.

Desde los primeros estudios que se realizaron acerca de la nasalidad han existido diversas alternativas de medición y por tanto cambios en cada uno de los bloques del esquema

general, siempre con el objetivo de garantizar un mejor resultado. En la siguiente tabla se muestran las distintas alternativas reportadas y sus características fundamentales.

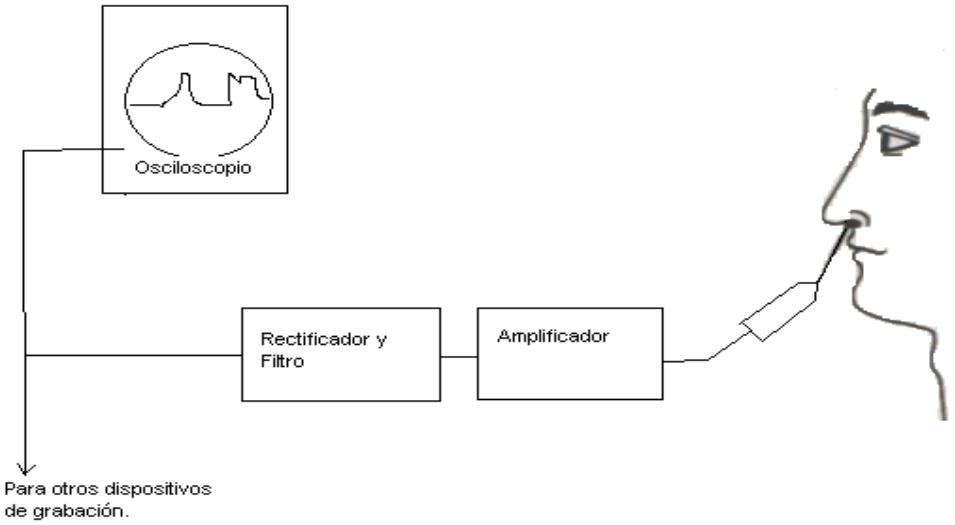


Figura 2.2: Medidor de presión de sonido nasal[25].

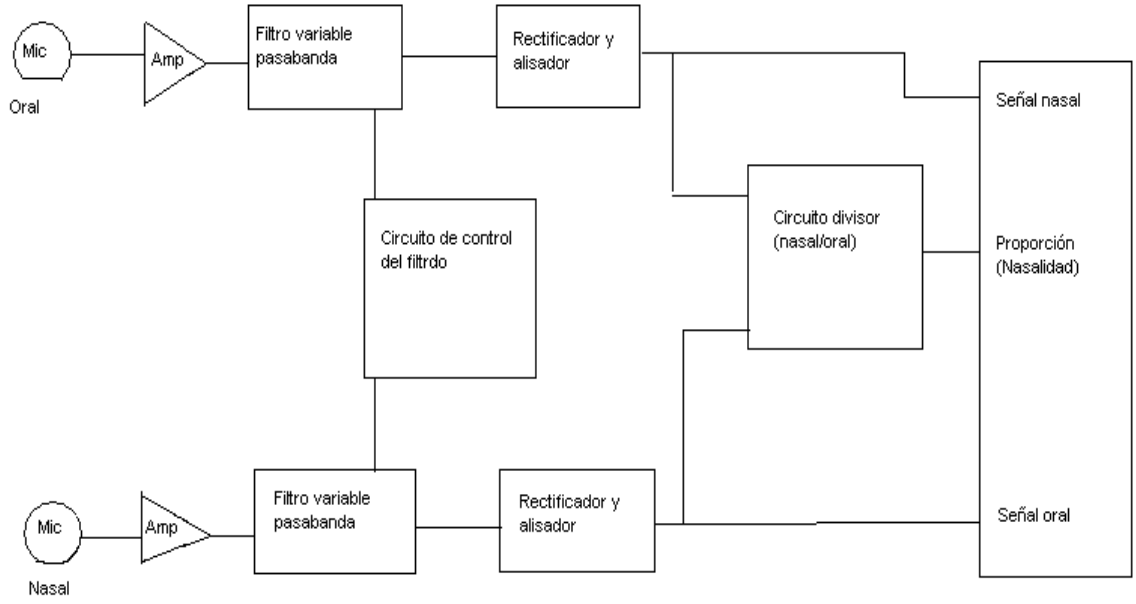


Figura 2.3: Diagrama del sistema Razón Acústica Oral Nasal (TONAR)[25].

Equipamiento	***Origen reportado en***	***Sensor***	***Pre procesamiento***	***Mediciones***	***Visualización***	***Empleo***	***Comentarios***
Medidor de presión de sonido nasal. (figura 2.2)	Hirano, Takauchi, and Hiroto, (1966).	Micrófono justo dentro de la nariz[26].	Amplificación, rectificación, y filtrado de la señal captada por el micrófono hasta producir una señal que presentaba la amplitud del sonido nasal	No se hallaba ninguna relación, solamente se obtenía la señal de presión de sonido nasal.	Expuesta en un osciloscopio o expuesta en papel.	Medición de la presión de sonido nasal para encontrar nasalidad	A pesar de que era simple, este método tiene un número de problemas que limita que sea usado como una herramienta evaluativa. La presión del sonido nasal no es simplemente una función del grado de acoplado nasal: Es obviamente, además, el reflejo de la intensidad vocal[27]. De esa manera, un incremento de la fuerza de la intensidad del sonido intranasal puede representar nada más que un esfuerzo fonatorio incrementado.
The Oral Nasal Acustic Ratio" (TONAR)[28]	Fletcher (1970)	Medición de sonidos oral-nasal a partir de micrófonos.	El TONAR tomaba la señal de presión oral y nasal e indistintamente las amplificaba y las	Divide las señales con un circuito divisor para hallar la nasalidad.	Se obtiene una salida en una cinta de papel térmica donde	Medición de la nasalidad	El Tonar tuvo posteriores versiones como el Tonar II[1], empleado también en estudios de pacientes

(figura 2.3)			filtraba con un filtro pasa banda, luego las rectificaba y suavizaba para sacarle la envolvente.		se visualizan las tres señales.		esofágicos [29] y de discapacitados auditivos [2]. En la actualidad no se encuentran disponibles comercialmente
HONC[3] (figura 2.4)	Horii (1980)	Medición de sonidos oral-nasal a partir de acelerómetros.	Un amplificador master suministra y amplifica por separado las salidas de cada acelerómetro, pero la señal de transductor de cuello es amplificada primero por una variable preamplificadora. Esta ganancia adicional es representada por k. Luego de la amplificación, las señales de los dos canales son independientemente rectificadas y filtradas.	Un circuito divisor análogo genera la relación, **Arms(n)/ (k*Arms (v)),** Arms(n) es la raíz media cuadrática de la amplitud para la salida nasal del acelerómetro; Arms (v) es un valor similar para una salida vocal del acelerómetro, la contante k es un número (determinado por cada condición de	El sistema de exposición (un osciloscopio o un grabador de pluma) por consiguiente muestra solamente la proporción durante el segmento de emisión de sonido.	Medición de la nasalidad	El circuito del HONC tiene como característica que luego de generar la relación **Arms(n)/ (k*Arms (v))** un circuito especial actúa como un detector de voz y produce un producto solo cuando el acelerómetro del cuello es activado. Esta salida es usada para el control del switch electrónico que corta la salida del divisor si un sonido mudo se produce.

				prueba) que hace que la proporción sea 1 cuando la nasalización es máxima.			
Kay Nasometer 6200 **(figura 2.5)**	Kay Elemetrics (K. E.).	Medición de sonidos oral-nasal a partir de micrófonos.	Este nasómetro usa un casco con un separador de sonido, dividiendo el sonido oral y nasal. Tiene un preamplificador analógico que filtra la señal con un ancho de banda de 300Hz hasta 500 Hz. La señal filtrada es digitalizada en una computadora IBM compatible para el análisis posterior.	Brinda diferentes medidas de nasalidad como: razón de Nasalidad: $\frac{An}{Ab}$ y por ciento de nasalidad: $\frac{An}{An+Ab} * 100\%$ Donde *An* es la energía acústica nasal y *Ab* energía acústica oral.	Las señales obtenidas se visualizan en la computadora	Medición de la nasalidad	Los datos normativos se han calculado con este dispositivo en un gran número de idiomas a nivel internacional. Patólogos del habla, otorrinolaringólogos y cirujanos plásticos utilizan el instrumento para ayudar a objetivizar y completar su diagnóstico
Nasometer II 6450	Kay Elemetrics	Medición de sonidos oral-nasal	Utiliza un dispositivo con forma de casco que	Mediante un software y	Se visualiza a partir de una	Medición de la nasalidad	El método del Nasometer II para nasalidad se ha

(figura 2.5)	(K. E.) (1986).	a partir de micrófonos	contiene una placa que separa las cavidades oral y nasal y micrófonos montados en la parte superior e inferior de la placa que recogen la energía acústica durante el habla, dichas señales son muestreadas y digitalizadas a través de la PC.	determinados cálculos se analiza a partir de las señales obtenidas la relación **N/N+O**, donde N es la energía nasal obtenida y O es la energía oral.	interfaz gráfica que brinda las tres señales: la oral, nasal y la nasalidad calculada.		demostrado que se correlaciona bien con otras técnicas instrumentales (por ejemplo, presión y las mediciones de flujo y fotodetección), así como estudios de percepción.
Máscara Oronasal[30] (figura 2.6)	Glottal Enterprises (G. E.).	Medición de flujo de aire tanto oral como nasal utilizando neumotacógrafos.	Utiliza una máscara para separar y captar el flujo de aire oral y nasal con mucha fidelidad y poca distorsión del habla. Ambas señales son muestreadas y digitalizadas a través de la PC.	Mediante un software y determinados cálculos se analiza a partir de las señales obtenidas la relación **N/N+O**, donde N es la energía nasal obtenida y O es la energía oral.	Se visualiza a partir de una interfaz gráfica que brinda las tres señales: la oral, nasal y la nasalidad calculada. **(figura 2.7)**	Medición de la nasalidad.	

Nasómetro con soporte manual.[31] (figura 2.6)	Glottal Enterprises (G. E.).	Medición del sonido nasal-oral utilizando micrófonos.	Utiliza una placa con un soporte manual, la cual divide la región oral y nasal para la adquisición de ambas señales que luego son muestreadas y digitalizadas en la PC.	Mediante un software y determinados cálculos se analiza a partir de las señales obtenidas la relación **N/N+O**, donde N es la energía nasal obtenida y O es la energía oral.	Se visualiza a partir de una interfaz gráfica que brinda las tres señales: la oral, nasal y la nasalidad calculada. **(figura 2.7)**	Medición de la nasalidad.
NAS-1 System[32]	Glottal Enterprises (G. E.).	Este es un sistema que combina los dos sistemas anteriormente mencionados: Máscara Oronasal y Nasómetro con soporte manual por lo que utiliza sensores como: neumotacógrafos y micrófonos.	Las señales captadas son muestreadas y digitalizadas a través de la PC.	Mediante un software llamado NasalityStudent (figura 2.7) y determinados cálculos se analiza a partir de las señales obtenidas la relación **N/N+O**, donde N es la energía nasal obtenida y O es la energía oral.	Se visualiza a partir de una interfaz gráfica que brinda las tres señales: la oral, nasal y la nasalidad calculada. **(figura 2.7)**	Medición de la nasalidad.

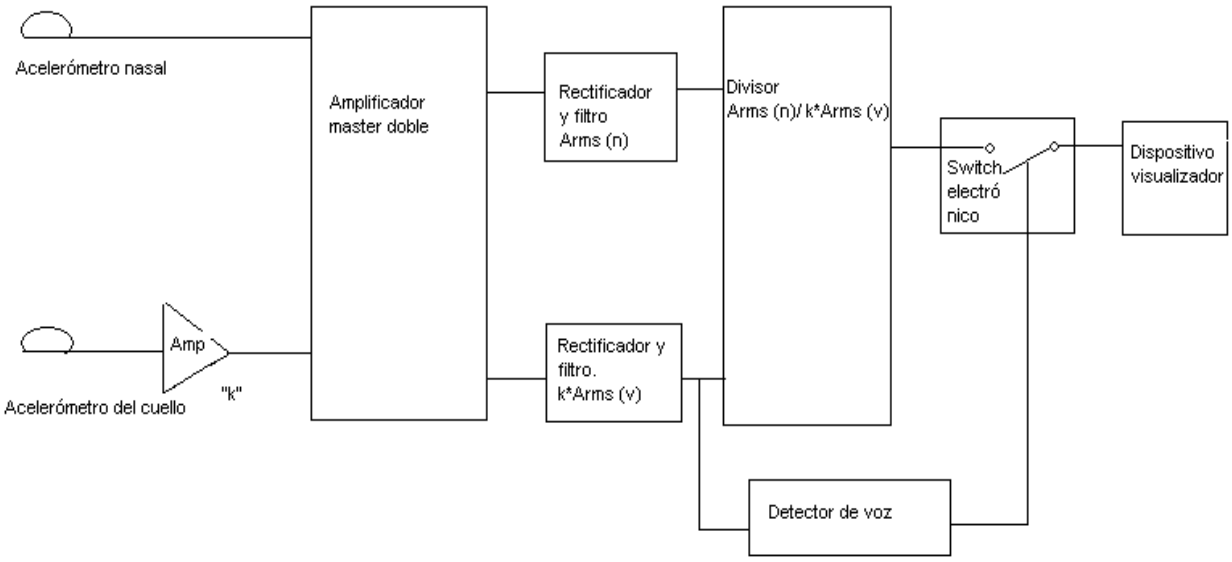


Figura 2.4: Diagrama en bloque del funcionamiento básico del HONC[25].

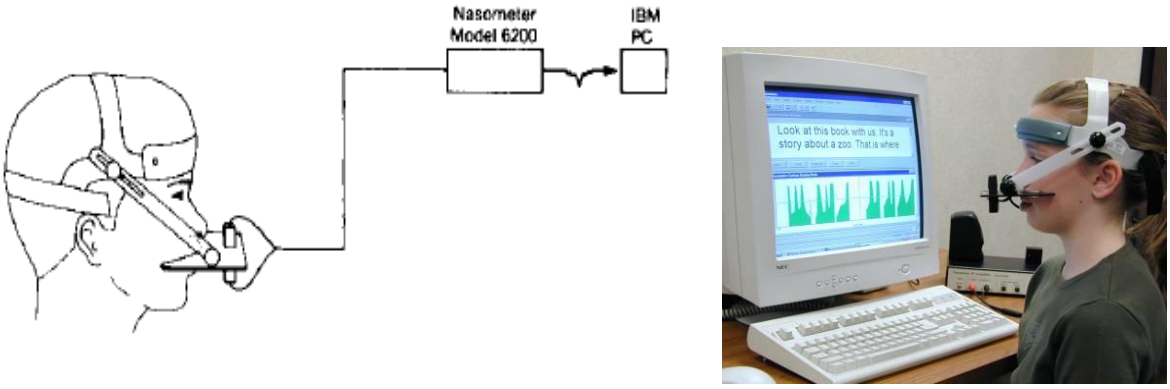


Figura 2.5: Kay Nasometer 6200 y Nasometer II 6450 de la Kay Elemetrics.

Figura 2.6: Nasómetro con soporte manual y Máscara Oronasal confeccionados por la compañía Glottal Enterprises[30, 31].

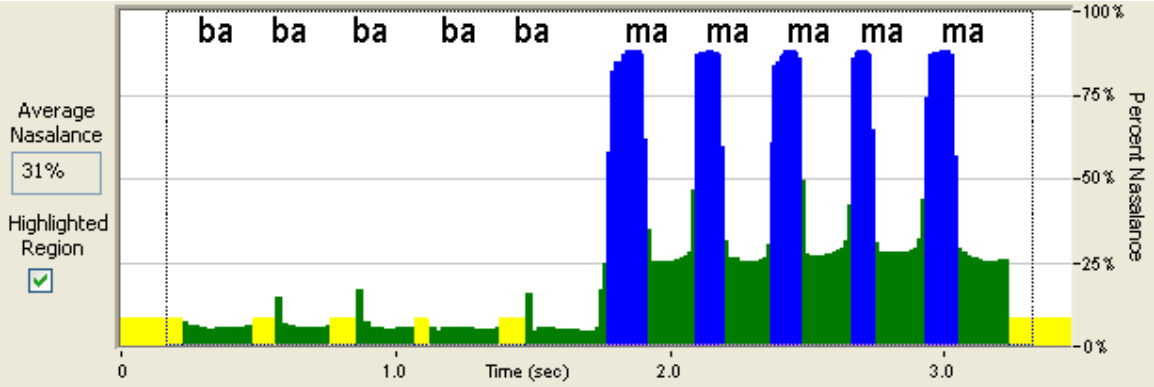


Figura 2.7: El NasalityStudent: software creado por la Glottal Enterprises para la utilización de la Máscara Oronasal y el Nasómetro con soporte manual.

CAPÍTULO 3. Sistema Propuesto.

El sistema propuesto en este trabajo para la medición de la nasalidad está compuesto por hardware y software, basado principalmente en las alternativas diseñadas por la Glottal Enterprises y la Kay Elemetrics que se basan fundamentalmente en la computadora, debido a la flexibilidad y sencillez que posibilita la utilización de la misma.

La captura de señales a través de la PC se puede realizar a partir de entradas tales como puerto paralelo, serie y USB que requieren la digitalización externa de la señal. Es más factible en este caso, por tratarse de señales de audio, utilizar el sistema de sonido interno de la PC, que efectúa la digitalización de la señal. Como único requisito en esta última variante se encuentra el sensor de sonido (micrófono), así como algún circuito de acondicionamiento para el mismo. A pesar de esto, en los nasómetros comerciales existentes se emplea hardware externo, como la digitalización y comunicación por USB por la G.E. y circuitos de calibración por la K.E.

En el caso del nasómetro propuesto en este trabajo, la conexión a la computadora se realiza de dos formas diferentes: la primera es mediante la entrada de micrófono de la tarjeta de sonido y la segunda, la entrada línea con una alimentación por USB, debido a que esta entrada no brinda la alimentación necesaria para los micrófonos utilizados como sensores. El siguiente esquema visualiza de forma resumida la composición del sistema y los requerimientos del mismo de acuerdo a la variante a utilizar.

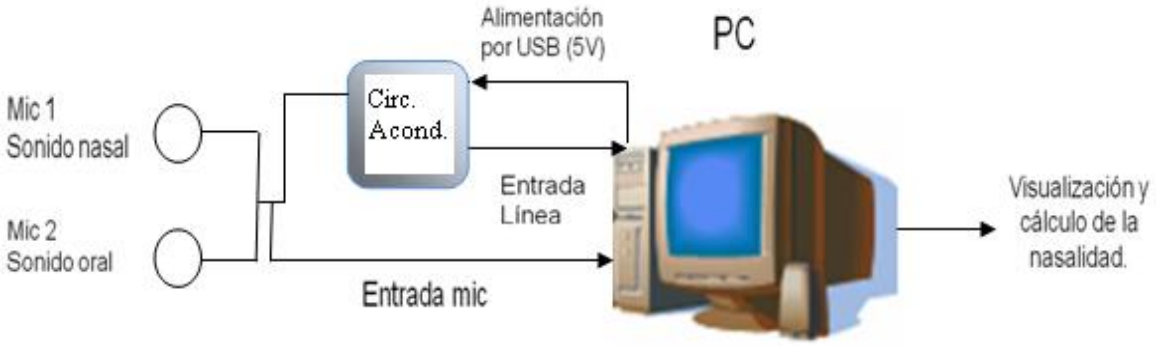


Figura 3.1: Esquema General del nasómetro propuesto.

3.1 Descripción del sistema: Hardware.

Para la descripción del sistema propuesto se necesita mencionar, primeramente, una serie de componentes, tanto eléctricos como mecánicos, así como materiales para su implementación, los cuales están enumerados a continuación con sus respectivas características:

- **Componentes mecánicos:**

Aislamiento oral/nasal:

- Separador: El separador brinda la posibilidad de separar los sonidos oral y nasal para la adquisición de ambos por separado y luego poder visualizarlos y analizarlos sin ser mezclados. Existen varios diseños de separadores pero los más comunes son a partir de placas de materiales como plástico y acrílico o máscaras de silicona.

Soporte:

El soporte de estos dispositivos suelen ser de dos tipos. Existen distintos diseños de acuerdo a la compañía que los fabrique. El tipo de soporte está dado por la facilidad de manejo tanto

para el paciente como para el operario del equipo así como por la comodidad a la hora de realizar las grabaciones. Estos dos tipos de soporte son:

- De Mano.
- De Cabeza.

➢ **Materiales empleados:**

- Soporte interior de un casco de constructor.
- Planchas de acrílico.

Figura 3.2: Nasómetros diseñados para el análisis de la nasalidad. De izquierda a derecha diseño con soporte de cabeza y diseño con soporte manual.

➢ **Componentes eléctricos:**

- Cables.
- Dos resistencia R=4.3KΩ
- Conector A-macho USB.

USB Universal Serial Bus es una interfase plug&play entre la PC y ciertos dispositivos tales como teclados, mouses, scanner, impresoras, módems, placas de sonido, cámaras, etc)[33]. Una de las ventajas de este tipo de conexión por USB es que brinda alimentación al dispositivo externo, la cual se encuentra alrededor de 5V. Partiendo de esta característica se utilizó para el diseño del Nasómetro un conector A-Macho de USB para proporcionarle

la energía necesaria a los dos micrófonos electret utilizados, además, este tipo de conexión está bastante difundida en el mundo, por lo que es más factible su uso para estos propósitos.

Figura 3.3: Conector USB A-Macho.

- Dos Micrófonos.

Como tipos de micrófonos más comunes se pueden mencionar el de condensador, electret, piezoeléctrico y electrodinámico.

Estos micrófonos presentan distintas características atendiendo a su costo, niveles de voltaje, respuestas de frecuencia y la alimentación que requieren. El electret presenta mayores ventajas para este tipo de estudio pues brinda niveles de voltaje relativamente altos, su respuesta de frecuencia es la más extensa entre los distintos tipos de micrófonos y [34]son muy baratos y pequeños.

El llamado micrófono de condensador electret o, simplemente, electret, es una variante del micrófono de condensador que utiliza un electrodo (fluorocarbonato o policarbonato de flúor) laminal de plástico que al estar polarizado no necesita alimentación. Que las placas estén polarizadas significa que están cargadas a perpetuidad desde el mismo momento de su fabricación (son polarizados una sola vez y pueden durar muchos años)[35]. La existencia de esta carga electrostática hace que para alimentar las placas ya no sean necesarias ni pilas ni alimentación phantom para su funcionamiento. Sin embargo, este tipo de micrófono requiere un amplificador incorporado, que generalmente es transistorizado y opera con voltajes de entre 1.5 y 9 voltios, por lo que sí necesita de una alimentación. El objetivo del amplificador en este caso es transformar la alta impedancia de salida del micrófono en baja

impedancia requerida en la entrada del canal de cualquier consola de mezcla [36, 37]. (Ver figura 3.4).

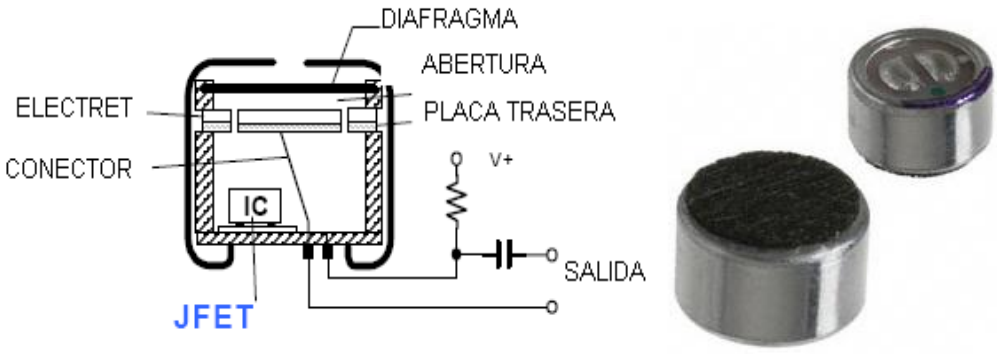


Figura 3.4: Micrófono electret [36].

Estos micrófonos pueden ser direccionales u omnidireccionales. Habitualmente son pequeños y robustos por lo que su manipulación no los deteriora significativamente. Su respuesta de frecuencia es prácticamente plana y oscila entre 50 y 15000Hz [35], aunque son menos sensibles en la zona de los agudos. Su principal inconveniente es su sensibilidad a los cambios de humedad y temperatura, lo que unido al polvo deteriora su rendimiento[38]. Con estos micrófonos se puede obtener un sonido natural, limpio y claro.

3.2 Conexión a la PC.

Para la realización del Nasómetro aquí propuesto se tiene en cuenta que el tipo de micrófono utilizado necesita una alimentación para suministrar al preamplificador que tiene en su interior, por lo que la misma puede ser obtenida mediante dos vías: una es la que brinda la entrada de micrófono de la tarjeta de sonido de la PC y la otra, la que brinda el puerto USB.

Para la conexión de los micrófonos se utiliza un enchufe estéreo de 3.5 mm punta-anillo-manga y dentro de la PC se encuentra la instalación eléctrica necesaria para suministrar la alimentación y para la obtención de las señales.

3.2.1 Entrada micrófono.

La entrada micrófono de la tarjeta de sonido puede ser de dos tipos: estéreo y mono, este último tipo la presentan solo un pequeño número de PC más antiguas. Ambas configuraciones se muestran en las figuras 3.5 y 3.6·, las cuales cumplen con determinadas especificaciones como: un voltaje de polarización (Vp) de 5.5V aproximadamente, una resistencia de polarización (Rp) de 2.2KΩ, una impedancia de entrada (Zi) como mínimo de 4K y un convertidor A\D con una escala de conversión de 10-100mVrms[39, 40].

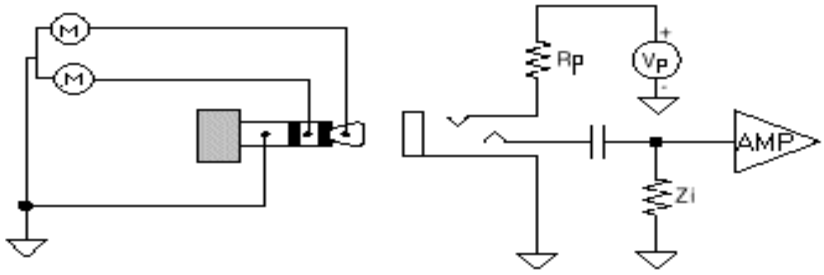


Figura 3.5: Conexión a la PC por entrada micrófono mono.

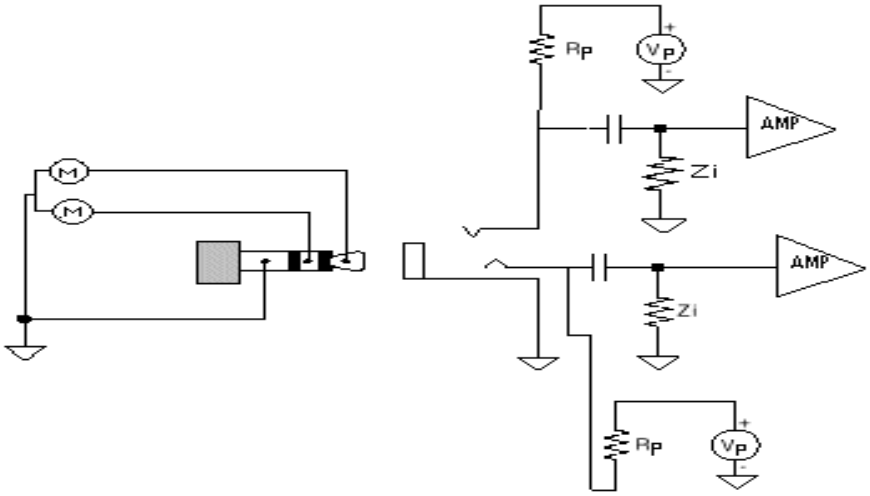


Figura 3.6: Conexión a la PC por entrada micrófono estéreo.

Una de las especificaciones de diseño de este tipo de entrada es que al establecer la conexión a la computadora cuando circula una corriente de 0.8 mA el voltaje mínimo que debe haber a la salida es de 2V, siendo esto una limitante para la Rp.

Como se ha mostrado, esta entrada brinda la oportunidad de suministrar el voltaje necesario para el electret y obtener las dos señales de audio requeridas en este tipo de estudio en el caso de que sea de tipo estéreo.

3.2.2 Entrada línea.

En el caso en que la computadora a utilizar no presente una entrada de micrófono de tipo estéreo, es decir que sea de tipo mono, entonces es necesario utilizar la entrada línea de la tarjeta de sonido que sí cumple con este requisito. Además, esta entrada presenta una impedancia de entrada de 10K y un convertidor A\D con una escala de conversión de 1Vrms[39, 40]. Sin embargo este tipo de conexión presenta una desventaja, la cual es que no brinda el voltaje necesario para el funcionamiento del preamplificador que se encuentra dentro del electret (ver figura 3.7).

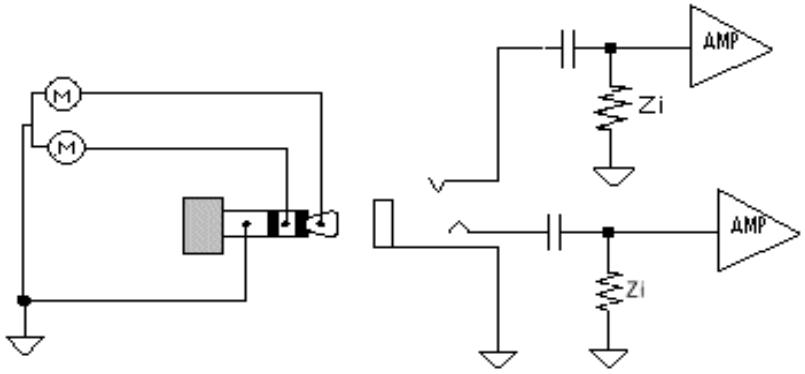


Figura 3.7: Conexión a la PC por entrada de línea sin alimentación.

Para poder obtener la alimentación necesaria se requiere de un circuito de acondicionamiento sencillo partiendo del voltaje obtenido del puerto USB y es donde entran a cumplir su papel las dos resistencias que se utilizan en este sistema.

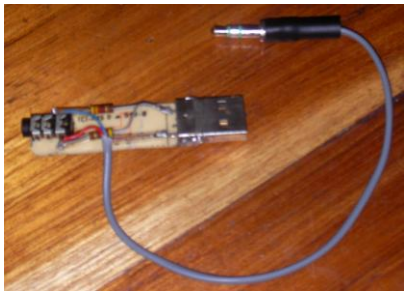


Figura 3.8: Circuito de acondicionamiento para entrada línea con alimentación por USB.

Para cumplir con el requisito de que el voltaje a la entrada de la PC sea como máximo de 2V se utilizan resistores menores de 4.37kΩ mediante el cálculo siguiente: (5.5V-2V)/0.8mA = 4.37kΩ. Se eligió ese valor máximo para que dicha resistencia afecte lo menos posible la impedancia de entrada a la PC que ve el electret. Por todo esto se utiliza en este diseño dos resistencias para cada canal de valor R=4.3kΩ.

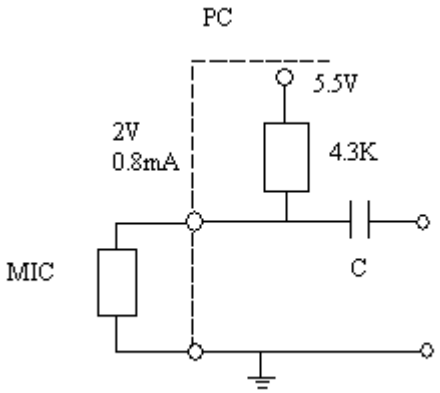


Figura 3.9: Conexión del micrófono electret a la PC.

3.3 Descripción del sistema: Software.

Luego de desarrollar el dispositivo es necesario calcular la nasalidad existente y visualizar tanto las señales obtenidas como las medidas de nasalidad calculadas. Para esto se implementó un software llamado NasalityStudio V1.0 y a continuación se muestra la interfaz de usuario del software desarrollado (figura 3.10) y se describen las funcionalidades de la misma:

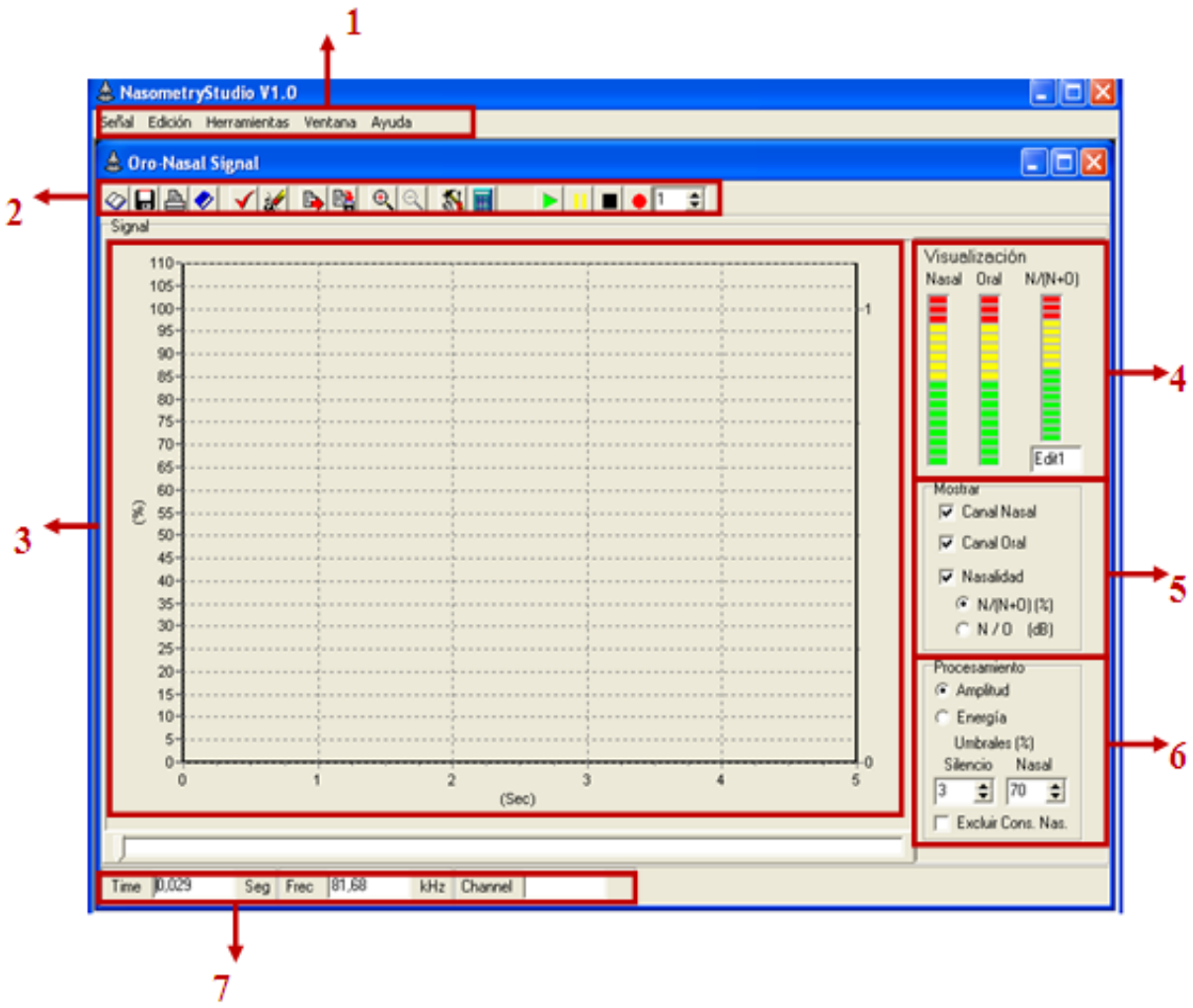


Figura 3.10: Interfaz de usuario del software desarrollado: ***1) Menú Principal, 2) Barra de Herramientas, 3) Área de Visualización, 4) Niveles de Intensidad, 5) Configuración de Visualización, 6) Opciones de Procesamiento, 7) Barra de Estado.***

1. Menú Principal*:*

- *Señal:* Permite crear una nueva ventana de visualización (**Nueva**), abrir una señal de audio (**Abrir.wav**) de un directorio determinado o previamente guardada, (**Guardar**), imprimir la representación gráfica mostrada en el área de visualización (**Imprimir**), explorar la propiedades de la señal de audio cargada (**Propiedades**), cerrar la ventana activa (**Cerrar**) y salir de la aplicación (**Salir**).

- *Edición:* Permite la selección de un bloque de la representación gráfica (**Selecc. Bloque**), la eliminación del bloque seleccionado (**Trunc. Bloque**), copiar la figura del área de visualización hacia el clipboard (**Copiar Fig. a Clipbd**), copiar ventana activa al clipboard (**Copiar Vent. Act. a Clipbd**) y la visualización detallada (**Zoom In**) o generalizada del gráfico.
- *Herramientas:* Permite ver la configuración del software en cuanto a la visualización de las señales. Proporciona opciones de calibración para el hardware y permite establecer la frecuencia de muestreo y la resolución a utilizar.
- *Ventana:* Permite la organización de las ventanas activas dentro de la aplicación.
- *Ayuda:* Muestra la ayuda de la aplicación.

2. *Barra de herramientas:* Brinda accesos rápidos a las distintas funcionalidades del *menú principal* como son:

- Abrir una señal de audio (**Abrir.wav**).
- Guardar la señal de audio grabada.(**Guardar**).
- Imprimir la representación gráfica mostrada en el área de visualización (**Imprimir**).
- Cerrar ventana.
- Mantener sólo selección.
- Borrar selección.
- Copiar gráfico al Clipboard.
- Guardar gráfico al disco.
- Agrandar y restablecer.
- Herramientas.
- Calculadora . Esta herramienta muestra los valores calculados relacionados con la nasalidad. Más adelante se argumenta sobre las características de estas medidas calculadas ya que las mismas son de gran importancia en cada grabación realizada.

Esta *Barra de Herramientas* permite también reproducir la señal, grabarla, pausarla y pararla en el tiempo deseado por el usuario a través del grupo de botones de reproducción:

3. ***Área de visualización***: Se representa gráficamente las señales seleccionadas en el punto 5.

4. ***Niveles de Intensidad***: Se muestran las intensidades instantáneas, en tiempo real, de las componentes oral y nasal, así como su relación.

5. ***Configuración de visualización***: Selección de señales a mostrar o no, y la forma de obtención de las mismas. Se puede mostrar la nasalidad en % como N/N+O, siendo N la energía acústica nasal y O la energía acústica oral, o también se puede visualizar la razón de nasalidad N/O que se representa en dB. La primera representación de la nasalidad es la que se muestra por defecto.

6. ***Opciones de Procesamiento***: Da la opción de establecer umbrales de nasalidad y silencio y además permite elegir la forma de obtención de la señal, es decir, en amplitud o energía y por último permite excluir o no las consonantes nasales.

7. ***Barra de Estado:*** Muestra los valores de frecuencia y tiempo del punto donde se encuentra el cursor dentro del área de visualización, y además el canal seleccionado.

3.3.1 Facilidades del software.

El software diseñado proporciona diversas facilidades con el objetivo de brindarle al operario del sistema un mejor manejo y estudio de las grabaciones realizadas a cada paciente. En cada grabación se obtienen tanto las envolventes de las señales nasal y oral así como la nasalidad presente en las mismas.

- **Cambio de umbrales:**

Una de las herramientas que brinda este programa está relacionada con el cambio de umbrales tanto de nasalidad como de silencio. El umbral de nasalidad escogido para realizar algunos estudios fue el 70%, basándonos fundamentalmente en el umbral que utiliza Rosenberg en sus grabaciones el cual es del 65%. Pero este valor puede ser cambiable en relación al idioma que se hable pues la nasalidad varía con respecto a este parámetro. Este umbral se aplica o funciona sobre la señal de nasalidad definida como

N/(N+O). Por otra parte, el umbral de silencio se aplica o funciona con respecto a las señales nasal (N) u oral (O), y fue escogido de un 3% con el objetivo de excluir el ruido ambiental, aunque al igual que con la nasalidad este valor también es variable de acuerdo al criterio del operario del equipo. En la siguiente figura se presenta una grabación donde se señalan los principales parámetros de visualización y los umbrales tanto de nasalidad como de silencio.

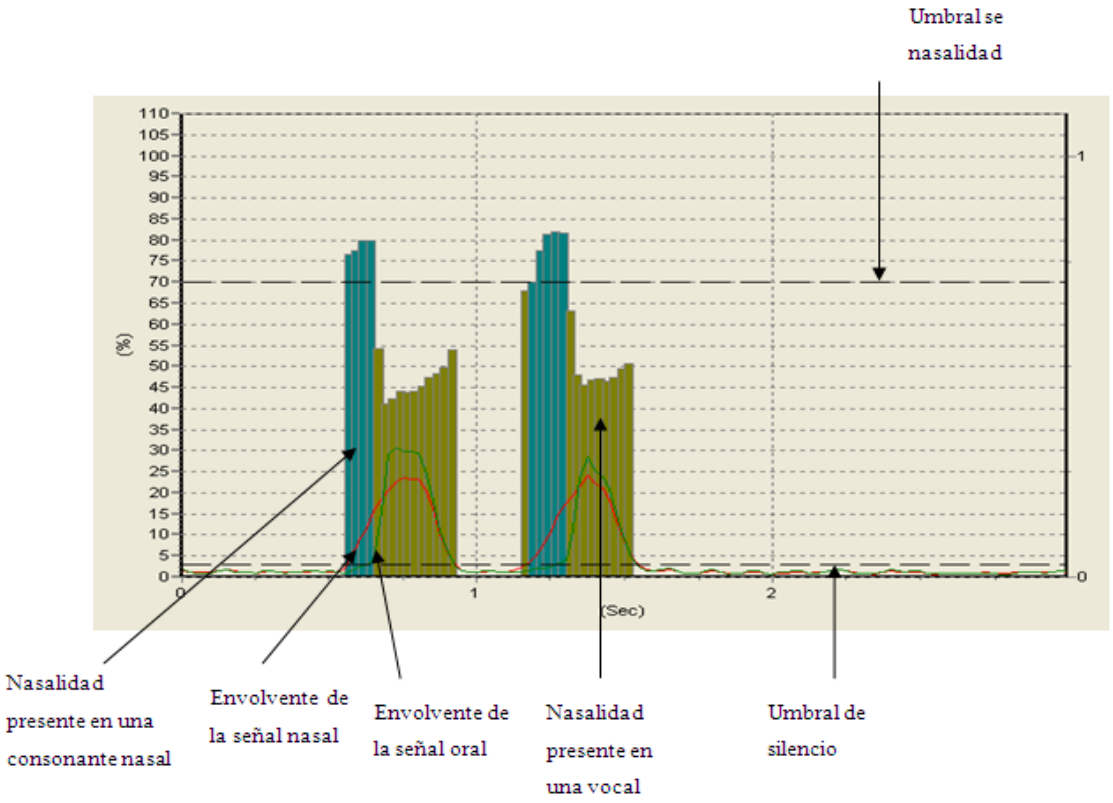


Figura 3.11: Parámetros de visualización y umbrales de nasalidad y silencio de la interfaz gráfica diseñada.

- **Cálculo de medidas.**

Otro tipo de herramienta importante en este sistema es el cálculo de las medidas relacionadas con la resonancia nasal que se obtienen dando *click* en la herramienta "Calculadora". Dichas medidas brindan la oportunidad al médico y al paciente de tener datos instrumentales con respecto al trastorno de resonancia presentado, y facilitan el

análisis de la grabación pudiendo obtener un diagnóstico rápido y objetivo. Estas medidas se hallan sobre la señal de nasalidad N/N+O, y son las que se presentan a continuación:

- Promedio de Sonidos de Alta Nasalidad (PSAN): Este valor nos muestra la nasalidad presente en sonidos nasales, es el promedio de las amplitudes que se encuentran por encima del valor umbral de nasalidad.
- Promedio de Sonidos de Baja Nasalidad (PSBN): Este es el promedio de la región de la señal que está por debajo del umbral de nasalidad, y por tanto están clasificadas como orales.
- Promedio de Sonidos de Alta Nasalidad/Promedio de Sonidos de Baja Nasalidad (PSAN/PSBN): Es la relación existente entre los promedios de alta nasalidad y baja nasalidad descritos anteriormente.
- Promedio de nasalidad total (PNT): Este valor muestra la nasalidad presente en toda la grabación tanto en los sonidos nasales como no nasales. Es decir, el promedio general, independientemente de que la nasalidad esté por encima o por debajo del valor umbral, exceptuando los silencios.

➢ **Calibración.**

Otra herramienta incluida es la posibilidad de calibración de las sensibilidades de los micrófonos. Con este software se pueden utilizar dos micrófonos que presenten una diferencia con respecto a las amplitudes de las señales obtenidas con cada uno de ellos, en correspondencia con la sensibilidad y la calidad de los mismos. Para que las relaciones de intensidad sean lo más confiables posibles es necesario realizar una calibración de las sensibilidades de los sensores de sonido antes de utilizar el equipo. Para esto el software presenta en la ventana "Herramientas" una sección que permite hacer este tipo de corrección.

Para realizar la calibración de estos dispositivos se reproduce un tono por la salida de audio de la PC, se coloca el micrófono de uno de los dos canales en la bocina por donde se está reproduciendo el sonido y se determina la amplitud de la señal captada. Luego se realiza la misma operación con el micrófono del segundo canal. Al final se obtiene el valor por el

cual se tiene que multiplicar el canal que menos amplitud haya presentado para así amplificarlo y obtener a la salida ambas amplitudes equilibradas. En la figura 3.12 se muestra la realización de este proceso, donde el canal nasal presentó una amplitud de 29.67 y el canal oral una de 20.05. Mediante el botón "Ajustar Amplificación" se determinó el valor de amplificación del canal oral para que existiera entonces una igualdad entre las señales obtenidas por cada micrófono, garantizando así que el sistema se encuentre calibrado.

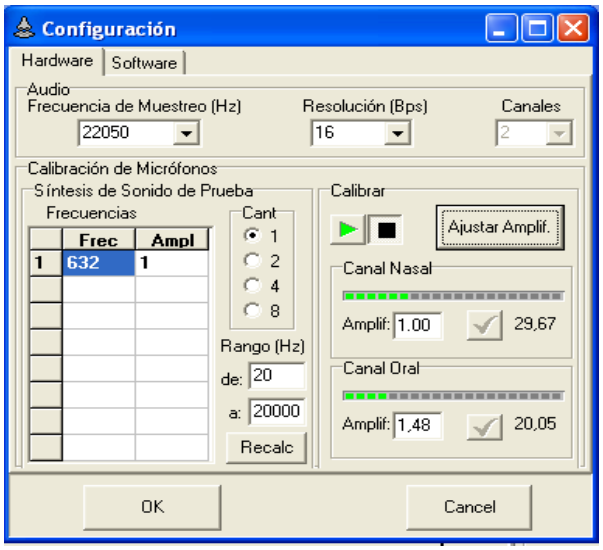


Figura 3.12: Herramienta para la calibración del sistema.

CAPÍTULO 4. Pruebas efectuadas.

En el siguiente capítulo se expondrán los resultados del diseño y construcción del sistema de medición de la nasalidad así como de la funcionalidad del mismo, analizándose los resultados obtenidos con respecto a la portabilidad, a la separabilidad de canales y a distintas grabaciones realizadas a pacientes con patología del habla.

4.1 Portabilidad del sistema.

Para comprobar el buen funcionamiento del equipo con respecto a la entrada simultánea a la computadora de las señales oral y nasal, se probó la conexión a la entrada de línea en varias máquinas, verificándose que el empleo de este tipo de entrada como alternativa estéreo a la de micrófono funciona adecuadamente. Es de destacar la habilitación del uso de la PC de la "Clínica Chiqui Gómez" que no presentaba entrada estéreo de micrófono. La adaptación sólo fue inefectiva en un modelo de Laptop, que por limitaciones internas mezcla a mono la entrada aunque esta sea estéreo.

4.2 Separabilidad de canales.

Como se había mencionado el sistema consta de dos micrófonos, uno para cada canal: nasal y oral. Para comprobar la separabilidad de cada canal se realizaron pruebas donde se visualizaba de forma numérica la amplitud de cada canal por separado.

Para este tipo de análisis se hizo emitir un tono y se colocaba cada micrófono por separado en la bocina por donde se estaba emitiendo el sonido, hallándose la relación de las amplitudes obtenidas para el canal nasal y luego para el canal oral (ver figura 4.1).

El resultado de este tipo de análisis mostró que la diferencia existente entre los dos micrófonos realizando la grabación por el micrófono nasal es de aproximadamente 25.48 dB y por el micrófono oral es de 22.23 dB. Estos valores nos muestran el grado de separabilidad que existe entre los dos canales y en qué medida se relacionan a la hora de efectuar la grabación.

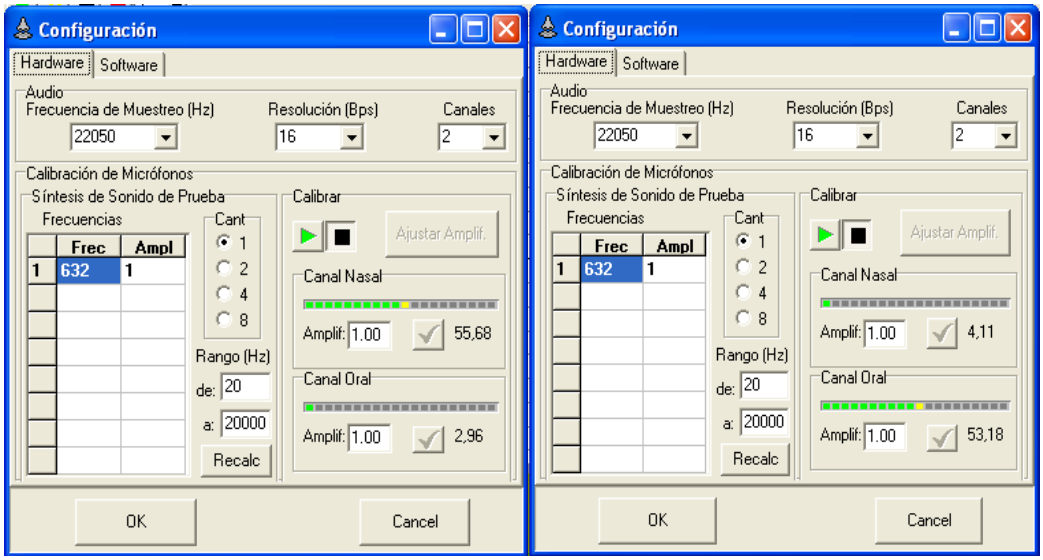


Figura 4.1: Prueba efectuada para la comprobación de la separabilidad de los canales nasal y oral.

4.3 Grabaciones.

La evaluación preliminar del sistema se efectuó con grabaciones de ejercicios colegiados con especialistas de L&F de la Clínica Chiqui Gómez.

Las grabaciones efectuadas con este sistema fueron de tipo nasal-vocal, en muchos casos se le pedía al paciente que pronunciara consonantes nasales unidas a vocales como sílabas que contenían esta unión, ejemplo: **ma me mi mo mu, na ne , ña ñe**, etc; también palabras como **mamá y nené**, así como palabras que en su contenido presentaran consonantes nasales y no nasales mezcladas con vocales como: **mapa, loma y melón.** En muchos casos también se realizaban ejercicios con oraciones que mezclaran distintos tipos de sonidos y pronunciación**.** Este tipo de pruebas ayudaba a establecer una comparación con relación a la resonancia nasal presente y así comprobar el funcionamiento del sistema.

Las grabaciones se le realizaron a varios grupos de personas con patologías del habla, específicamente que presentaban anomalías con respecto a la resonancia nasal. Los grupos estaban conformados por personas con insuficiencia del puerto velofaríngeo (IVF), individuos con labio-paladar-hendido (LPH), así como pacientes con implantes cocleares, individuos con rinitis alérgica, y por último un grupo de personas sanas.

4.3.1 Pruebas que produjeron los resultados esperados.

A continuación se presentan algunos ejemplos de grabaciones realizadas con el dispositivo donde se muestran las diferencias entre cada una de ellas de acuerdo a la patología presentada, verificando así el funcionamiento del equipo y la efectividad del mismo en estos casos.

- ***Caso de rinitis alérgica.***

La rinitis es un trastorno que causa inflamación de la mucosa de las fosas nasales, por lo que la emisión de aire por la nariz se ve obstaculizada conllevando a una disminución de la nasalidad o como se le llama en términos médicos una hiponasalidad.

En este caso el paciente padece de una hiporrinolalia por intervalos, pues por motivos de alergia en algunos momentos presenta una inflamación de la mucosa nasal, por ejemplo cuando se encuentra en un local climatizado, cuando hay mucha humedad o cuando se encuentra en presencia de la temporada de invierno; y en otros momentos, como en verano, no presenta este trastorno. Esto se evidencia cundo se analizan las gráficas de las grabaciones efectuadas con el nasómetro desarrollado en dos momentos diferentes y en los cuales el paciente pronuncia la palabra ***mamá***, mostrándose en la gráfica 1 la falta de emisión de aire por la nariz al pronunciar sonidos específicamente nasales y en la gráfica 2 la emisión normal de sonido tanto oral como nasal y la presencia de una nasalidad relativamente normal.

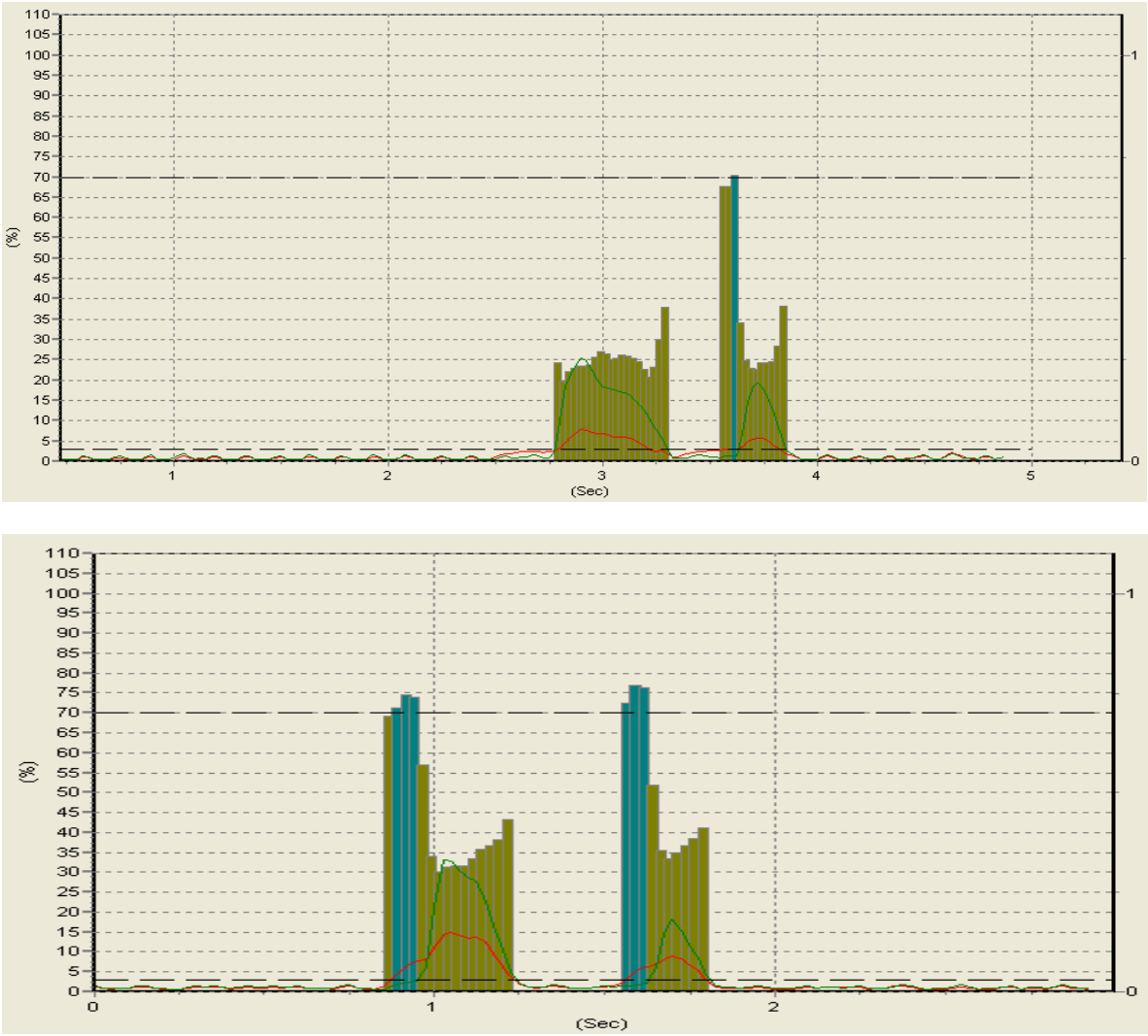


Figura 4.2: Gráficas del NasalityStudio V1.0 que muestra las señales oral-nasales y la nasalidad obtenida de un paciente con rinitis alérgica en dos momentos diferentes. Arriba: prueba efectuada en un local climatizado. Abajo: prueba efectuada en un local sin climatizar.

Caso de hipernasalidad:

Existen personas que presentan por una causa u otra, una determinada insuficiencia del paladar blando o puerto velofaríngeo, lo cual puede conllevar a un aumento en la resonancia nasal o como también se le llama una hipernasalidad. En este caso la persona pronuncia las sílabas ***ma me mi***, que mezclan la consonante nasal /m/ con distintas vocales.

En la gráfica se muestra el aumento de la resonancia nasal con respecto a lo normal. Se observa cómo la consonante nasal /m/ presenta una nasalidad de aproximadamente 85% y

las vocales como la /e/ y la /i/ se acercan al umbral de nasalidad cuando en un sujeto sano esto no debería suceder. También se puede observar cómo la energía acústica nasal (señal roja) es superior en todo momento en las sílabas **me** y **mi** lo cual determina un aumento de la nasalidad.

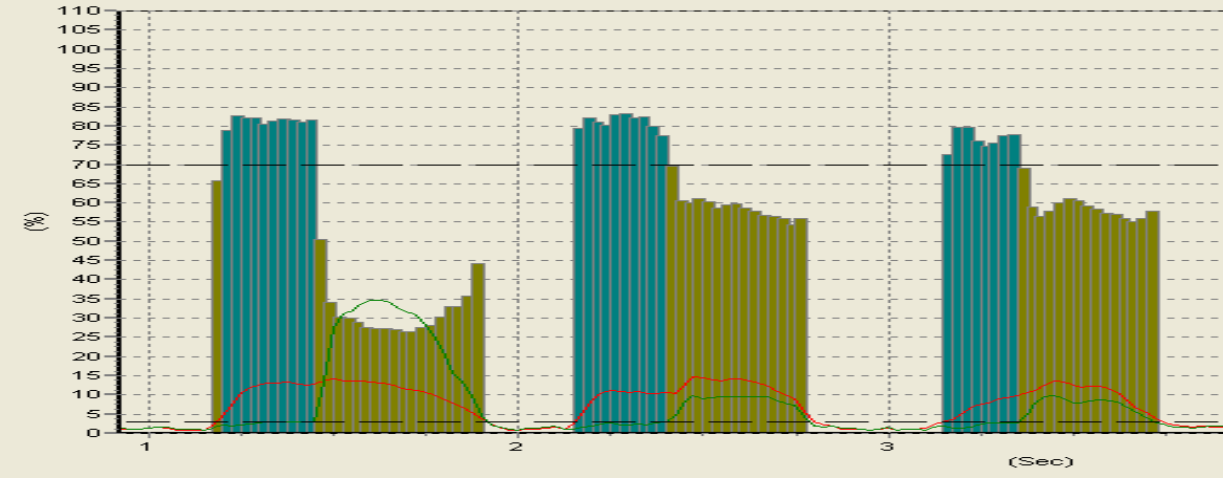
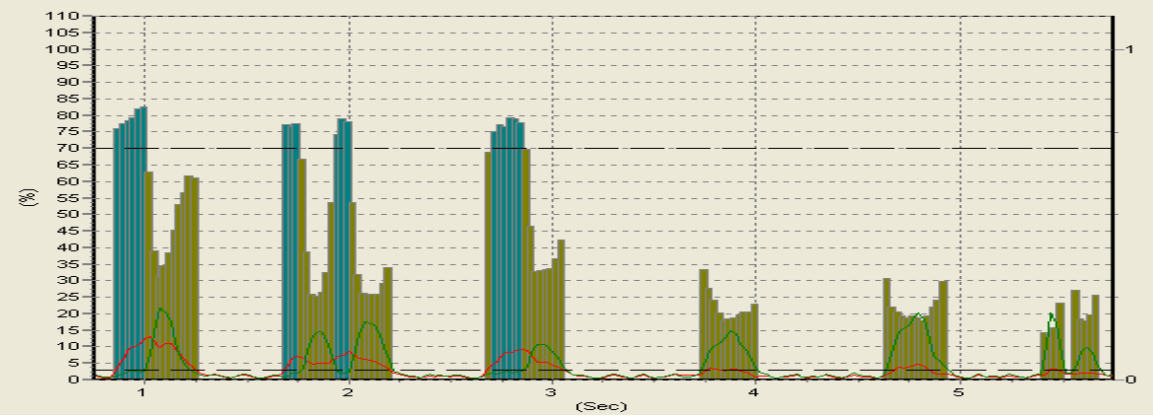


Figura 4.3: Gráfica del NasalityStudio V1.0 que muestra las señales y la nasalidad obtenida de un paciente con hipernasalidad.

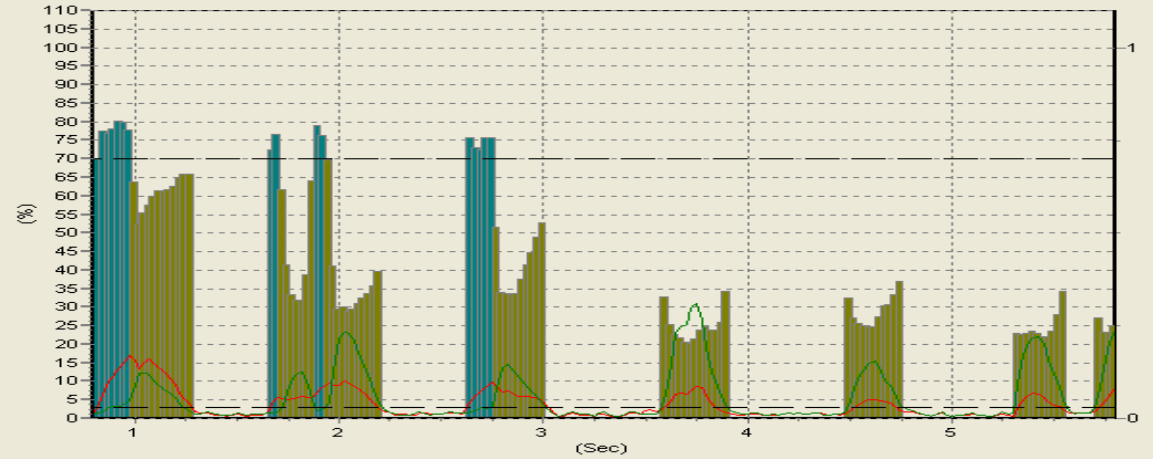
- ***Casos de personas sanas.***

Por otra parte, se les realizaron grabaciones a personas que presentaban una resonancia normal, es decir personas que de manera subjetiva no se caracterizaban por padecer de este tipo de trastorno y que con las grabaciones hechas se reafirmaron los criterios de los especialistas. A continuación se muestran una serie de casos a los cuales se les pidió que pronunciaran la oración ***"Mi mamá me dio el paquete"***, ya que esta sentencia permite observar la nasalidad presente en consonantes tanto nasales como no nasales, mezcladas ambas con las vocales.

Individuo #1



Individuo#2



Individuo #3

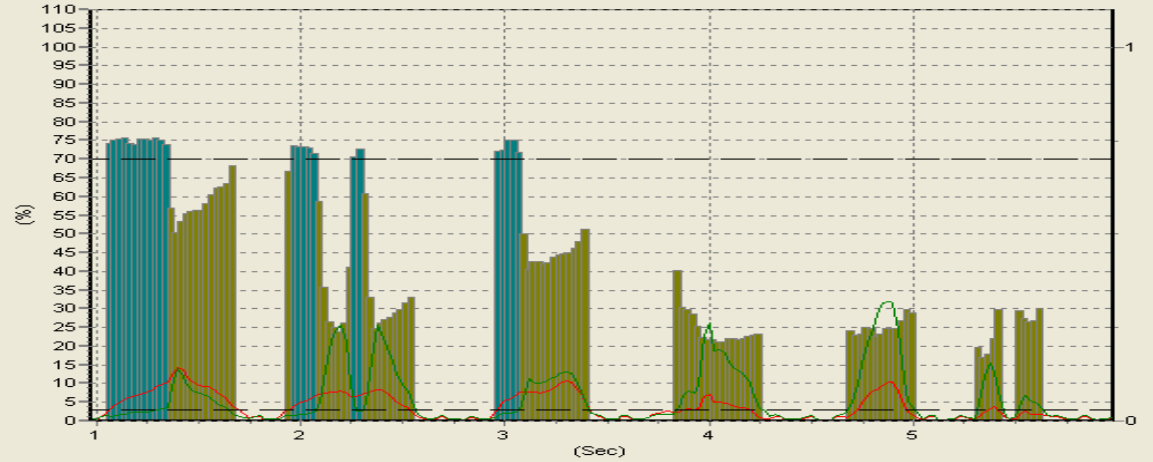


Figura 4.4: Gráficas del NasalityStudio V1.0 que muestra las señales y la nasalidad obtenida de tres personas con nasalidad normal.

4.3.2 Pruebas que produjeron resultados contrarios a los esperados.

En los siguientes ejemplos se muestran algunas grabaciones que no produjeron los resultados esperados por los especialistas.

- Caso fisura palatina.

La fisura de paladar secundario es una de las malformaciones congénitas más frecuentes. En casos de fisura, se presenta una disfunción del esfínter velofaríngeo para la producción del habla. Esta disfunción se debe al trastorno estructural ocasionado por la fisura y se denomina insuficiencia velofaríngea. La reparación quirúrgica de la fisura de paladar secundario provee una restauración funcional del esfínter en alrededor del 80 a 90% de los casos. El porcentaje restante persiste con una insuficiencia velofaríngea denominada residual. La insuficiencia velofaríngea residual causa resonancia nasal aumentada durante el habla. Además, la insuficiencia también puede ocasionar un trastorno fonológico que involucra ya no sólo al esfínter sino a todo el tracto vocal (disfunción).

En este caso no se obtuvo un resultado adecuado de la nasalidad, pues al paciente se le pidió que pronunciara las sílabas **ma me mi,** y al analizar la gráfica se muestra que no hay prácticamente presencia de nasalidad en las consonantes nasales, algo que debería estar aumentado en los pacientes con este tipo de trastorno.

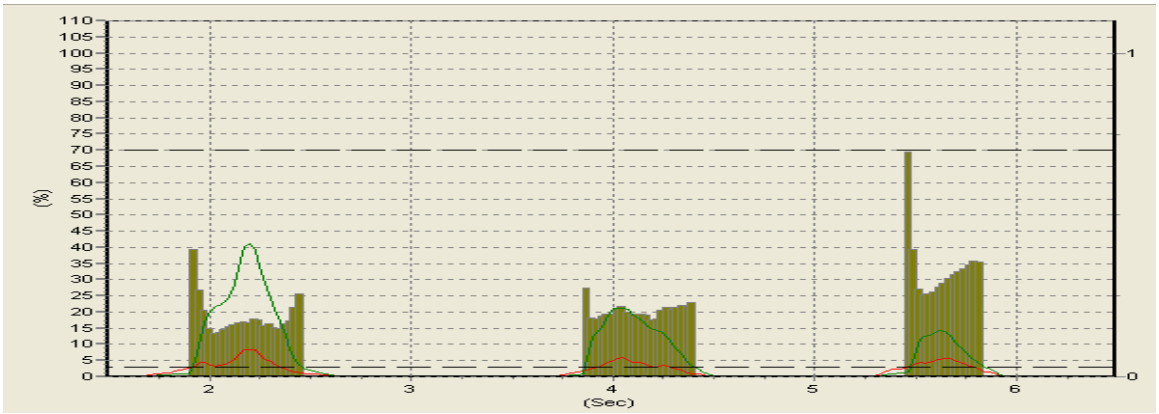


Figura 4.5: Gráfica del NasalityStudio V1.0 que muestra la nasalidad obtenida de un paciente con fisura palatina.

Posible explicación del resultado inesperado:

- ✓ Como se puede observar en la gráfica la vocal empieza cuando la curva de la línea verde (energía acústica oral) comienza a subir. Antes de subir, la roja (energía acústica nasal) es muy superior a esta, pero ambas están por debajo del umbral de silencio. O sea, puede considerarse que una de las causas de no aparecer nasalidad, sea un problema de amplitud de ambas señales con respecto al umbral de silencio, provocando que no aparezca el alto grado de nasalidad presente en los sonidos puramente nasales como la /m/**.** Si se disminuye ese valor puede aparecer entonces la región de nasalidad de la consonante nasal. Sin embargo, este no sería del todo el resultado esperado por los especialistas, pues también es demasiado pequeña la nasalidad en la vocal (no nasal), y esto no cambia con modificar el umbral de silencio.

- Caso implante coclear.

En esta grabación los resultados tampoco fueron como se pronosticaron aunque se acercan un poco más a lo esperado con respecto al caso anterior.

En esta ocasión el paciente debía mencionar la palabra **mamá**. Como se puede ver en la figura la consonante nasal /m/ se encuentra en un intervalo del 75% al 80% de nasalidad, mientras que las vocales presentan una nasalidad normal, muy por debajo del 70% que es el valor umbral. Estos resultados no se corresponden completamente con el criterio de los especialistas, pues debería existir un aumento de la resonancia nasal tanto en la consonante nasal como en la vocal (no nasal).

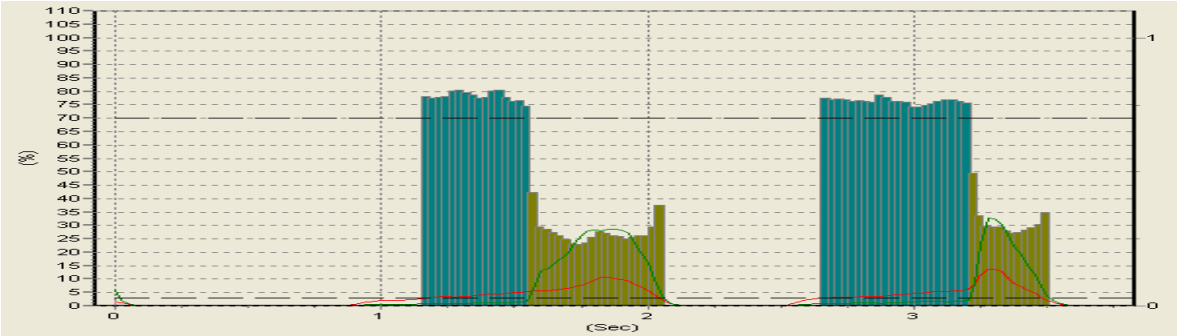


Figura 4.6: Gráfica del NasalityStudio V1.0 que muestra la nasalidad obtenida de un paciente con implante coclear.

Posible explicación del resultado inesperado:

- ✓ La explicación puede radicar en el comportamiento de la curva nasal (roja). En la figura puede apreciarse que hay un aumento de la envolvente que representa la emisión nasal, al pasar del sonido nasal al oral, cosa que puede explicar el criterio de los especialistas de que hay una emisión nasal notable en los sonidos orales en personas con este tipo de patología. Es además anómalo que la emisión nasal se incremente al pasar de un sonido nasal como la /m/ a una vocal (normalmente no nasal). Es también notable que esta emisión nasal aumente mientras disminuye la nasalidad, que es el comportamiento inesperado. Esto puede poner en duda la utilidad de la función de nasalidad N/(N+O) como indicador de la nasalidad percibida. A este fin puede ser necesario el análisis de los valores individuales de N y O.

4.4 Análisis de costo económico.

En la actualidad los precios relacionados con sistemas de medición de nasalidad son bastante elevados. Algunos ejemplos de sistemas fabricados por la Glottal Enterprises se encuentran su valor entre $1200 y $1600 en USD como son: el NAS-1Sep-CL y el NAS-NAS-1Mask. Estos sistemas, al igual que el desarrollado en este trabajo, constan de un software para el análisis de la nasalización y un hardware para la adquisición de los canales oral y nasal (separador de tres placas con soporte manual y máscara Oronasal respectivamente en cada sistema). Existen además, sistemas semejantes a los anteriores, pero con otras herramientas adicionales y mayores facilidades como son el NEM-1-CL y el NVS-CL que presentan la posibilidad de calibración del equipo, mayor número de accesorios y varios tipos de modelos para adultos y niños tanto de las máscaras como del Nasómetro con separador de placas. Estos últimos con mayores opciones tienen un precio que oscila entre $2400 y $4200 en USD.

Con el trabajo expuesto, se puede contar con un nasómetro que contiene algunas de las facilidades de los equipos antes mencionados pero que su precio no excede los $10 en USD. Esto se puede observar en la tabla mostrada a continuación. Además, estos componentes son de fácil adquisición en el mercado, por lo que este dispositivo a este costo

podría estar al alcance de nuestros especialistas en las consultas de Logopedia y Foniatría para realizar un buen diagnóstico médico en pacientes con trastornos del habla.

Tabla 3.1 Costo de los componentes del Nasómetro utilizando el proveedor de Digi Key.

Cant	***Descripción***	***Estado***	***Precio (USD)***	***Fabricante***
1	CABLE EXTENSION 3.5MM STER 2.5M	Lead free / RoHS Compliant	4.48000	Assmann Electronics Inc
2	RES 4.3K OHM METAL FILM 1W 5%	Lead free / RoHS Compliant	0.05363	Vishay/BC Components
2	MICROPHONE CARTRIDGE 6MM OMNI	Lead free / RoHS Compliant	1.86000	Panasonic - ECG
1	USB CABLE A-PIGTAIL FULL RATED	Lead free / RoHS Compliant	4.58000	Molex Connector Corporation

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1 Se estudiaron las alternativas de medición de nasalidad existentes, y se evaluaron ventajas y desventajas de cada una.

2 Se desarrolló un sistema que permite adquirir y visualizar las señales de emisión oral y nasal, así como el cálculo de la nasalidad, expresada como la relación de la emisión nasal entre la emisión total.

3 Se evaluó el sistema grabando y analizando la nasalidad en varios grupos de sujetos, obteniéndose resultados que validan la funcionalidad del equipo.

Recomendaciones

1 Extender el uso del nasómetro por parte del personal médico, para que contribuyan a su validación en la práctica clínica.

2 Ampliar las funcionalidades del software para que brinde posibilidades de configuración del procesamiento y cálculo de las medidas.

3 Realizar estudios sobre el empleo de mediciones de emisión nasal como complemento de las de nasalidad para mejorar la correspondencia con la percepción de los especialistas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. G. Fletcher, "Contingencies for bioelectronic modificationof nasality.," *Journal of Speech and Hearing Disorders.*, pp. 329-346, 1972.

[2] S. G. Fletcher and D. A. Daly, "Nasalence in utterances of hearing-impaired speakers.," *Journal of Communication Disorders.*, pp. 63-73, 1976.

[3] Y. Horii, "An accelerometric approach to nasality measurement: A preliminary report.," *Cleft Palate Journal.*, pp. 254-261, 1980.

[4] M. Rothenberg, "A Three-Parameter Voice Source for Speech Synthesis.," in *Speech Communication Seminar.*, Stockholm, 1974.

[5] F. A. Sepúlveda, "Extracción de Parámetros de Señales de voz usando Técnicas de Análisis Tiempo – Frecuencia.," Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2004.

[6] A. E. Rosenberg, "Effect of Glottal Pulse Shape on the Quality of Natural Vowels.," *Acoustical Society of America Journal.*, vol. 49, pp. 583-590, 1971.

[7] R. E. Hillman, *et al.*, "The glottal noise source.," *Acoustical Society of America Journal.*, vol. 74, pp. 691-694, 1983.

[8] L. R. Rabiner and R. W. Schafter, *Digital Processing of Speech Signals.* N. J, 1978.

[9] F. Miyara, "La voz humana," ed.

[10] Anónimo. (2009, *Speech disorders.* Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Speech_disorder

[11] J. Artigas, "Trastornos del lenguaje," *Protocolos diagnósticos y terapéuticos en Pediatría*, pp. 205-8, 2001.

[12] J. Artigas, *et al.*, "Trastornos del lenguaje."

[13] Anónimo. (2009, *Palate*. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Palate

[14] D. Jones and C. Aspinall, *Desarrollando Bien el Habla*, Primera Edición ed.: Cleft Palate Foundation, 2008.

[15] O. Castrillón-Gómez, *et al.*, "Características acústicas en la identificación de la hipernasalidad de niños.," *Auditio: Revista Electrónica de Audiología.*, vol. 3, 2006.

[16] R. Dr. Cabanas Comas. FISURA PALATINA Y RINOLALIAS EN GENERAL. Rehabilitación funcional logofoniátrica. 1-15.

[17] C. Rivera-Parra, "Alteraciones de la voz," *Revista digital: Innovación y Experiencias Educativas.*, pp. 2-3, 2010.

[18] R. M. Dalston and E. J. Seaver, "Relative values of various standardized passages in the nasometric assessment of patients with velopharyngeal impairment.," *Cleft Palate* 1990.

[19] R. M. Dalston, *et al.*, "Use of nasometry as a diagnostic tool for identifying patients with velopharyngeal impairment.," *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, vol. 2, 1991.

[20] Y. Luo, "A comparative study on the nasolance and graph pattern of cleft palate patients before and after operation," *Chinese Journal of Stomatology*, vol. 3, 1993.

[21] D. Liu and S. Bi, "Quantitative evaluation of nasalance after vertical hemilaryngectomy," *Journal of Clinical Otorhinolaryngology*, vol. 3, 1998.

[22] S. Lic. Sánchez León, *et al.*, "Metodología del trabajo logofoniátrico en el paciente fisurado labiopalatino," *Rev Cubana Ortod* vol. 1, pp. 7-12, 1999.

[23] P. H. Dejonskere and H. A. van Jijngaarden, "Retropharyngeal autologous fat transplantation for congenital short palate: a nasometric assessment of functional results.," *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, vol. 2, 2001.

[24] M. Camargo Mendoza, "Avances en la descripción del habla de personas con fisura labio-palatina," *Rev. Cienc. Salud. Bogotá*, vol. 2, pp. 82-4, 2006.

[25] R. J. Baken, "Velopharyngeal Function," in *Clinical Meauserement of Speech and Voice*, ed San Diego, London, 1996.

[26] M. Hirano, *et al.*, "Intranasal sound pressure during utterance of speech sounds.," *Folia Phoniatrica*, vol. 18, 1966.

[27] R. W. Schafter, *Relative intra-nasal sound intensities of vowels.*, 1968.

[28] S. G. Fletcher, "Theory and instrumentation for quantitative measurement of nasality," *Cleft Palate Journal.*, vol. 7, 1970.

[29] T. C. Colyar and J. M. Christensen, "Nasalence patterns in esophageal speech.," *Journal of Communication Disorders.*, pp. 43-48, 1980.

[30] (2010, *Instruments for voice measurement & speech terapy. Airflow masks.* Available: http://www.glottal.com/Products/airflowmasks.htm

[31] (2010, *Instruments for voice measurement & speech terapy. New Divider Handle for Nasalence Measurement.* Available: http://www.glottal.com/Products/dividerhandle.htm

[32] (2010, *Glottal Enterprises Nasality Visualization System for clinical and research-quality nasalance measurement, and cleft palate training.*

. Available: http://www.glottal.com/

[33] C. Centeno and J. Voos, "Gestión Remota de Estudios Médicos," Grupo de Ingeniería Clínica (GIC) Universidad Tecnológica NacionalFacultad Regional Córdoba.

[34] *Microphone*. Available: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/audio/mic.html

[35] I. R. Sinclair, *Sensors and Transducers.*, Third ed. London: Newnes, 2001.

[36] V. Rhijn, "Integrated Circuits for High Performance Electret Microphones," presented at the 114th Convention Audio Engineering Society, Amsterdam, The Netherlands, 2003.

[37] EMSIA, "Micrófonos," presented at the Curso intensivo de sonido, 2002.

[38] N. B. Manuel and F. Sokol. (2006, Transductores Capacitivos. Available: https://iie.fing.edu.uy/ense/asign/medel/archivos/monografias/2006/TransductoresCapacitivos.pdf

[39] Intel, "Audio Codec '97," 2002.

[40] Intel, "Chapter 11 Audio," in *PC 2001 System Design Guide*, ed, 2001.