

CORRELACIÓN DE LA VARIABILIDAD DEL LLANTO DEL RECIÉN NACIDO A
TERMINO



Tesis de Grado de Ingeniería en Automática Industrial

MARÍA CAMILA VARONA BELTRÁN

Directora

Mg. Judy Cristina Realpe Chamorro

Co director

Mg. Jairo Alfonso Vásquez López

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN. ABRIL 2019

María Camila Varona Beltrán

Correlación de la variabilidad del llanto del recién
nacido a término

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para la obtención del
Título de:

Ingeniera en Automática.

Directora:
Mg. Judy Cristina Realpe Chamorro

Codirector:
Mg. Jairo Alfonso Vásquez López

Popayán
2019

Agradecimientos

Este trabajo, resultó mejor de los que yo esperaba, me abrió puertas que pensé que no las iba abrir tan rápido en este parte de mi vida. Al final, este trabajo no hubiera sido posible si no hubiese sido gracias a:

Dios ante todo que me llevó por todo el camino, llenándome de sabiduría y mucha paciencia para cumplir con el proyecto.

A la compañía incondicional de mis padres y mi hermano, la cual me sostuvo y no me dejaron nunca bajar la guardia.

A la compañía especial de toda mi familia quienes siempre estaban dando su apoyo y su constante compañía.

Al Hospital Susana López de Valencia quien permitió realizar la adquisición de las muestras y que siempre estuvieron prestos a la realización del proyecto.

A la constante ayuda, apoyo y paciencia de mi directora la ingeniera Judy que me orientó en este gran recorrido

Por toda la ayuda al ingeniero Harold que me orientó en el proyecto.

A mis compañeros por todo su apoyo, motivación y compañía

Con la mayor de las gratitudes, Camila

CONTENIDO

| | |
|---|------|
| Agradecimientos..... | III |
| CONTENIDO..... | IV |
| Glosario | VI |
| Lista de figuras..... | VII |
| Lista de tablas..... | VIII |
| Introducción | 1 |
| Motivación | 2 |
| Objetivos..... | 2 |
| Estructura de la Tesis..... | 3 |
| CAPITULO 1..... | 4 |
| ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS | 4 |
| 1.1 Antecedentes | 4 |
| 1.1.1 Llanto del neonato | 4 |
| 1.2 Fundamentos..... | 7 |
| 1.2.1 Generación de la voz..... | 7 |
| 1.2.2 Características acústicas de la señal de voz | 8 |
| 1.2.3 La señal de voz..... | 9 |
| 1.2.4 Enventanado de la señal de voz | 10 |
| 1.2.5 La Percepción de la señal de voz | 11 |
| CAPITULO 2..... | 13 |
| PROTOCOLO Y ADQUISICIÓN DE SEÑALES | 13 |
| 2.1 Protocolo..... | 13 |
| 2.1.1.5 Población..... | 16 |
| 2.1.2.1 Sistema de adquisición..... | 18 |
| 2.1.3 Bitácora | 20 |
| 2.2 Pre procesamiento de señales | 21 |
| 2.2.1 Segmentación de episodio de llanto..... | 21 |
| 2.2.2 Fragmentación de los archivos de audio..... | 23 |
| CAPITULO 3..... | 25 |
| SELECCIÓN DE CARÁCTERÍSTICAS | 25 |

| | | |
|--|--|----|
| 3.1 | Selección de características | 25 |
| 3.1.1 | Modelo para extracción de parámetros: Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS)..... | 26 |
| 3.1.1.1 | Frecuencia fundamental (F0)..... | 28 |
| 3.1.2 | Formantes de frecuencia (F1, F2, F3)..... | 28 |
| 3.1.3 | Armónicos (H1, H2, H3)..... | 29 |
| 3.1.4 | Fluctuación (Jitter) | 29 |
| 3.1.5 | Brillo (Shimmer)..... | 29 |
| 3.1.6 | Sonoridad (Loudness)..... | 30 |
| 3.1.7 | Relación Armónicos/ Ruido (HNR) | 30 |
| 3.1.8 | Índice de Hammarberg..... | 30 |
| 3.1.9 | Coefficientes cepstrales de Mel..... | 31 |
| 3.1.10 | Flujo espectral | 32 |
| 3.1.11 | Radio Alfa | 32 |
| 3.1.12 | Pendiente espectral | 33 |
| 3.2 | EXTRACCION DE CARACTERISTICAS | 33 |
| 3.2.1 | Procesamiento de señales | 33 |
| 3.2.2 | Influencia de características..... | 36 |
| CAPITULO 4..... | | 47 |
| CORRELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL LLANTO..... | | 47 |
| 4.1 | Correlación | 47 |
| CONCLUSIONES..... | | 78 |
| TRABAJOS FUTUROS | | 79 |
| Bibliografía | | 80 |

Glosario

F0 Frecuencia Fundamental

En ingles

NIPS Neonatal Infant Pain Scale

NFCS Neonatal Facial Coding System.

PIPP Premature Infant Pain Profile

MFCC Mel-Frequency Cepstral Coefficients

FFT Fast Transfer Function

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. 1 tomada de [32] | 7 |
| Figura 1. 2. Espectro de la señal de voz tomado de la tesis (577803 Formantes) | 8 |
| Figura 1. 3 Formantes de la señal de voz en el espectro tomado de la tesis (577803 Formantes)..... | 9 |
| Figura 1. 4. Señal de voz considerada en intervalos de tiempo diferentes | 10 |
| Figura 1. 5. Efecto de la Ventana Hamming. a) Trama de voz. b) Espectro generado por la segmentación. c) Ventana Hamming. d) Trama enventanada. e) Su espectro sin distorsión [44]..... | 11 |
| Figura 1. 6 Señal de Vos Enventanada con Ventanas tipo Hamming, con solapamiento . | 11 |
| Figura 1. 7 Escala de Mel Tomada de [46]..... | 12 |
| Figura 2. 1 Lavado de manos | 14 |
| Figura 2. 2. Asepsia del sistema de adquisición de señales..... | 15 |
| Figura 2. 3 Criterios de inclusión | 16 |
| Figura 2. 4 Teléfonos celulares..... | 18 |
| Figura 2. 5 . Micrófono electret | 19 |
| Figura 2. 6. Extracción de fragmentos | 22 |
| Figura 3. 1 Configuración de longitud de frames (60 y 20 ms). a) Frame de 60 ms b) Frame de 20 ms | 34 |
| Figura 3. 2 Inicio del software | 34 |
| Figura 3. 3 Terminal OpenSMILE | 35 |
| Figura 3. 4 Frames de un llanto | 36 |
| Figura 3. 5 Parejas de clases estimadas neonato 10 – Sony | 38 |
| Figura 3. 6 Parejas de clases estimadas neonato 10 - C3..... | 39 |
| Figura 3. 7 Parejas de clases estimadas neonato 10 – LG..... | 39 |
| Figura 3. 8 Parejas de clases estimadas neonato 10 - X2..... | 40 |
| Figura 3. 9 Parejas de clases estimadas neonato 11 – Samsung..... | 40 |
| Figura 3. 10 Parejas de clases estimadas neonato 11 - X2..... | 41 |
| Figura 3. 11 Parejas de clases estimadas neonato 11 – Sony | 41 |
| Figura 3. 12 Parejas de clases estimadas neonato 11 - C3..... | 41 |
| Figura 3. 13 Parejas de clases estimadas neonato 11 – LG | 42 |
| Figura 3. 14 Parejas de clases estimadas neonato 12 – Sony..... | 42 |
| Figura 4. 1 Calculo de coeficiente de correlación por característica (G2_0) | 49 |
| Figura 4. 2 Calculo de coeficiente de correlación por característica (G3_0) | 50 |
| Figura 4. 3 Coeficiente de correlación por característica | 51 |

Lista de tablas

| | |
|--|-----------|
| Tabla 2. 1 Audios de los recién nacidos | 22 |
| Tabla 2. 2 Estimación de clases en general..... | 23 |
| Tabla 2. 3 Fragmentos de 5 segundos por cada clase..... | 23 |
| Tabla 2. 4 Segmentos sin ruido | 24 |
| Tabla 3. 1 Descriptores de bajo nivel eGeMAPS | 27 |
| Tabla 3. 2 Significado línea de código | 35 |
| Tabla 3. 3 Vector de características | 37 |
| Tabla 3. 4 Vectores Z entre de clases neonato 10 – C3 | 43 |
| <i>Tabla 3. 5. Repeticiones de características neonato 10 – C3.....</i> | <i>44</i> |
| Tabla 3. 6 Vector único neonato 10 – C3 | 45 |
| Tabla 3. 7 Vector único Z por cada recién nacido..... | 46 |
| Tabla 4. 1 Rangos de correlación..... | 48 |
| Tabla 4. 2 Correlación de características del llanto G2_0 recién nacido 10 – C3..... | 52 |
| Tabla 4. 3 Correlación de características del llanto G3_0 recién nacido 10 – C3..... | 53 |
| Tabla 4. 4 Correlación de características del llanto G0_0 recién nacido 10 – C3..... | 54 |
| Tabla 4. 5 Correlación de características del llanto H3_0 recién nacido 10 – C3..... | 55 |
| Tabla 4. 6 Correlación de características del llanto H5_1 recién nacido 10 – C3..... | 56 |
| Tabla 4. 7 Correlación de características del llanto H5_2 recién nacido 10 – C3..... | 57 |
| Tabla 4. 8 Correlación de características del llanto H5_3 recién nacido 10 – C3..... | 58 |
| Tabla 4. 9 Correlación de características del llanto H6_1 recién nacido 10 – C3..... | 59 |
| Tabla 4. 10 Correlación de características del llanto H7_2 recién nacido 10 – C3..... | 60 |
| Tabla 4. 11 Correlación de características del llanto H7_3 recién nacido 10 – C3..... | 61 |
| Tabla 4. 12 Correlación de características del llanto I2_0 recién nacido 10 – C3 | 62 |
| Tabla 4. 13 Correlación de características del llanto I2_1 recién nacido 10 – C3 | 63 |
| Tabla 4. 14 Correlación de características del llanto NL_2 recién nacido 10 – C3..... | 64 |
| Tabla 4. 15 Correlación de características del llanto Q1_0 recién nacido 10 – C3 | 65 |
| Tabla 4. 16 Correlación de características del llanto Q1_1 recién nacido 10 – C3 | 66 |
| Tabla 4. 17 Correlación de características del llanto Q2_0 recién nacido 10 – C3..... | 67 |
| Tabla 4. 18 Porcentaje de correlación de características niño 10-C3..... | 68 |
| Tabla 4. 19 Porcentaje de correlación de características niño 10-LG..... | 69 |
| Tabla 4. 20 Porcentaje de correlación de características niño 10 – Sony | 70 |
| Tabla 4. 21 Porcentaje de correlación de características niño 10 – X2 | 71 |
| Tabla 4. 22 Porcentaje de correlación de características niño 11 - LG | 72 |
| Tabla 4. 23 Porcentaje de correlación de características niño 11 – Samsung..... | 73 |
| Tabla 4. 24 Porcentaje de correlación de características niño 11 – X2 | 74 |
| Tabla 4. 25 Porcentaje de correlación de características niño 11 – C3..... | 75 |
| Tabla 4. 26 Porcentaje de correlación de características niño 11 – Sony | 76 |
| Tabla 4. 27 Porcentaje de correlación de características niño 12 – Sony | 77 |

Introducción

Según las Naciones Unidas, del total de los nacimientos mundiales alrededor del 90 por ciento de los niños tienen edad gestacional igual o mayor a 39 semanas. Tendencia que sigue en continuo crecimiento. En el país se aprecia que aproximadamente el 80% de los nacimientos al año son recién nacidos a término, este porcentaje se mantiene constante en el departamento del Cauca. Este dato estadístico fue suministrado por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) para el año 2017.

Los recién nacidos de todas las edades gestacionales y los lactantes menores tienen el llanto como primera forma de comunicación [1], mediante el cual responden ante diversos estímulos. Por lo tanto es a través del llanto que el recién nacido puede expresar diversas sensaciones como: sueño, hambre, dolor, angustia, entre otras. En esta etapa de desarrollo postnatal, el llanto es la única manera de comunicarse con el entorno: madres, padre, personal asistencial y sus cuidadores [2][3].

El llanto del recién nacido continúa siendo un tema muy complejo de analizar debido a su gran variedad de características y causas [4]. Desde hace varios años se han realizado estudios con respecto al llanto y las características acústicas que lo componen como: frecuencia fundamental (F0), fluctuación, tono, duración, armónicos entre otras [5] [6].

La obtención de algunas características mencionadas anteriormente han permitido que diferentes investigadores hayan encontrado relación de las señales acústicas con las posibles causas de la muerte de un niño [7]. Además de tener en cuenta su gesticulación al momento de generar el sonido. También hay varios estudios como el que se ilustra en [8], que basados solo en la frecuencia fundamental se puede determinar las causas de un posible problema que presenta un niño a cierta edad. Si bien, en [9] se analiza la frecuencia fundamental y los dos primeros armónicos para dar un diagnóstico de si el hermano de un niño autista también está propenso a la misma enfermedad, también se tiene presente el comportamiento del niño frente a diversas situaciones que se le presentan en su día a día.

Actualmente existe diferentes formas de determinar las causas por las cuales un recién nacido genera un tipo determinado de sonido [10][11]. La percepción de algunas reacciones la mayoría de veces se realiza, de forma subjetiva y depende de otros factores además del llanto. como los gestos de la cara y los movimientos de los pies y las manos [12]. Por lo general estas apreciaciones son realizadas por personas que tienen un continuo contacto con los niños y que ya tienen

experiencia en su manejo como los padres no primerizos y el personal médico del área de neonatología.

Al revisar la bibliografía actual no hay un estudio que permita distinguir de forma objetiva el significado del llanto de un neonato sin patologías asociadas como único parámetro, para determinar que en el llanto de un niño, pueden existir características acústicas que se correlacionan con la variabilidad del mismo. De acuerdo a lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué características acústicas del llanto de un recién nacido a término se deben evaluar para determinar la variabilidad del mismo?

Motivación

El presente trabajo nace de la idea de poder determinar de manera objetiva que le sucede a un recién nacido en sus primeras horas de vida, solo teniendo en cuenta el llanto y no otros parámetros como los gestos de la cara y movimiento de las extremidades, para esto es necesario conocer las características que más se destacan en los llantos generados y así mismo mirar su rango de variabilidad.

Objetivos

Objetivo General

Describir que características acústicas del llanto de los neonatos a término pueden correlacionarse con la variabilidad del mismo

Objetivos específicos

Dicho objetivo puede cumplirse a partir de los siguientes objetivos específicos que son:

- Definir el sistema y el protocolo de adquisición de señales acústicas del llanto de los neonatos a término
- Identificar características discriminantes en el llanto de un recién nacido.
- Correlacionar características discriminantes que permitan establecer la variabilidad del llanto de un recién nacido.

Estructura de la Tesis

Tras la introducción inicial referente al llanto de los niños y en especial de los estudios realizados con el llanto de los recién nacidos y los fundamentos sobre las señales acústicas que corresponden al Capítulo 1. En el Capítulo 2 se ha planteado todo lo relacionado con la adquisición de señales y el protocolo. Estos temas como el sistema de adquisición de sonidos se basó en los requerimientos del hospital y el protocolo correspondiente pedido también por la institución médica donde se especifica cual es el procedimiento y requisitos para tomar las muestras.

En el Capítulo 3 se presenta lo relacionado con la selección de características donde se extraen las características por medio del software libre openSMILE y se determina qué tipo de características son más relevantes. En esta parte se definen los conceptos de las características a analizar, además de observar la incidencia de las diferentes características en diferentes episodios de llanto.

En el Capítulo 4 se presentan los algoritmos utilizados para extraer los coeficientes de correlación tanto de Pearson como de Spearman entre los diferentes episodios de llantos por cada una de las características escogidas en el capítulo anterior. Seguido de esto se evalúa el porcentaje de correlación de cada característica con respecto a todos los llantos de cada recién nacido.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS

1.1 Antecedentes

1.1.1 Llanto del neonato

El análisis del llanto infantil, especialmente el llanto de un recién nacido ha sido objeto de varios años de investigación [13] y continúa siendo un tema muy complejo de examinar debido a las características acústicas que componen este tipo de sonidos.

El llanto es una de las capacidades más tempranas y únicas de comunicación de los recién nacidos ya sean a término, pre término o lactantes menores [2], mediante el cual los neonatos reflejan su estado de ánimo. A través del llanto el recién nacido puede expresar las diferentes sensaciones a las que está expuesto y además comunicar su estado de salud.

Para comprender el significado del llanto de un recién nacido o un lactante menor, se deben considerar diferentes factores que hacen que un neonato produzca un llanto. Por lo general, la causa principal por la que un recién nacido genera un grito o llanto es debido a que percibe un dolor o incomodidad, esto puede significar que ha sufrido algún tipo de golpe, un cólico o una punción que en la mayoría de casos es por acciones de rutina en el ámbito clínico [14], otras causa por las que un recién nacido llora es porque tiene hambre [15], o se siente incómodo porque el pañal está sucio [16] o incluso es porque su horarios de sueño varían [17].

Para determinar con facilidad y seguridad porque el neonato llora se debe tener una experiencia previa, que se adquiere a través del tiempo y la práctica como la que tiene el cuerpo médico del área de neonatología y los padres que ya han cuidado un primer bebé. Aprender a diferenciar lo que expresa cada llanto, en estos casos depende de cada persona y su familiaridad con el llanto, es decir, el determinar que siente el neonato tiende a ser muy subjetivo. Aunque para las situaciones médicas, tanto enfermeras como médicos poseen una pequeña ayuda que solo abarca una de las muchas causas que genera el llanto y estas son las escalas de dolor (NIPS, NFCS, PIPP) [18], donde ellas manejan en común los siguientes parámetros llanto, gestos faciales, ritmo respiratorio y movimientos de los brazos y piernas [19][20], estas escalas se usan hace ya varios años, lo cual ha sido de mucha ayuda para dar un diagnóstico más acertado de lo que le sucede al niño, a pesar de que estas escalas han sido muy utilizadas, en ocasiones el personal médico argumenta que las escalas son un poco complejas y se tiene un poco de retraso para dar un dictamen, por eso a través de los años algunos hospitales en el mundo han creado y manejado su propia escala de dolor teniendo en cuenta los parámetros principales mencionados con anterioridad y también añadiendo otras medidas que cada lugar considera pertinente analizar [21][14].

Como se mencionó anteriormente hay diferentes causas para que un recién nacido lllore no solo porque tiene algún tipo de dolor. Así mismo. algunos autores han determinado que la fuerza de los llantos también depende de cómo reaccionen las personas que están a su alrededor [17], en especial las acciones de sus padres cuando están a su cuidado, ya que se ha demostrado que si la madre es primeriza tiende a preocuparse más por los procedimientos de rutina, ese estrés que tienen las madres primerizas de algún modo u otro se los transmiten a sus hijos. lo cual incide en la fuerza del llanto [22], es por eso que en ocasiones, siendo estas pocas, el personal médico aleja a la madre del recién nacido para que él no genere un llanto tan estruendoso. Se debe agregar que otros autores como Gustafson en [23] también estudia en niños de un mes de nacidos el ambiente al cual se encuentran expuestos y así analizar si el idioma y la cultura inciden en algún factor.

En efecto, a través del estudio del llanto se pueden determinar diferentes cosas, sobre todo que necesita el niño. por ejemplo Nakayama en [24] realiza su estudio con niños entre 1-2 meses de vida, determina que el recién nacido tiene tres tipos de llanto: el biológico que indica las necesidades básicas del neonato como el hambre, dolor, sueño etc.... el social que determina que tan cómodo se encuentra el recién nacido con las personas de su alrededor, es decir familiares, personal médico entre otros y por último el amae que Nakayama describe la necesidad que tiene el neonato de tener a su mamá cerca al él, al igual que los trabajos de Choudhary y Gustafson mencionados anteriormente, afirma que las madres en ocasiones sugestionan a sus hijos, transmitiendo sus emociones sobre todo de angustia o miedo pero esto sucede sin la intención de que el niño se vea afectado[25]. Karakoç en [20] con niños de mas de 48 horas de vida rectifica lo anterior. por eso sugiere que al momento de realizarle un procedimiento al recién nacido. es mejor que este no este muy cerca de la madre para evitar algun tipo de persuasión.

Precisamente, en los últimos diez años, el llanto generado por los niños ha sido estudiado, con el fin de obtener información sobre un niño, no solo sobre sus necesidades básicas, sino que además determinar si es propenso a alguna enfermedad, si posee una o si tiene un comportamiento diferente con respecto a los demás. Un ejemplo de ello se evidencia en [26], donde observa la tolerancia de dolor que tienen los bebés con síndrome de Down con respecto a los que no lo tiene. También en [27] usan el llanto para determinar si el neonato tiene autismo, en el primero el autor se basa en modelos de murinos (ratones) y humanos, realizando una comparación de los parámetros que componen el llanto, esto de manera subjetiva, mientras que el segundo por medio de dos softwares Biovoice y Matlab hace análisis solo de las frecuencias que componen los episodios del llanto. Al igual que los trabajos mencionados. con ayuda de los MFDWC (Mel Filter-bank Discrete Wavelet Coefficients) Jam y Sadjedi en [28] utilizan el análisis del llanto para determinar si los niños presentan sordera o no. mediante el uso de redes neuronales y bases de datos logran encontrar diferencias en ciertas características del llanto y así mismo dar un diagnóstico, además en los últimos tres trabajos mencionados, también se observa las diferentes reacciones que tienen los padres o aquellos que los cuidan, frentes a varios llantos que presentan los niños.

En efecto y como ya se ha visto, el llanto es el modo de comunicación más importante para los recién nacidos y por los tanto varios autores han tenido en cuenta que el entorno y la cultura a la cual estén expuestos los niños. puede relacionarse con la forma en que los neonatos generen un grito o un llanto [1]. Tal como es el caso de [23] ya mencionado., donde se realiza una comparación de dos poblaciones diferentes como la china y la

estadounidense, mediante el análisis de la frecuencia fundamental, la duración y la intensidad del llanto de cada muestra da a conocer que la periodicidad del llanto varía de acuerdo a la diferencia de idiomas y culturas. en [29] también analiza dos culturas aún más diferentes que son la alemana y la camerunés con niños recién nacidos a término completo con un promedio de edad de 4 días de vida. Wermke estudia el lenguaje de cada población siendo uno multisilábico y el otro monosilábico y complejo, respectivamente, de manera que este trabajo confirma que el entorno al que esté el infante puede influir en la forma que el llora, aun si, el autor sugiere hacer más investigaciones donde se puedan comparar más culturas y más idiomas para así determinar el porcentaje de influencia del entorno el llanto generado por los niños.

Todo lo mencionado hasta este momento son trabajos, que si bien, ayudan a establecer un diagnóstico con respecto a los distintos tipos de llanto que puede presentar un niño en sus primeros días, meses o incluso primeros años de vida. estos estudios están basados en parámetros específicos de acuerdo a distintas herramientas utilizadas [18] y a personas que ya están acostumbradas o en un ambiente donde ya es común el manejo de infantes, por lo tanto, son valoraciones derivadas de la observación personal. es decir que los resultados se obtienen de manera subjetiva [12].

Con respecto a los métodos de análisis cuantitativos del llanto, que permitan generar información detallada del mismo. existen trabajos como [27], que a través del estudio de la frecuencia fundamental y sus armónicos de la señal adquirida del llanto o grito del recién nacido o lactante, permiten realizar un diagnóstico del trastorno de espectro autista (Autism Spectrum Disorder. ASD): afirma que la presencia del llanto con valores de frecuencia fundamental muy altos y de corta duración, es un gran indicio de la presencia del trastorno en el niño. De la misma manera el estudio indica que el análisis de diferentes sonidos puede ayudar a distinguir las primeras etapas de desarrollo de los niños que presentan ASD frente a los que tienen este tipo de patologías.

Wermke [29] en su investigación discrimina cuatro parámetros (promedio. rango. fluctuación y tono sigma) que posee la frecuencia fundamental del llanto. Este estudio del cual ya se habló con anterioridad, trabaja con el programa PRAAT el cual es usado para el análisis científico del habla, extrae los cuatro parámetros que permitieron determinar que hay una alta variabilidad entre los llantos de los dos grupos de niños estudiados.

Por último. en este aspecto con respecto al análisis objetivo del llanto en [24] se logra clasificar el tipo de llanto, identificando si los sonidos generados por el niño son por una de sus necesidades básicas o por simple capricho, esta clasificación fue hecha mediante descriptores extraídos de la frecuencia fundamental. Nakayama plantea tres tipos de llantos (biológico, social, amae), los cuales logró diferenciar por la variación de la frecuencia fundamental en cada uno de los episodios de llanto dependiendo de la situación a la que se encontrara el niño, con la información recolectada el autor concluye que la variación de la frecuencia fundamental se puede ver reflejada en los distintos llantos que presenta el niño.

Finalmente con la bibliografía consultada se concluye que el llanto. es la única forma de comunicación verbal que tiene los recién nacidos o los lactantes menor para interactuar con su entorno [30]. A través de la investigación se evidencio que el llanto ha sido motivo de múltiples trabajos. donde se relacionan características acústicas del llanto con otros factores como gestos o movimientos de manos y pies [31].

1.2 Fundamentos

1.2.1 Generación de la voz

El sonido producido por la voz, se gesta por la acción del el aparato fonador. el cual se compone de los sistemas respiratorio, digestivo y nervioso central, mediante el cual se generan los estímulos para producir el sonido[32].

Funcionalmente la producción de la voz es el resultado de la interacción de los sistemas subglotal, laringe y supraglotal. A través del sistema subglotal, se genera el flujo de aire en los pulmones, el cual es conducido hacia la laringe a través de la tráquea con ayuda de los músculos asociados a la función respiratoria Figura 1.1. La laringe a nivel del aparato fonador ocasiona una serie periódica o cuasi periódica de golpes de aire mediante la glotis que al interactuar con las cuerdas vocales genera el pulso de glotis, que produce un espectro de sonido, que tiene una frecuencia denominada Frecuencia Fundamental (F_0) de la señal de voz. El sistema supraglotal está compuesto por la faringe, la cavidad oral y la cavidad nasal, estas cavidades llamadas cavidades resonantes. actúan como un filtro que acentúa la frecuencia del espectro generado por los pliegues vocales generando los formantes [32] y dando forma los sonidos que produce la laringe.

Los formantes se generan básicamente por los cambios que pueden experimentar las cavidades supra glóticas en cuanto a viscosidad de las paredes, posición, volumen y forma en el momento de la emisión del sonido. Cabe resaltar que existe diferencia entre las frecuencias de los formantes y las frecuencias de los armónicos relacionados con la frecuencia fundamental, ya que esta depende del pulso de glotis y no de las cavidades resonantes. El timbre de la voz guarda estrecha relación con la configuración de los formantes [33].

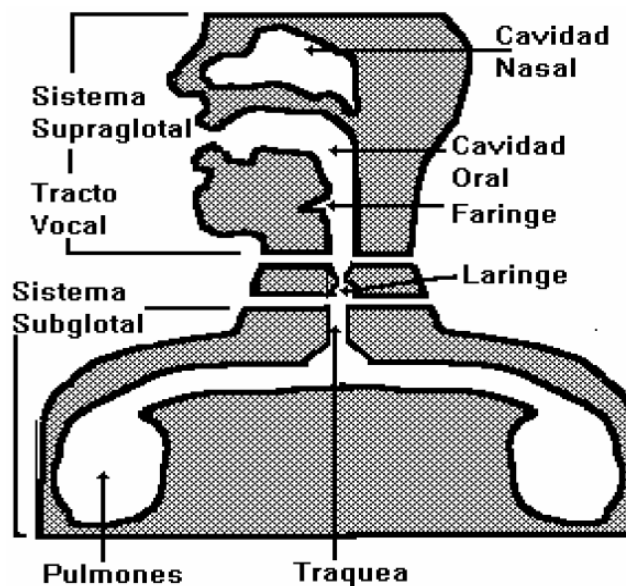


Figura 1. 1 tomada de [32]

El rango de frecuencia de los formantes se encuentra entre 100Hz y 3500 Hz. los cuales se asocian a las cavidades resonantes, como por ejemplo: el formante1 (F1) se relaciona con la faringe. el formante 2 (F2) con la cavidad oral y el formante 3 (F3) con los labios [34].

1.2.2 Características acústicas de la señal de voz

El sonido es una perturbación que avanza y se propaga en un material o incluso en el vacío, que si bien es algo confuso de analizar y que depende del material al cual esté ligado, es una sensación que ha sido constantemente estudiada. Como se sabe la voz del ser humano es un sonido muy complejo debido a que es una composición y superposición de sonidos puros con frecuencias infinitamente próximas [35], que hacen que muchas respuestas acústicas tengan semejanzas tanto en la reproducción de palabras, gritos o llantos.

Todo sonido cuenta con características acústicas a través de las cuales se puede identificar y diferenciar. Las características más conocidas en el ámbito acústico en relación con la señal de voz son el tono. la intensidad y el timbre [36].

- **El tono:** Está relacionado con la frecuencia fundamental de la voz a través de las vibraciones se producen en la laringe en la interacción de la glotis y las cuerdas vocales y se mide en Hertz (Hz). La frecuencias fundamentales de hombres y mujeres se encuentran el rango de 50-250 Hz y 120-500 Hz. respectivamente [37] con sus respectivos armónicos como múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. En la figura 1.2 se representa el espectro de la señal de voz. con sus armónicos como múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

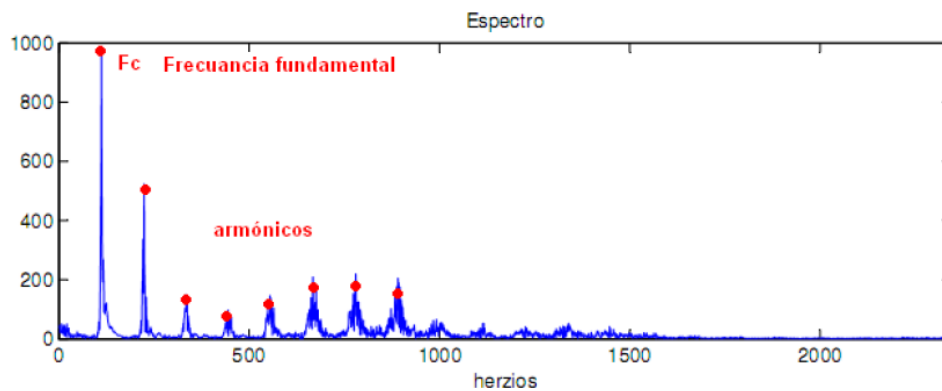


Figura 1. 2. Espectro de la señal de voz tomado de la tesis (577803 Formantes)

- **La intensidad:** Se mide en decibeles (dB). se relaciona con el volumen de aire que al salir de los pulmones interactúa con la glotis y produce las vibraciones. Entre mayor sea la fuerza de expulsión del aire. el sonido tiene mayor intensidad. Esta característica se puede relacionar con las emociones de quien emite el sonido.

- **El timbre:** Tiene estrecha relación con los formantes. por tanto se puede decir que es la huella sonora porque depende de las características de las cavidades supra glóticas de quien emite el sonido. Los formantes de la señal de voz que representan las frecuencias de resonancia del tracto vocal. se evidencian como los picos de la envolvente del espectro de la señal (Figura 1.3)[33].

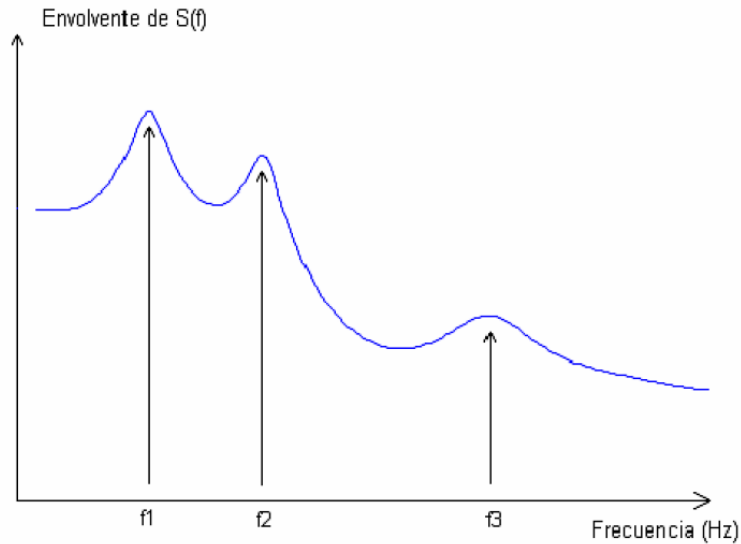


Figura 1. 3 Formantes de la señal de voz en el espectro tomado de la tesis (577803 Formantes)

Cabe resaltar que aparte de las características nombradas, existen otras. a través de las cuales se puede caracterizar las señales de voz [4]. Por ello tener un conocimiento del sonido y los parámetros acústicos que lo componen es de gran relevancia [38].

1.2.3 La señal de voz

Las señales de voz son señales no estacionarias, por tanto sus propiedades estadísticas varían con el tiempo, sin embargo ya que es generada por el aparato fonador, el cual guarda cierta inercia mecánica, debido a que los órganos que lo componen no cambian sus características instantáneamente, se puede considerar una señal estacionaria o cuasi estacionaria en intervalos de tiempo muy cortos denominados tramas o frames. las cuales se encuentran típicamente entre 20 y 60 ms [38]. [39]. Considerar la voz como una señal estacionaria en cada trama, permite analizar y procesar cada una de ellas de forma individual como fragmentos cortos de sonido con propiedades fijas, de tal forma que el análisis de todos los frames refleja el análisis de la señal completa.

En la figura 1.4 se evidencia como ejemplo una señal de voz en intervalos de tiempo diferentes

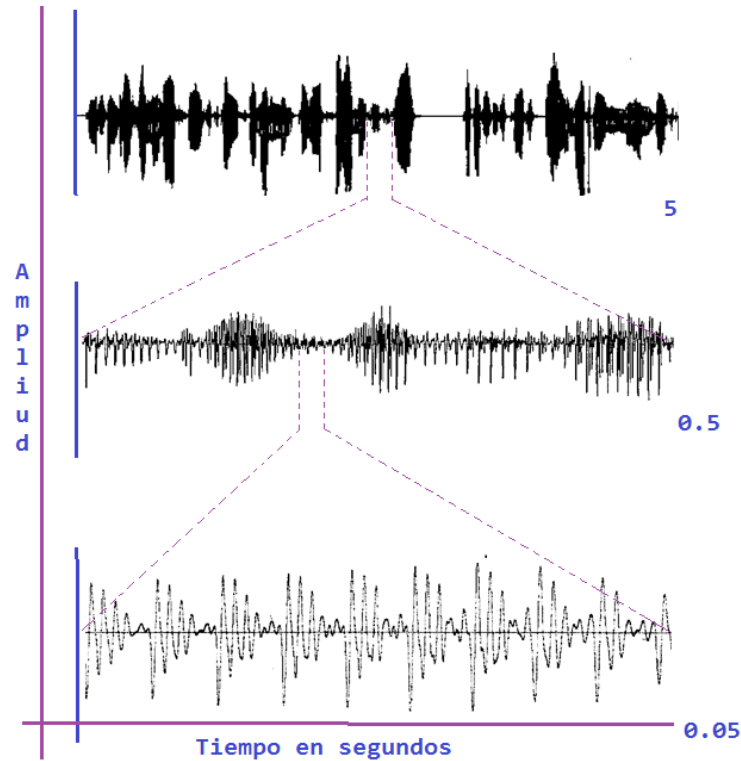


Figura 1. 4. Señal de voz considerada en intervalos de tiempo diferentes

1.2.4 Enventanado de la señal de voz

La señal de voz se analiza en tramas o frames de corto tiempo para que sus propiedades se mantengan estacionarias, para esto, se realiza el proceso de enventanado, el cual consiste en multiplicar la señal de voz por una función limitada en el tiempo, de tal manera que el valor de la función. fuera de ese tiempo sea nula [41].

La multiplicación de la ventana por la señal de voz en el dominio temporal, genera la convolución de la transformada de Fourier de la señal de voz y la transformada de Fourier de la ventana en el dominio espectral. Para minimizar el efecto de aliasing, se emplean ventanas tipo coseno. cuyo lóbulo principal sea estrecho y los lóbulos secundarios pequeños [42] [43]. Por ejemplo en la ventana tipo Hamming, la señales se ponderan, de tal manera que aquellas que se encuentran a los extremos de la misma se minimizan. En la figura 1.5 se evidencia la aplicación de una ventana tipo Hamming a una trama de voz y el efecto que esta genera a nivel temporal y espectral [44].

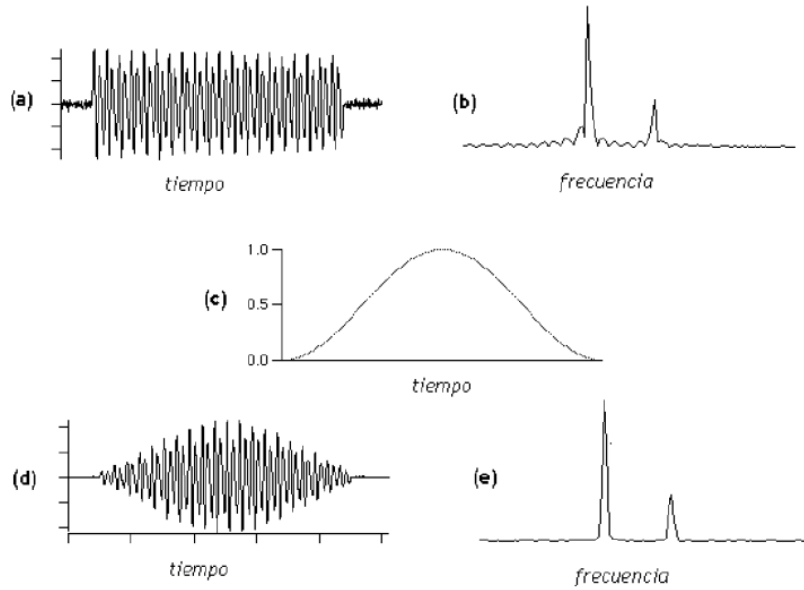


Figura 1. 5. Efecto de la Ventana Hamming. a) Trama de voz. b) Espectro generado por la segmentación. c) Ventana Hamming. d) Trama enventanada. e) Su espectro sin distorsión [44].

Para evitar la pérdida de información debido a la atenuación de la señal en los bordes de la ventana se realiza solapamiento entre ventanas como se ilustra en la figura 1.6

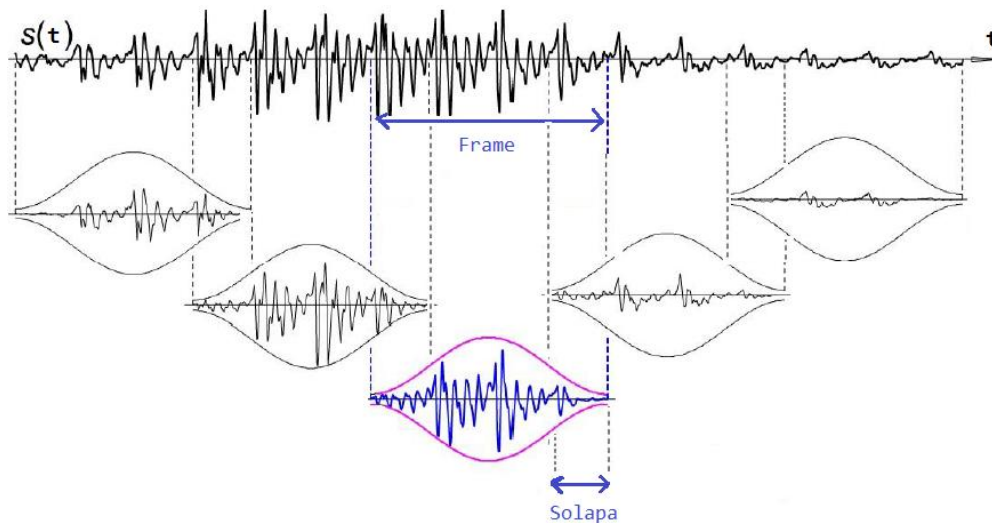


Figura 1. 6 Señal de Vos Enventanada con Ventanas tipo Hamming, con solapamiento

1.2.5 La Percepción de la señal de voz

El oído humano capta el sonido a través de las vibraciones generadas por la presión del aire que cruzan el conducto auditivo externo y llegan a la membrana del tímpano. El conducto auditivo actúa como una etapa de potencia que amplifica los sonidos más bajos

que proceden del exterior. Una manera de comprender mejor el sistema auditivo humano es suponer que se compone de un banco de filtros pasa-banda conocidos como filtros auditivos, los cuales permiten que se pueda realizar una discriminación entre diferentes sonidos. Los filtros auditivos no siguen una configuración lineal, el ancho de banda de cada filtro se denomina banda crítica, la cual le permita al sistema auditivo humano la capacidad de resolución de frecuencia e intensidad. De acuerdo al ancho de banda de la banda crítica se perciben. enmascaran o bloquean los sonidos [45].

Ya que el oído humano no percibe la frecuencia de una forma lineal. Stevens, Volksman y Newman, proponen la escala de Mel. Un mel es la unidad de medición de la frecuencia o del tono percibido por el oído humano. De acuerdo a la escala de Mel 1000Hz equivalen a 1000 Mels y la relación entre la frecuencia lineal (f) expresada en Hertz y la frecuencia percibida (\hat{f}) expresada en mels se determina mediante la ecuación 1.

$$\hat{f} = 2595 \log_{10}\left(1 + \frac{f}{700}\right) \quad (1)$$

De acuerdo a la escala, para valores mayores de 500Hz los intervalos de frecuencia espaciados exponencialmente se perciben como si tuvieran un espaciamiento lineal [46].

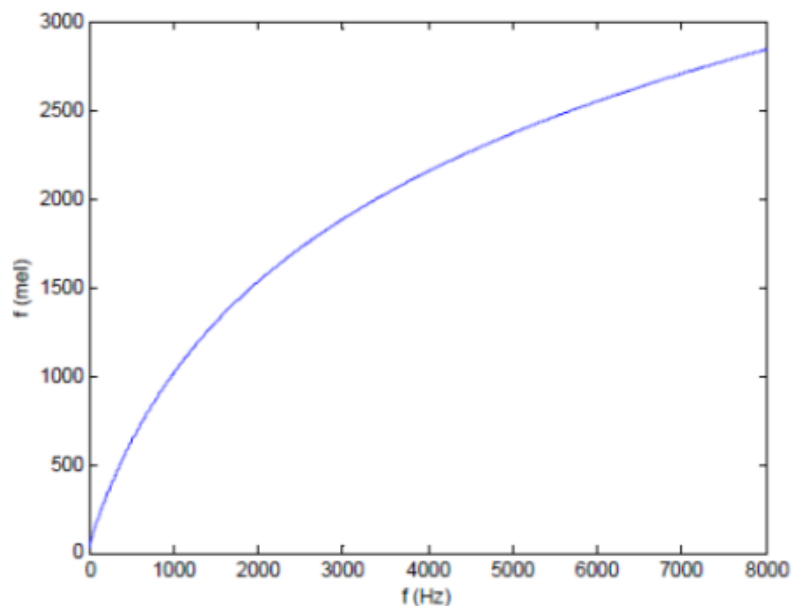


Figura 1. 7 Escala de Mel Tomada de [46]

Los coeficientes de Mel (MFCC) se relacionan a través de una representación no lineal del espectro de frecuencia (SPECTRUM), denominada CEPSTRUM. El cepstrum se puede ver visto como el ritmo de cambio de las diferentes bandas de un espectro. el cual se calcula como la Transformada Inversa de Fourier del logaritmo natural de la magnitud del espectro [47].

CAPITULO 2

PROTOCOLO Y ADQUISICIÓN DE SEÑALES

2.1 Protocolo

Para el desarrollo de este proyecto, se realizó un protocolo en el cual se estableció la manera más adecuada para adquirir las muestras de audio en la unidad de puerperio del Hospital Susana López de Valencia. A través de este documento se plantean especificaciones para la toma de muestras, los dispositivos a usar y qué tipo de población se usó en el estudio.

Inicialmente el proyecto se centraba en una población de neonatos prematuros en la sala de cuidados intensivos neonatales, donde se pensaba que el monitoreo de estos recién nacidos sería más fácil debido a su tiempo de permanencia, al respecto de la población del estudio el comité de ética de la institución dieron las siguientes recomendaciones

- Cambia la población estudio a neonatos recién nacidos a término y sanos. para garantizar que los datos no sean alterados por algún tipo de patología asociada.
- La estancia de los recién nacidos a término y sanos garantiza que la toma de datos sea homogénea
- A diferencia de la unidad de cuidados intensivos. se posibilita el acceso a la unidad de puerperio con dispositivos que no tengan conexión a la red eléctrica. acceso a redes de comunicaciones y permitan una fácil y constante asepsia

2.1.1 Condiciones de toma de muestras

Aquí se trata y mencionan los requisitos que el Hospital Susana López de Valencia sugirió a través del Dr. Carlos Manuel Caicedo referente en bioética y la enfermera jefe Rosalba Quintero para hacer la toma de muestras de llanto, todas fueron en común acuerdo con la institución mediante el acompañamiento permanente de la institución

2.1.1.1 Elección de dispositivos de adquisición

El dispositivo de adquisición debe ser un elemento no invasivo, aislado del sistema eléctrico y sin acceso a redes de comunicaciones. Se acordó con el personal mencionado del hospital que la toma de muestras se realizaría con un dispositivo móvil (celular) con batería autónoma de más de 15 horas y un micrófono electret que es fácil de adquirir, de poner en funcionamiento y de limpiar a diferencia de otros micrófonos, además, este dispositivo no estaría conectado a ningún tipo de red (wifi. Bluetooth, red móvil, interne, etc...) ni a ningún cable de poder que pudiera generar algún tipo de interferencia con los equipos que se encuentran en la sala de puerperio del Hospital Susana López de Valencia.

2.1.1.2 Permanencia en el hospital

Se recomienda que la toma de muestras se realice en la jornada de la tarde con un tiempo de permanencia en la sala de puerperio de aproximadamente 8 horas: de 2 pm a 10 pm debido a que en este horario se garantizaba que la permanencia del recién nacido sería hasta el día siguiente lo que aseguraba una grabación controlada de las horas estipuladas. Para el ingreso y permanencia en la sala, el hospital solicitó la afiliación a la ARL (Administradora de Riesgos Laborales) por parte de la Universidad.

2.1.1.3 Asepsia

La institución realizó una inducción de lavado de manos y sugirió los métodos de limpieza de los dispositivos de adquisición de audio para garantizar asepsia en la sala de puerperio. En esta inducción realizada por la jefe de enfermería Rosalba Quintero se recomendó realizar el lavado de manos quirúrgico (figura 2.1) a la persona que se encargaría de la adquisición de las grabaciones para que cuente con la asepsia necesaria, en relación a los dispositivos usados se busca la asepsia de los mismos mediante la utilización de materiales como: alcohol, gasas, bata azul desechables la cual se usó para recubrir el sistema de adquisición para una mejor limpieza y por supuesto el sistema de adquisición que consta del teléfono móvil y el micrófono electret (figura 2.2)



Figura 2. 1 Lavado de manos

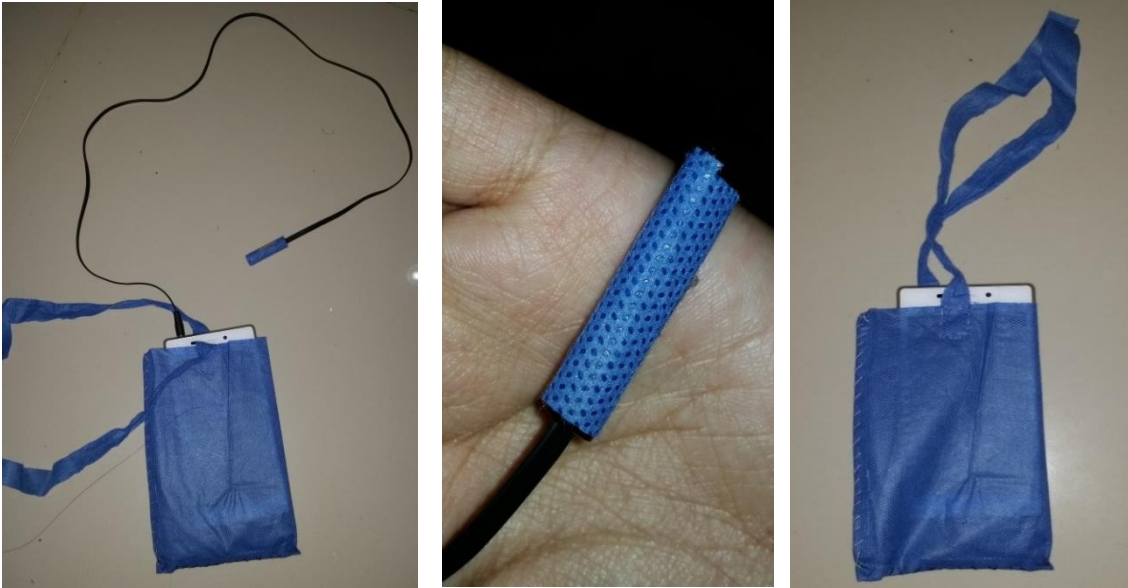


Figura 2. 2. Asepsia del sistema de adquisición de señales

El lavado de manos y la limpieza del dispositivo consiste en: el lavado de manos se debe realizar antes y después de limpiar los dispositivos, para la limpieza del sistema de adquisición se debe tomar una gasa y rociarla con alcohol para frotar todo el teléfono y el micrófono que se encuentra en los auriculares para teléfonos celulares. Es importante que el teléfono en este paso se encuentre apagado para tener una mejor limpieza. Después de realizar la asepsia correspondiente, se cubre tanto el teléfono celular como el micrófono con la tela azul desechable, que corresponde a la misma tela que compone las batas desechables que se utilizan dentro de un hospital, las dos tiras de tela que contiene la bolsa del dispositivo se usaron para colocar el celular en un lugar donde no interfiriera con las acciones tanto del neonato o como de la madre, como por ejemplo el costado de la cama, el soporte del suero, el cabezal de la cama etc. Es importante aclarar que para cada recién nacido se hizo cambio de micrófono, la tela que recubre al sistema de adquisición también se reemplaza cada vez que se inicia una nueva grabación de un recién nacido.

2.1.1.4 Criterios de Inclusión

Aquí se procede a obtener las muestras de llanto de los recién nacido, pero primero que todo se definieron unos criterios de inclusión y exclusión (ver figura 2.3) para la población a la cual se le aplicaría el estudio, los cuales fueron:

- Se escogió la población de recién nacido mayor de 36.6 semanas de gestación. lo cual se conoce como neonatos a término [48], es decir, es el recién nacido que está desarrollado correctamente según criterio médico.
- El peso al nacer mayor o igual a 2100 gramos.
- Talla al nacer mayor o igual a 45 centímetros.
- El valor del APGAR. es decir. un puntaje donde se evalúan cinco factores que son el color de la piel (A). la frecuencia cardiaca (P). la respuesta de reflejos (G). tono muscular (A) y frecuencia respiratoria (R). cada uno de los aspectos mencionados

se evalúa en una escala con un puntaje de 0 a 2 como máximo, el personal médico suman las puntuaciones de los cinco factores, por lo tanto se puede tener una valor de APGAR entre 0 y 10, esta evaluación se practica al minuto y a los cinco minutos después del nacimiento del neonato, así que para este proyecto se asignó que el puntaje de los recién nacidos en la unidad fuera igual o mayor a 8 para asegurar que la respuesta a cualquier estímulo fuera oportuna.

- Que no presentara una enfermedad que se pueda asociar a la prematurez. o algún tipo de patología que no se sepa con certeza que le sucede.
- Más de 3 días dentro de la sala. lo que implica que el neonato presenta algún cuadro clínico. que no ha permitido darle de alta.
- Firma del consentimiento informado. eso es muy importante ya que si los padres no están de acuerdo con alguna parte de la toma de muestra no se puede tener en cuenta al recién nacido en el estudio. para esto se le explico el objetivo del proyecto y como se realizaría la grabación para que finalmente decidieran si tenían algún inconveniente o no y decidieran se parte o no del estudio.

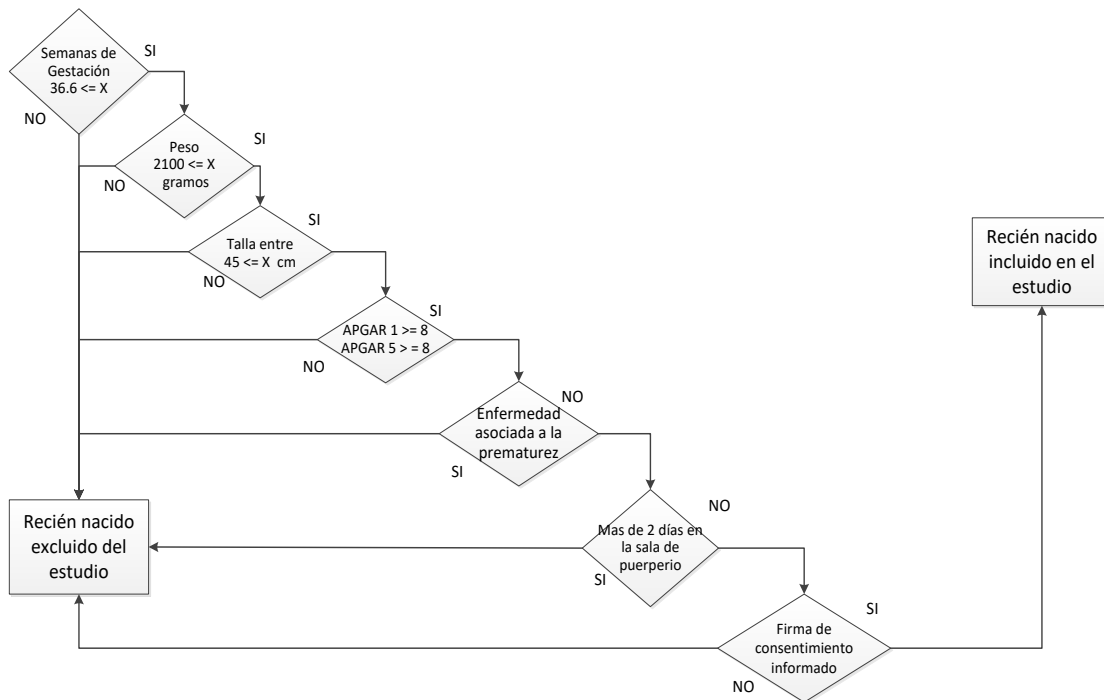


Figura 2. 3 Criterios de inclusión

2.1.1.5 Población

Para el estudio se realizaron las grabaciones de 20 recién nacidos cuya edad máxima era de 24 horas de nacidos, de los cuales se seleccionaron 10 niños para analizar. Es necesario que todos contaran con el permiso de sus padres. En contraste con la bibliografía encontrada cuya población superaba el mes de vida donde se analiza el comportamiento o algún tipo de enfermedad, mientras que en otros estudios donde se

analizan características acústicas la población tiende a ser mayor o igual a 5 meses de edad. Además el comité de ética del hospital nos garantizó un mejor monitoreo tanto del paciente como del conjunto de adquisición de audios.

2.1.1.6 Consentimiento Informado

En este documento se explica de manera clara y sencilla en que consiste el proyecto y cuál es su objetivo, sus posibles riesgos y los requisitos que el autor del proyecto debe cumplir en caso de que se cometa algún tipo de falta, debe ser firmado por los padres o alguno de ellos. Quien o quienes firman deben estar de acuerdo con todos los puntos del mismo para dar la autorización de la grabación, si alguno tienen algún inconveniente puede retirar al neonato del estudio sin ningún problema. Este documento es clave ya que sin él no se podría hacer la adquisición de las muestras (Ver Anexo A)

2.1.1.7 Instructivo y encuesta

Es un documento se realizó con el motivo de adquirir información y datos sobre los padres del recién nacido y sobre ciertos aspectos de como fue el parto y la gestación. Se compone de las instrucciones de cómo llenar la encuesta, esto de acuerdo a lo planteado por la institución con respecto al formato de compromiso de confidencialidad de la información del paciente. (Ver Anexo A)

2.1.2 Toma de muestra

En esta sección se describe lo que se tiene en cuenta para que la toma de muestras sea la adecuada y que la grabación del llanto se óptima para el análisis. Después de todo el procedimiento descrito a continuación, la información que se adquiere por medio de las grabaciones que son almacenadas en los dispositivos se exporta la información a un ordenador para su respectivo procesamiento y análisis de datos. Cabe señalar que si el audio quedo mal grabado, es decir con mucha interferencia o que no se logra percibir el sonido del llanto o si hay una alteración en la posición del micrófono que no permita una buena adquisición del sonido se debe rechazar la muestra y no tener en cuenta al recién nacido que emitió dichos llantos.

Después de haber cumplido con los criterios de inclusión y con la sección de asepsia tanto del sistema de adquisición como de la persona que realizará la grabación, hay que asegurarse que los padres no tengan ninguna duda con respecto a lo que se va a realizar y en el proyecto y se pide que firmen el consentimiento informado que previamente ellos han leído y hecho las preguntas pertinentes en el caso.

Ahora ya con el sistema de adquisición listo se procede a encender el dispositivo móvil y se verifica que no esté conectado o enlazado a ninguna red ni eléctrica ni de datos, se conecta el micrófono (manos libre) al dispositivo y se ubica a una distancia entre 10-30 cm de la boca del neonato, esta distancia se tomó en cuenta en concordancia con otros estudios como [2], [4], [11] y finalmente dar inicio a la grabación. El dispositivo móvil se

encontraba sujeto en una de las barandas a un lado de la cama donde se encontraban la madre y su hijo, eso para que no interfiriera en algún movimiento hecho por alguno de ellos.

A inicios de la grabación se hizo una encuesta donde se solicitaba algunos datos del embarazo y el parto, además de unos pocos datos demográficos de los padres. En el transcurso de las grabaciones se realizó una bitácora para cada recién nacido donde se especificaba aproximadamente la hora en la que el neonato generaba el episodio de llanto y también se registraba la posible causa de llanto.

2.1.2.1 Sistema de adquisición

A través de un sistema de Procesamiento Digital de Señales o DSP's (Digital Signal Processing) se puede adquirir, analizar y procesar señales del mundo real que usualmente se encuentran en forma analógica, mediante la conversión a señales digitales, representadas a través de valores numéricos discretos, cuyos componentes pueden ser analizados, reordenados y procesados más fácilmente con un fin específico [49].

Como se mencionó anteriormente, el comité de ética Hospital Susana López de Valencia presento restricciones en cuanto al sistema de adquisición de señales, en el sentido de que no estuviera conectado a cables de poder y que contara con señales que pudieran interferir con los equipos en la sala de puerperio, por tal motivo, para este trabajo se usó un micrófono electret que se encuentra comúnmente en los auriculares con micrófono (manos libres), el cual permite adquirir los llantos y un dispositivo móvil (teléfono celular) que hace la función de almacenar el audio.

- **Teléfono celular**

Es un dispositivo electrónico de comunicación, normalmente de diseño reducido, basado en la tecnología de ondas de radio. Su rasgo característico es que es un dispositivo portable e inalámbrico [50]. Además de contar con las funciones básicas que debe suplir un teléfono, tiene otros usos adicionales como juegos, aplicaciones de redes sociales, agenda, grabadora de voz, etc., lo que hace que el dispositivo potencialice su funcionalidad. Como se puede observar en la figura 2.4 hay diferentes gamas y tamaños



Figura 2. 4 Teléfonos celulares

En definitiva los teléfonos celulares hace unos años solo se caracterizaban por tener una función específica, pero la evolución de la tecnología ha hecho que estos dispositivos proporcionen diferentes aplicaciones.

En el caso de este trabajo se utiliza para la grabación de audio, debido a que tiene buena capacidad de almacenamiento y que puede soportar diferentes formatos de audio como: WAV, MP3, MIDI, AMR, MMF. Estos dispositivos tienen la ventaja que permiten adecuar las frecuencias de muestreo para la adquisición de la señal de audio, de manera propia o con la ayuda de alguna aplicación. aunque normalmente dicha frecuencia es de 44100 Hz. como lo menciona Cortes en [51] la frecuencia de muestreo es la que permite reconstruir la señal de sonido para que sea apreciable al oído humano que tiene un rango de frecuencia de 20Hz a 20KHz. De acuerdo al teorema de muestreo de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser igual o mayor al doble de la frecuencia máxima de la señal:

$$f_s > 2 * F_{max} \quad (2)$$

Por lo tanto si se tiene un sonido con una frecuencia máxima de 14.080 Hz la mejor opción de muestreo es la de 44.1 kHz ya que el valor de la frecuencia máxima cae dentro del rango de Nyquist el cual es 22.05 kHz, si no se tomase este rango sino uno más bajo es posible que se pierdan algunas frecuencias lo que haría que se perdiera información acústica pertinente

Otra ventaja que tiene este tipo de equipos es su batería autónoma, por lo general tienen una duración de 24 horas aproximadamente sin necesidad de conectar a la corriente para una nueva carga. Además de las características que destacan este tipo de dispositivos, se eligió por su capacidad de almacenamiento de audios un teléfono móvil que ayuda a cumplir las condiciones dadas por el Hospital, que principalmente se basaban en la buena y fácil asepsia y en que no se presentaran interferencias con alguno de los dispositivos médicos que se encontraban en la sala.

- **Micrófono electret**

Los micrófonos electret son muy utilizados actualmente. debido a su funcionalidad y tamaño proporcionan una gran variedad de usos [52]. El electret es un micrófono de condensador con un dieléctrico sólido, y su sensibilidad corresponde a un transductor no electret con vías externas de entre 70 a 280 V



Figura 2. 5 . Micrófono electret

Estos micrófonos tienen todas las características de los micrófonos convencionales como una amplia respuesta en frecuencia, baja distorsión, baja sensibilidad de vibración, buena respuesta al impulso, insensibilidad a campos magnéticos y simplicidad en diseño.

Entre las ventajas que presenta un este tipo de micrófono se tienen las siguientes: (a) No se necesita tensión de polarización, por ende no se utiliza ninguna fuente fantasma, (b) su construcción es robusta, (c) tienen una alta capacitancia (alrededor de 500 pF) y por lo tanto, la carga es un problema menor que con el micrófono de condensador, (d) son de bajo costo [53]. También que no requieren vías de DC y que debido al uso de dieléctricos sólidos y posibles aberturas de aire superficiales en ambos sistemas. tienen una mayor capacitancia por unidad de área [52].

Características del micrófono

- **Sensibilidad (S):** Es el valor entre el cociente de la tensión eléctrica entregada por un micrófono en circuito abierto y la incidencia de la presión acústica que incide sobre él. Se expresa de la siguiente manera:

$$S = \frac{t}{p} \quad (3)$$

Donde t es la tensión eléctrica proporcionada y p es la presión sonora que se ejerce sobre el diafragma. No se recomienda usar micrófonos cuya sensibilidad sea menor a 1mv/Pa

- **Respuesta en frecuencia:** Se conoce respuesta en frecuencia de acuerdo a como varia la sensibilidad S de un micrófono respecto de la frecuencia. Tomando como referencia el valor de la sensibilidad a 1Khz y expresándola en [dB].

$$S(f) = 20\log \frac{S(f)}{S(1Khz)} \quad [dB] \quad (4)$$

Los micrófonos electret tienen una respuesta en frecuencia bastante buena (50 a 15.000 Hz), aunque lejana de la de los micrófonos de condensador, que son mucho más sensibles en la zona de los agudos).

2.1.2.2 Formato de audio

Hay que resaltar que los archivos de audio adquiridos se trabajan en formato .wav, con el fin de que haya compatibilidad con el software utilizado para el pre procesamiento y procesamiento de las señales.

2.1.3 Bitácora

Además del instructivo se hizo una bitácora donde se registró y se estimó los posibles motivos del llanto de los recién nacidos, esta estimación se hizo de acuerdo a lo que se podía observar cuando el neonato generaba el llanto y de acuerdo a los puntos de vista del personal médico y de las madres que no eran primerizas (Anexo A). La causa del llanto, se trata en este estudio como la **clase estimada** a la cual pertenece el llanto, es

decir si se habla por ejemplo de la clase hambre quiere decir que posiblemente la causa por la cual el neonato lloró es porque tenía hambre.

2.1.4 Protocolo clínico

Este pequeño protocolo son las indicaciones de cómo se tomaría las muestras, de acuerdo a un formato que implementa el hospital, en él se especifica los materiales que se necesitan para la asepsia del dispositivo en la sala de puerperio (ver Anexo A).

2.2 Pre procesamiento de señales

2.2.1 Segmentación de episodio de llanto

Una vez tomadas las muestras en la unidad de Puerperio del Hospital Susana López de Valencia, se extraen los archivos de audio, cuya duración máxima es de aproximadamente 8 horas continuas cada uno. Los recién nacidos quedan con la etiqueta del día en que se tomó la muestra y el dispositivo en el que se guardó el audio (ver tabla 2.1). Hay que resaltar que no todos los audios tienen la misma duración debido a que no todos se encontraban en la habitación a la hora establecida.

En este momento no importa ni la duración ni por qué posiblemente se genera el llanto, en la figura 2.6 se muestra un ejemplo de los nombres que puede tener algunos audios, el primer audio corresponde al audio original, el segundo tiene la etiqueta de hambre lo que significa que posiblemente el llanto es porque tiene hambre y el tercer audio tiene una etiqueta con el nombre quejido, que representa cuando el recién nacido se queja por algo.

Esta etiqueta se asigna con base en los datos de la bitácora que se creó mientras se obtenían las grabaciones, estos nombres son una estimación de la posible causa que genera el llanto, esta apreciación en los nombres fue dada por parte de algunas madres no primerizas y parte del personal médico que gracias su compañía se pudo hacer un seguimiento constante del recién nacido en el tiempo permitido de estancia en el hospital.

Hay que tener en cuenta que los audios obtenidos tienen un sonido estéreo, es decir dos canales de reproducción y para poder hacer el análisis se requiere que el sonido tenga un solo canal, es decir una reproducción mono, por lo tanto se debe realizar este cambio, la ventaja es que no se pierde ni calidad ni información del audio.

| Recién nacido | Dispositivo | Fecha | Hora | | Duración |
|---------------|----------------------|----------|--------|-------|----------|
| | | | Inicio | fin | |
| 10 – Sony | Sony Xperia M2 | 10/12/18 | 4:30 | 10:00 | 5:30:00 |
| 10 – Samsung | Samsung Galaxy Young | | 4:00 | | 6:00:00 |
| 10 – C3 | Nokia C3 – 00 | | 5:40 | | 4:20:00 |
| 10 – LG | LG G3 | | 4:40 | | 5:20:00 |
| 10 – X2 | Nokia X2 – 02 | | 5:10 | | 4:50:00 |
| 11 – Samsung | Samsung Galaxy Young | 11/12/18 | 3:00 | 10:00 | 7:00:00 |
| 11– X2 | Nokia X2 - 02 | | 4:35 | | 5:25:00 |
| 11 – Sony | Sony Xperia M2 | | 2:30 | | 7:30:00 |
| 11 – C3 | Nokia C3 – 00 | | 5:20 | | 4:40:00 |

| | | | | | |
|--------------|----------------------|----------|------|--|---------|
| 11 – LG | LG G3 | | 2:50 | | 7:10:00 |
| 12 – Sony | Sony Xperia M2 | 12/12/18 | 3:12 | | 6:48:00 |
| 12 – Samsung | Samsung Galaxy Young | | 2:35 | | 7:25:00 |
| 12 – LG | LG G3 | | 2:05 | | 7:55:00 |
| 12 – X2 | Nokia X2 - 02 | | 4:15 | | 5:45:00 |
| 13 – Samsung | Samsung Galaxy Young | 13/12/18 | 5:00 | | 5:00:00 |
| 13 – Sony | Sony Xperia M2 | | 5:40 | | 4:20:00 |
| 13 – LG | LG G3 | | 5:25 | | 4:35:00 |
| 17 – Sony | Sony Xperia M2 | 17/12/18 | 2:45 | | 7:15:00 |
| 17 – Samsung | Samsung Galaxy Young | | 3:02 | | 6:58:00 |
| 17 – X2 | Nokia X2 - 02 | | 3:55 | | 6:05:00 |
| 17 – LG | LG G3 | | 2:32 | | 7:28:00 |
| 19 – LG | LG G3 | 19/12/18 | 5:00 | | 5:00:00 |
| 19 – Sony | Sony Xperia M2 | | 4:45 | | 5:15:00 |
| 19 – X2 | Nokia X2 – 02 | | 5:30 | | 4:30:00 |
| 19 – Samsung | Samsung Galaxy Young | | 5:15 | | 4:45:00 |

Tabla 2. 1 Audios de los recién nacidos

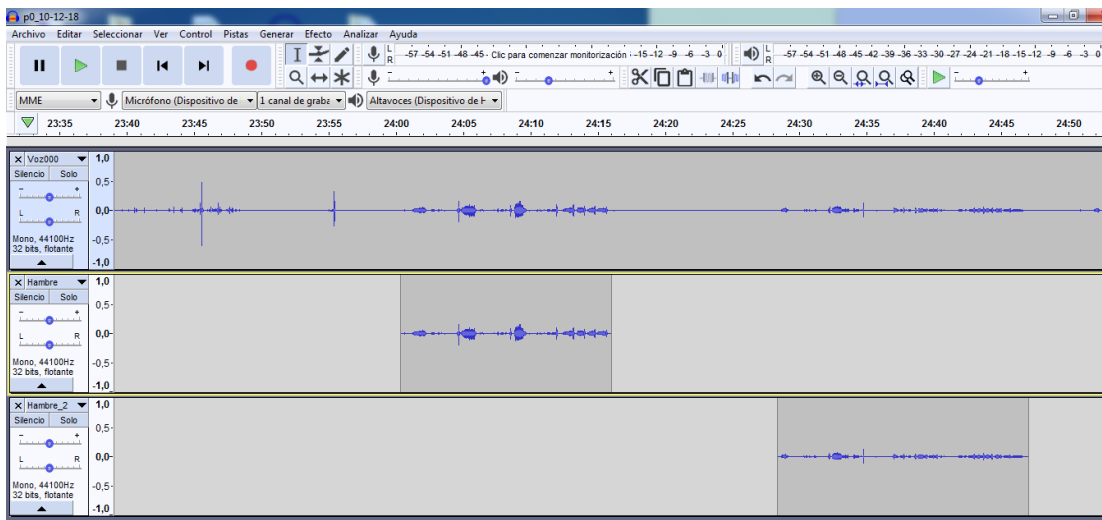


Figura 2. 6. Extracción de fragmentos

Los archivos de audio se segmentaron eliminando aquellos espacios donde no se encontraba ningún tipo de señal que correspondiera a un llanto. La segmentación de estos archivos de audio se hizo por medio del software Audacity, el cual es un software que permite hacer un procesamiento de sonidos. cuenta con múltiples herramientas que permiten la edición de distintos audios [54], además es muy usado tanto por profesionales como principiantes para el procesamiento y análisis de sonidos.

De la segmentación realizada en Audacity se obtuvieron segmentos de diferente duración que corresponden a las distintas clases estimadas (Tabla 2.2) de todos los recién nacidos, estos segmentos de llanto se organizaron en carpetas con las etiquetas designadas para cada neonato.

| Clase estimada | Etiqueta | Significado |
|-----------------------|----------|--|
| Hambre | H | Posiblemente tiene hambre el neonato |
| Sueño | S | Posiblemente tienen sueño |
| Cambio de pañal | Capañal | Mientras le cambian el pañal |
| Incomodidad | I | Incomodidad por algo que le molesta |
| Amae | A | Posible apego a la mamá o papá |
| Grito | G | Posible grito |
| Gases | Ga | Posiblemente para que le saquen los gases |
| Quejido | Q | Lamento antes de un llanto puntual |
| Calor | Calor | Posible calor por la ropa o cobija |
| Antes de examen de RH | Pre RH | Antes de aplicar el examen de RH |
| Examen RH | RH | Posible dolor al ser pinchado por una aguja |
| Enojo | E | Posible molestia por algo |
| Hipo | Hi | Posible hipo |
| Llanto | LL | Posible episodio que no se tiene en claro su posible causa. puede ser diferente a las anteriores |

Tabla 2. 2 Estimación de clases en general

2.2.2 Fragmentación de los archivos de audio

Con los archivos de audio seleccionados por niño y la posible causa que generó el llanto, se procede a fragmentar cada archivo de audio en secciones de 5 segundos con el fin de extraer los parámetros característicos de las señales obtenidas. La fragmentación se realizó con el software FFmpeg, el cual es un software libre que permite grabar, convertir, codificar, entre otras funciones; en pocas palabras permite modificar ciertas especificaciones de un audio o u video [55], este procedimiento se hizo con la ayuda de la doctora Ariana Anderson de la Universidad de California de Los Ángeles (UCLA), que usó esta misma herramienta para el análisis de su aplicación móvil Chatter Baby.

Del total de grabaciones mencionadas anteriormente se seleccionan las mejores muestras correspondientes a 10 recién nacidos, de cada uno de ellas se obtienen gran cantidad de fragmentos que pertenecen a diferentes clases estimadas y que tienen una duración de 5 segundos lo cual se puede ver en la tabla 2.3.

| | H | S | Capañal | I | A | G | Ga | Q | Hi | Calor | Pre RH | RH | E | LL |
|---------------------|------|----|---------|----|----|---|----|-----|----|-------|--------|----|---|-----|
| 10 – Sony | 51 | | 78 | | | | | 2 | | | | | 4 | |
| 10 – C3 | 32 | | | 8 | | 3 | | 3 | 3 | | | | 5 | 2 |
| 10 – LG | 76 | | 16 | 15 | | 3 | 9 | 126 | 3 | | | | | 103 |
| 10 – X2 | 66 | 3 | 43 | | 91 | | 34 | 40 | | | 6 | 39 | 5 | 24 |
| 11 – Samsung | 23 | 13 | 17 | 50 | 30 | | | 31 | | | | | 5 | 135 |
| 11 – X2 | 37 | | 26 | 24 | 17 | | | 7 | | 4 | | | | 23 |
| 11 – Sony | | | | 5 | 2 | | 4 | 11 | | | | | | 15 |
| 11 – C3 | 7 | 4 | | | | | | | | 5 | | 16 | | 90 |
| 11 – LG | 81 | | 39 | 30 | 25 | | | 4 | | | | | | 43 |
| 12 – Sony | 2381 | 4 | 57 | 7 | | | | 3 | | 4 | | | | 35 |

Tabla 2. 3 Fragmentos de 5 segundos por cada clase

Después de realizar este proceso, se hace una selección de los fragmentos de audio que contienen solamente la señal de llanto del niño, puesto que existen segmentos que además del llanto contienen señales interferentes como por ejemplo, la voz de la madre

y/o otros adultos (personal médico y acompañantes), altavoces, alarmas. etc. Estas interferencias son consideradas como señales de ruido y por tanto los fragmentos que contienen estas señales no se tienen en cuenta para realizar el análisis de las características de llanto.

Para el procesamiento de las señales de llanto inicialmente se planteó realizar un esquema de filtraje alrededor de la frecuencia fundamental, sin embargo se descartó esta posibilidad, ya que los armónicos de la frecuencia fundamental contienen información importante de dicha señal y así mismo se podría eliminar información de los formantes de la señales de voz. Por esta razón el pre procesamiento se centró en la selección de los fragmentos de 5 segundos que contienen solamente el llanto del neonato.

Finalmente quedó una cantidad reducida de audios de cada clase estimada para cada uno de los recién nacidos como se evidencia en la tabla 2.4.

| | H | S | Capañal | I | A | G | Ga | Q | Hi | Calor | Pre RH | RH | E | LL |
|---------------------|----|---|---------|---|---|---|----|---|----|-------|--------|----|---|----|
| 10 – Sony | 5 | | 3 | | | | | | | | | | 1 | |
| 10 – C3 | 7 | | | 2 | | 3 | | 3 | | | 1 | 1 | 1 | |
| 10 – LG | 18 | | 2 | 2 | | 1 | 2 | 3 | | | | | | 9 |
| 10 – X2 | 8 | 1 | 7 | | 7 | | | 7 | | | 2 | 10 | | 5 |
| 11 – Samsung | 2 | 3 | | 1 | 4 | | | 3 | | | | | 1 | 8 |
| 11 – X2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 – Sony | | | | 2 | | | | 3 | | | | | | 1 |
| 11 – C3 | | 2 | | | | | | | | 3 | | 3 | | 6 |
| 11 – LG | 9 | | 6 | 2 | 6 | | | | | | | | | 6 |
| 12 – Sony | 10 | 2 | 4 | 5 | | | | 2 | | | | | | 3 |

Tabla 2. 4 Segmentos sin ruido

CAPITULO 3

SELECCIÓN DE CARÁCTERÍSTICAS

3.1 Selección de características

Debido a las propiedades acústicas de la voz existen características que son más relevantes y que contiene información importante para el análisis de las señales, de acuerdo a lo anterior, para la selección de características acústicas del llanto del recién nacido a término se debe tener en cuenta los siguientes tres criterios [56]:

- Se observa el potencial del parámetro acústico para indexar los cambios fisiológicos en la producción de la voz durante diferentes procesos afectivos.
- Se examina la frecuencia y el uso con el que se ha utilizado el parámetro en la literatura. esto de acuerdo a lo visto en el capítulo 1.
- Se determina el significado teórico de las características acústicas

Estos tres criterios ayudarán a determinar qué características acústicas son necesarias para el análisis de la señal de los llantos de los recién nacidos a término. Para la extracción de características se procede a utilizar un software libre llamado **openSMILE**. que es una herramienta de extracción de características y reconocimiento de patrones creada por Florian Eyben quien es CTO (Chief Technology Officer) y cofundador de la empresa alemana audEERING[57]. OpenSMILE fue creada principalmente para estudios relacionados con señales de audio pero al pasar el tiempo ha sido usada para múltiples proyectos donde se analizan diferentes tipos de señales que pertenecen a otras áreas como señales fisiológicas, visuales entre otros.

OpenSMILE se ha convertido en un punto de referencia muy importante sobre todo en los concursos de investigación de la INTERSPEECH, la conferencia más grande y completa del mundo sobre ciencia y tecnología de procesamiento del lenguaje. El software usa conjuntos de características de referencia (ver anexo B) que han sido creados para los concursos de la INTERSPEECH como:

- el IS09 en el Emotion Challenge de 2009
- el IS10 en el Paralinguistic Challenge del 2010
- el IS11 en el Speaker State Challenge del 2011
- el IS12 en el Speaker Trait Challenge del 2012
- el ComParE para el desafío Computational Paralinguistic Challenge del 2013 y 2014

Todos estos conjuntos de características tienen algo en común, ya que cuentan con un número muy alto de características (ver Anexo B), por esto, Florian Eyben y su equipo propusieron trabajar con un número reducido de características, basándose en la experiencia de los primeros conjuntos, decidieron tener solo en cuenta los descriptores de

bajo nivel (LLD por su siglas en ingles) que fueran los más importantes y los más completos en correspondencia con los criterios mencionados anteriormente. Por lo tanto el equipo de audEERING diseñó lo que se conoce como el modelo de parámetros acústicos mínimos de Ginebra (GeMAPS) [57], su versión extendida con coeficientes cepstrales (eGeMAPS) [40], además de un conjunto de características musicales estándar para reconocimiento de baile y género.

Para el análisis del audio, las señales contienen información importante incluyendo diferentes atributos como tonos de diferentes personas u objetos. No obstante, todos estos atributos cambian con el tiempo y se necesita encontrar una forma de estimarlos periódicamente, en segmentos cuasi estacionarios, en lugar de hacer un análisis total de toda la señal acústica, la cual no es estacionaria. Para esto existe un método que comúnmente se conoce como ventaneo, mediante el cual se toman ventanas en tiempos muy pequeños llamadas frames, a través de las cuales se puede asumir que las propiedades como por ejemplo el tono de la señal varían mínimamente o se mantienen constantes durante la longitud de la ventana, por lo general las longitudes de los frames suelen estar en el rango de 20 a 60 ms para análisis de voz y música.

3.1.1 Modelo para extracción de parámetros: Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS)

Este modelo fue creado por ingenieros, psicólogos y lingüistas y diseñado con el fin de tener una mejor interpretación de los resultados en términos del análisis de características relevantes con respecto a los conjuntos anteriormente mencionados como IS y ComParE [56].

Eyben y su equipo de trabajo proponen dos versiones del conjunto de características el GeMAPS y el eGeMAPS. ambos cuentan con los respectivos descriptores de bajo nivel pero la diferencia entre ellos es que el segundo contiene un pequeño grupo de descriptores cepstrales que permiten aumentar la precisión en el reconocimiento de características en relación con las emociones en comparación con los conjuntos que contiene el software y con el mismo GeMAPS [58]

Estos conjuntos minimalisticos cuentan con 18 LLD (Low Level Descriptors), los cuales se encuentran divididos en diferentes grupos de parámetros relacionados con la frecuencia, el espectro (balance), la energía y amplitud, y además que cuenta con 6 características temporales.

A estos 18 descriptores se le aplican 2 funciones (media aritmética y desviación estándar), obteniendo así 36 parámetros, a los cuales se les adiciona otros 16 parámetros que provienen de aplicar a la frecuencia fundamental y al loudness las siguientes 8 funciones: los percentiles 20, 50 y 80, el rango del percentil 20-80, la media aritmética del radio alfa, del índice de Hammarberg, de las pendientes entre 0-500Hz y 500-1500Hz y por último la media y la desviación estándar de las pendientes de la señal de subida y bajada dando 56 parámetros.

Ahora al el conjunto anterior se aumenta un conjunto de 6 características temporales dando un total de 62 descriptores de bajo nivel para este conjunto de Ginebra minimalístico de parámetros estándar.

GeMAPS no tiene ningún parámetro cepstral y comparado con los conjuntos previamente mencionados no cuenta con coeficientes delta de ninguna característica, por lo tanto a este conjunto minimalístico se le suman otros 7 descriptores cepstrales que son los primeros cuatro coeficientes cepstrales de Mel, la diferencia del flujo espectral entre dos frames (muestras de una tamaño definido) consecutivos, ancho de banda de los formantes 2-3. A estos nuevos parámetros al igual que los 18 anteriores se le calculan la media aritmética y la desviación estándar, obteniendo así otros 14 descriptores.

Además se incluye una media aritmética del flujo espectral en señales no vocalizadas y únicamente se obtiene la media y el coeficiente aritmético del flujo espectral y los MFCC 1-4 solo de las regiones con voz, así que dan 11 descriptores más y que por consiguiente se adicionarían al conjunto GeMAPS otros 26 parámetros, que dan como resultado el conjunto ampliado de parámetros mínimos acústicos de Ginebra (eGeMAPS) el cual contiene 88 parámetros (Tabla 3.1).

Para el desarrollo de este trabajo se decidió utilizar el conjunto extendido de parámetros., es decir eGeMAPS que cuenta con 23 parámetros principales, debido a que es un conjunto que no requiere mucho costo computacional comparado con los otros conjuntos de características, además este conjunto cuenta con características cepstrales que permiten una mejor interpretación de las emociones.

| Descriptor de bajo nivel | Cantidad |
|---|-----------------|
| Parámetros relacionados con la frecuencia | 6 |
| Tono (Frecuencia fundamental) | 1 |
| Jitter | 1 |
| Frecuencia de los formantes 1.2.3 (F1. F2. F3) | 3 |
| Ancho de banda de F1 | 1 |
| Parámetros relacionado con la Energía y Amplitud | 3 |
| Shimmer | 1 |
| Loudness | 1 |
| Relación armónico/Ruido (HNR) | 1 |
| Parámetros espectrales | 9 |
| Radio Alfa | 1 |
| Índice de Hammarberg | 1 |
| Pendiente espectral 0-500 Hz y 500-1500 Hz | 2 |
| Energía relativa de los formantes 1.2.3 | 3 |
| Diferencia de armónicos H1-H2 | 1 |
| Diferencia de armónicos H1-A3 | 1 |
| Parámetros cepstrales | 7 |
| MFCC 1-4 | 4 |
| Flujo espectral | 1 |
| Ancho de banda F2 y F3 | 2 |
| Total de descriptores | 23 |

Tabla 3. 1 Descriptores de bajo nivel eGeMAPS

3.1.1.1 Frecuencia fundamental (F0)

Se denomina frecuencia fundamental. a la máxima presión acústica de la onda sinusoidal con respecto a las restantes ondas que componen el sonido [59], su unidad de medida son los Hertz(Hz), también esta frecuencia se conoce como tono del sonido, en el cual se encuentra un conjunto de múltiples frecuencias armónicas. debido a esto muchos se los sonidos no tienen un frecuencia fundamental bien clara y definida [60].

La voz oscila entre 60 y 500 Hz. estos valores están determinados por el número de ciclos de “apertura-cierre” que se experimentan en los pliegues vocales[61]. Los valores de esta característica van variando de acuerdo al sexo de la persona. la edad[62] y el acento. La voz diariamente oscila entre el valor medio de la F0, en otras actividades esta frecuencia difiere y por lo general es más elevada. Los valores más frecuentes según Perdomo [59] son para la voz masculina de 125 Hz. para la voz femenina 250 Hz y para los niños 350 Hz. para [63] la frecuencia fundamental varia en unos rangos de 100 – 200 Hz y 150 – 300 Hz para los hombre y las mujeres respectivamente.

Para eGeMAPS la frecuencia fundamental se calcula en una escala de frecuencia de semitonos a partir de 27.5 Hz que corresponde al semitono 0, pero como el valor de 0 está reservado para los fotogramas no vocalizados, cada valor por debajo del semitono 1 se recorta al valor mínimo, F0 se calcula mediante el método SHS (Subharmonic Summation) planteado por Hermes en [64].

Como openSMILE fue diseñado principalmente para el procesamiento musical y voz. este software y el conjunto como tal eGeMAPS requiere de una escala de frecuencias alineadas con las notas musicales para el uso de algunos descriptores[40]. Por lo tanto han definido una escala de frecuencia de semitonos para la música la cual tiene 12 semitonos por octava. Así, la frecuencia lineal f del sonido por cada semitono $f(oct)$ se calcula de la siguiente manera:

$$f = f_{00} * 2^{\frac{f(oct)}{12}} \quad (5)$$

Donde f_{00} es la frecuencia en Hz de la primera nota de la octava es decir 27.5 Hz y $f(oct)$ corresponde al valor dado por el software, este cálculo se realiza debido a que se puede obtener un valor más certero de la frecuencia fundamental.

3.1.2 Formantes de frecuencia (F1, F2, F3)

Los formantes son los espectros armónicos de un sonido complejo [65]. Los formantes del sonido que se encuentran en la voz humana son de suma importancia, debido a que son componentes esenciales para entender con facilidad el habla. Los primeros formantes encontrados en cada fragmento de sonido, son aquellos que brindan más información sobre el individuo, puesto que son frecuencia de resonancias bajas que permiten construir un sistema de referencia absoluto del sonido, además se encargan de caracterizar y diferenciar los fonemas, especialmente los vocales. Estos formantes han sido usados en el contexto musical. en especial en la descripción de la voz del cantantes [66]. Por lo tanto son muy visibles en los espectros del habla como máximos envolventes.

No todos los formantes tienen la misma incidencia acústica. Los dos primeros son esenciales para la percepción del timbre. el tercer determinante aclaran el análisis del

sonido pero solo en determinados casos [61], el resto de los formantes depende de cada individuo y su lenguaje.

3.1.3 Armónicos (H1, H2, H3)

Todos los sonidos están compuestos por frecuencias que se producen a la par de la frecuencia fundamental, estas son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, los cuales aportan un carácter tímbrico a cada sonido [67]. Una señal de sonido se compone de una senoide en la frecuencia fundamental y en una serie de sinusoides en sus armónicos. parecido a la señal de ruido [40].

Las amplitudes de los armónicos de F0 contienen información valiosa sobre el estado del tracto vocal, además de dar conocimiento de otras características espectrales y cepstrales.

La diferencia de armónicos es el radio de energía entre dos o más armónicos, en relación con el primer armónico, es decir la frecuencia fundamental y la energía de otro u otros armónicos a analizar.

3.1.4 Fluctuación (Jitter)

Es la desviación de las longitudes de periodos de la frecuencia fundamental consecutivas individuales [56], esta variación se ve reflejada en el promedio del desvío de la F0, el cual es medido en microsegundos. Por lo tanto el jitter es una medida de la variabilidad de la frecuencia sin tener en cuenta los cambios de la misma [62]. Perdomo en [59] afirma que los valores bajos son considerados normales, para ello, hay que basarse en los cambios sistemáticos con respecto a la entonación o el acento, los cuales pueden generar confusión cuando se genera una variación. Esta medida provee información relativa de la manera en la que una persona usa su voz. El jitter se calcula para dos periodos de tono consecutivos de la siguiente manera:

$$J_{pp}(n') = |T_0(n') - T_0(n' - 1)| \quad \text{Para } n' > 1 \quad (6)$$

Dónde $T_0(n' - 1)$ la duración del primer periodo y $T_0(n')$ la longitud del segundo periodo.

Este parámetro y los valores relacionados a él son ampliamente usados en las investigaciones clínicas acerca de la voz [68], ya que es muy sensible a las variaciones entre periodos consecutivos

3.1.5 Brillo (Shimmer)

Es la diferencia de las amplitudes máximas de los periodos consecutivos de la frecuencia fundamental [40]. Es también conocida. como la variabilidad entre periodos consecutivos de la amplitud pico a pico de la onda de sonido analizada[69]. Las mediciones de esta característica sirven para cuantificar pequeños momentos de inestabilidad en la señal del llanto. Este valor se calcula como el promedio (de cada trama) de las diferencias de la amplitud pico relativa expresado en dB [61] y se expresa así:

$$S_{pp}(n') = |A(n') - A(n' - 1)| \quad (7)$$

Donde $A(n')$ es la diferencia entre el pico máximo y mínimo de la amplitud de la señal

3.1.6 Sonoridad (Loudness)

Es la estimación de la intensidad de la señal percibida desde un espectro auditivo [56]. también se utiliza como una alternativa perceptivamente relevante a la energía de la señal [70]. La sonoridad como tal no implica la velocidad a la cual el sonido viaja a través del aire, sino cuanta energía se almacena en el mismo.

3.1.7 Relación Armónicos/ Ruido (HNR)

Es la relación de la energía en los componentes armónicos con la energía en componentes similares al ruido (Eyben et al.. 2016). Esta relación se puede calcular de tal forma que no requiere un paso individual en el dominio del tiempo se basa en el ACF(Función de auto correlación) [40] y es la relación logarítmica de la frecuencia fundamental y la energía total, es expresada en dB y se indica así:

$$HNR_{acf.log} = 10 \log_{10} \left(\frac{ACF_{T_0}}{ACF_0 - ACF_{T_0}} \right) dB \quad (8)$$

Donde ACF_{T_0} es la amplitud del pico de auto correlación en el periodo fundamental y ACF_0 es el coeficiente 0 de ACF.

Ya que el HNR es una relación de energía se puede expresar mejor en una escala logarítmica en dB de la siguiente manera:

$$HNR_{wf.log} = 20 \log_{10}(HNR_{wf}) dB \quad (9)$$

$$HNR_{acf.log} = 10 \log_{10}(HNR_{acf}) dB \quad (10)$$

Esta relación proporciona una medida de la calidad de una señal determinada y depende tanto de la recibida como del ruido total[35]. El valor óptimo de esta relación es aquel en que la señal recibida puede considerarse sin defectos o con un porcentaje muy bajo de ellos[71].

3.1.8 Índice de Hammarberg

Es el índice de relación del pico de energía más fuerte en la región de 0 – 2 kHz al pico más fuerte de la región de 2-5 kHz (B. Hammarberg. Fritzell. Gauffin. Sundberg. & Wedin. 1980). Hammarberg definió un punto de giro estático fijo de 2kHz en el que las regiones de alta y baja frecuencia están separadas (Eyben et al.. 2016). Formalmente el índice de Hammarberg se define así:

$$(11)$$

$$\eta = \frac{\max_{m=1}^{m_{2k}} X(m)}{\max_{m=m_{2k}+1}^{m_{2k}} X(m)}$$

Donde $X(m)$ es el espectro de magnitud con intervalos $m = 1 - M$. y donde m_{2k} es el índice de intervalo espectral más alto donde $f \leq 2\text{kHz}$ sigue siendo cierto.

3.1.9 Coeficientes cepstrales de Mel

Como su nombre lo indica son características que se obtienen en el dominio cepstral. Los MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) se obtienen calculando la transformada inversa de Fourier del logaritmo natural de la magnitud del espectro en el dominio cepstral. Estos coeficientes son muy útiles en el ámbito del reconocimiento de la voz, usualmente a estos se le calcula tanto la primera como segunda derivada. las cuales dan una información temporal que permiten detallar la variación de la cada MFCC [73].

El análisis de las frecuencias de Mel, se basa en experimentos de percepción humana., puesto que se ha comprobado que el oído humano es más sensible y tiene mejor respuesta ante bajas frecuencias comparado con las de alta frecuencia. Por lo tanto para obtener los coeficientes han diseñado un banco de filtros que permite enfatizar las bajas frecuencias sobre las altas [74]. Las frecuencias de esta escala, son proporcionales al logaritmo de la frecuencia lineal, lo que demuestra la percepción del oído humano, ya que los sonidos que percibe el ser humano siguen una escala no lineal [75]. Los intervalos iguales en unidades Mel corresponden a intervalos iguales de paso y se calcula de la siguiente manera.

$$f_{mel} = 2595 \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right) \quad (12)$$

Donde f_{mel} es la afinación subjetiva en Mels correspondiente a f que es la frecuencia real en Hz.

Con base en lo anterior .el conjunto de bandas que usa [40], se calcula a partir de una magnitud de escala lineal o espectro de potencia utilizando filtros triangulares que son equidistante en la escala de frecuencia y con un 50% de solapamiento. El banco de filtros está diseñado típicamente para el rango de 20 Hz a 8000 Hz (para evitar que los componentes de DC).

Este conjunto de filtro se extrae de la expresión (10)[76], donde k es un punto de la FFT (Fast Transfer Function), m es el número de filtro, siendo $f(m)$ el bin correspondiente a la frecuencia central del filtro. Por lo tanto, cada filtro tiene su vector de ponderaciones de cada punto de la FFT

$$H_m(k) = \begin{cases} 0, & k < f(m-1) \\ \frac{k - f(m-1)}{f(m) - f(m-1)}, & f(m-1) \leq k \leq f(m) \\ \frac{f(m+1) - k}{f(m+1) - f(m)}, & f(m) \leq k \leq f(m+1) \\ 0, & k > f(m+1) \end{cases} \quad (13)$$

Para extraer los coeficientes, se aplica una transformación discreta de coseno tipo II (DCT- II) y se representa así:

$$C^{mel}(k) = \sqrt{\frac{2}{B}} \sum_{b=0}^{B-1} X_p^{(log.mel)}(b) \cos\left(\frac{\pi k}{B} \left(b + \frac{1}{2}\right)\right) \quad (14)$$

Por lo general $k = 12 \dots 16$, que es la cantidad de coeficientes que se obtienen para la mayoría de tareas del habla y música. La ventaja de estos coeficientes cepstrales es que están relacionados con la base ortogonal de la transformación DCT. Como último paso, estos coeficientes son filtrados de manera que se enfatizan en los coeficientes de orden más bajo [73]. Al final estos valores son aquellos que se conocen y se usan como MFCC

3.1.10 Flujo espectral

Esta característica da información acerca de la variación espectral que existe entre dos frames continuos. el aporte de este valor es diferenciar entre la música y los sonidos del entorno [77]. Representa una versión cuadrática y normalizada de la diferencia espectral simple. La idea en general es tratar cada espectro de corto tiempo $X^{(k)}(m)$ en tiempo discreto k y calcular la distancia entre dos espectros consecutivos [40]. Con los coeficientes generales de normalización μ_k , el flujo espectral se define:

$$S_{flux}^{(k)} = \sum_{m=m_l}^{m_u} \left(\frac{X^{(k)}(m)}{\mu_k} - \frac{X^{(k-1)}(m)}{\mu_{k-1}} \right)^2 \quad (15)$$

Los coeficientes de normalización μ_k y μ_{k-1} pueden tomar valores de uno, que corresponden a una normalización nula, o si bien pueden normalizarse por la norma L1 o L2 del vector del espectro en uno:

$$\mu_k^{(L1)} = \sum_{m=m_l}^{m_u} |X^{(k)}(m)| \quad (16)$$

$$\mu_k^{(L2)} = \sqrt{\sum_{m=m_l}^{m_u} (X^{(k)}(m))^2} \quad (17)$$

En este caso cuando se normaliza la norma L1 o L2, se habla de flujo espectral normalizado, sino es un flujo no normalizado. Este parámetro toma valores entre 0 y 1., siendo casi nulo cuando existe una gran similitud y viceversa

3.1.11 Radio Alfa

Al igual que el índice de Hammarberg, este valor se define como la relación entre la energía en la región de baja frecuencia y la región de alta frecuencia [78] particularmente es la relación entre la energía sumada de 50 a 1000 Hz y 1 a 5 kHz y calcula así:

$$\rho_\alpha = \frac{\sum_{m=1}^{m_{1k}} X(m)}{\sum_{m=m_{1k}+1}^M X(m)}. \quad (18)$$

Donde m_{1k} es el índice espectral más alto mientras $f \leq 1$ sigue siendo verdad. En estudios relacionados con el reconocimiento de emociones, esta característica se calcula a través de la representación logarítmica del espectro medio a largo plazo (LTAS) [78] según [40] la definición es adecuada para todo tipo de espectro y que la mejor representación espectral debe determinarse para cada caso.

3.1.12 Pendiente espectral

Describe el grado de decaimiento en la amplitud espectral. se obtiene de la regresión lineal y sirve la discriminación de segmentos con voz y sin voz [73]. El valor de esta pendiente se obtiene de la expresión (19), donde $a(k)$ es la amplitud del *bin* frecuencial k , $f(k)$ la frecuencia correspondiente al dicho bin y N conjunto de puntos donde se evalúa la pendiente[79]

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{a}(f) = slope * f + constante \\ slope = \frac{1}{\sum_k a(k)} \frac{N \sum_k f(k) * a(k) - \sum_k f(k) \sum_k a(k)}{\sum_k f^2(k) - (\sum_k f(k))^2} \end{array} \right. \quad (19)$$

La pendiente espectral anteriormente calculada tiene la magnitud unitaria/Hz. Por lo general, la pendiente espectral se calcula en toda la gama de frecuencias (0 - 8000 Hz) [80]. Sin embargo en [81] se sugiere calcular la pendiente en tres bandas diferentes (0-1 Hz, 1-5 Hz, 0-5 kHz), por tal motivo se usa un espectro de banda logarítmica que tiene un constante ancho de banda lineal de 400 Hz

3.2 EXTRACCION DE CARACTERISTICAS

3.2.1 Procesamiento de señales

La extracción de características se realizó con el software openSMILE con señales de audio de 5 segundos, por cada uno de estos audios se generan parámetros estadísticos obtenidos mediante el análisis de frames de duración de 20 ms o 60 ms de acuerdo al tipo de característica.

El ajuste de los frames calculados para cada característica se observa en la siguiente sección de configuración del software (Figura 3.1), donde se determina el tiempo y tipo de ventaneo escogido para las diferentes características.

```

GeMAPSv01a_core.lld.conf.inc: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

[gemapsv01a_win60:cwindower]
reader.dmLevel=gemapsv01a_frame60
writer.dmLevel=gemapsv01a_wing60
winFunc=gauss
gain=1.0
sigma=0.4

[gemapsv01a_fft60:cTransformFFT]
reader.dmLevel=gemapsv01a_wing60
writer.dmLevel=gemapsv01a_fftcG60
; for compatibility with 2.2.0 and older versions
zeroPadSymmetric = 0

[gemapsv01a_fftmp60:cFFTMagphase]
reader.dmLevel=gemapsv01a_fftcG60
writer.dmLevel=gemapsv01a_fftmagG60
\{\cm[bufferModeRbLagConf{../shared/BufferModeRbLag.c

```

a)

```

[componentInstances:cComponentManager]
instance[gemapsv01a_frame25].type=cFramer
instance[gemapsv01a_win25].type=cWindower
instance[gemapsv01a_fft25].type=cTransformFFT
instance[gemapsv01a_fftmp25].type=cFFTMagphase

[gemapsv01a_frame25:cFramer]
reader.dmLevel=wave
writer.dmLevel=gemapsv01a_frame25
\{\cm[bufferModeRbConf]}
frameSize = 0.020
frameStep = 0.010
frameCenterSpecial = left

[gemapsv01a_win25:cwindower]
reader.dmLevel=gemapsv01a_frame25
writer.dmLevel=gemapsv01a_winh25
winFunc=hamming

[gemapsv01a_fft25:cTransformFFT]
reader.dmLevel=gemapsv01a_winh25
writer.dmLevel=gemapsv01a_fftcH25
; for compatibility with 2.2.0 and older versions
zeroPadSymmetric = 0

[gemapsv01a_fftmp25:cFFTMagphase]
reader.dmLevel=gemapsv01a_fftcH25
writer.dmLevel=gemapsv01a_fftmagH25
;;; CHECK!!!!!!!
;writer.levelconf.growDyn = 1
;writer.levelconf.isRb = 0

```

b)

Figura 3. 1 Configuración de longitud de frames (60 y 20 ms). a) Frame de 60 ms b) Frame de 20 ms

Es importante aclarar que el software openSMILE al momento de hacer el cálculo estadístico de los parámetros no tiene en cuenta los frames cuya energía no sobrepasa un determinado nivel considerándolas como señales sordas es decir, los instantes donde hay ausencia de sonido, por lo tanto, los momentos sordos, no influyen en los valores estadísticos que se obtienen para cada uno de los descriptores.

A continuación se explicara el proceso que realiza el software openSMILE con el conjunto de características acústicas escogido. Lo primero que se realiza es la extracción de los parámetros a analizar de cada uno de los llantos ya escogidos al final del pre procesamiento de los mismos, este software cuenta con una interfaz simple (Figura 3.1) y se puede utilizar en cualquier sistema operativo (Linux. Windows. Apple. Android) que en este caso fue en Linux. En la página web de audEERING se encuentra el software y sus respectivas instrucciones de instalación en cualquiera de las plataformas en la que se puede reproducir

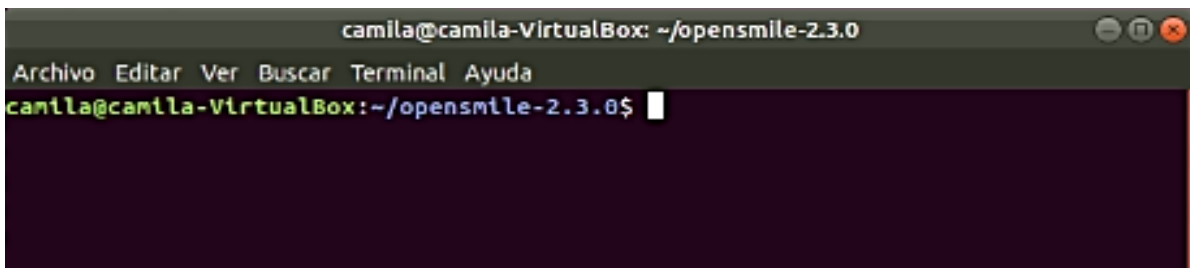


Figura 3. 2 Inicio del software

Este paso es sencillo ya que hay que especificar la ubicación del audio y la ubicación para guardar los datos de las características que se obtienen, en la figura 3.2 se parecía el funcionamiento de la línea de código necesaria para la extracciones de características

```

camlla@camlla-VirtualBox:~/opensmile-2.3.0$ ./SMILEExtract -C config/gemaps/eGeMAPSv01a.conf -I audios/11-Sony/Q_0.wav -csvou
(MSG) [2] in SMILEExtract : openSMILE starting!
(MSG) [2] in SMILEExtract : config file is: config/gemaps/eGeMAPSv01a.conf
(MSG) [2] in cComponentManager : successfully registered 96 component types.
(MSG) [2] in instance 'gemapsv01a_logSpectral' : logSpecFloor = -140.00 (specFloor = 1.000000e-14)
(MSG) [2] in instance 'egemapsv01a_logSpectral_flux' : logSpecFloor = -140.00 (specFloor = 1.000000e-14)
(MSG) [2] in instance 'lldhtksink' : No filename given, disabling this sink component.
(MSG) [2] in instance 'lldarffsink' : No filename given, disabling this sink component.
(MSG) [2] in instance 'arffsink' : No filename given, disabling this sink component.

```

Figura 3. 3 Terminal OpenSMILE

En la tabla 3.2 se explica cada componente de la línea de código que se necesita para que OpenSMILE calcule los parámetros y es la línea es la siguiente:

`./SMILEExtract -C config/gemaps/eGeMAPSv01a.conf -I audios/11-Sony/Q_0.wav -csvoutput MYCSV/11-Sony/eGMP.csv -lldcsvoutput MYCSV/11-Sony/Q_0.csv`

| CÓDIGO | SIGNIFICADO |
|--|--|
| <code>./SMILEExtract</code> | Pone en funcionamiento OpenSMILE |
| <code>-C config/gemaps/eGeMAPSv01a.conf</code> | Con esta parte se accede a la configuración del conjunto de parámetros en el código principal |
| <code>-I audios/11-Sony/Q_0.wav</code> | Parámetro de entrada en este caso se especifica la ubicación y el audio a analizar |
| <code>-csvoutput</code> | Extrae los 88 parámetros calculados para el audio de 5 segundos (datos estadísticos) |
| <code>MYCSV/11-Sony/eGMP.csv</code> | Ubicación y nombre del documento donde se almacena todos los parámetros de los llantos de 5 segundos. cada fila corresponde a un llanto diferentes |
| <code>-lldcsvoutput</code> | Extrae los 18 o 23 características de cada frame del audio de 5 segundos |
| <code>MYCSV/11-Sony/Q_0.csv</code> | Ubicación y nombre del documento donde se almacenan las características de cada frame de un solo llanto de 5 segundos |

Tabla 3. 2 Significado línea de código

De acuerdo a lo anterior el software permite tener un archivo, donde se obtiene los datos de los 23 descriptores principales de eGeMAPS dividido en frames, en la figura 3.4 se puede observar un ejemplo de los datos de algunos descriptores, el archivo toma el nombre del llanto que corresponde a una de las clases estimadas y con un índice que indica que hay varios llantos que pertenecen a la misma clase estimada, los valores de cada columna corresponden a los descriptores principales y las filas equivalen a una trama de audio (frame), cuya dimensión es de 1x 23, debido a las 23 características, en total estos archivos que se obtienen a través del software son finalmente matrices de características que consta de 23 columnas (características) y aproximadamente 496 frames.

OpenSMILE y eGeMAPS trabajan todas las muestras de audio de entrada en un rango de [-1.+1] escalado y almacena como números de coma flotante de 32 bits, para poder trabajar con valores normalizados independientemente de la profundidad de bits real del audio de entrada.

| alpha Ratio | hammarberg Index | slope 0-500 | slope 500 -1500 | spectral Flux | mfcc 1 | mfcc 2 | mfcc 3 | mfcc 4 | F0 semitone From 27.5Hz |
|-------------|------------------|-------------|-----------------|---------------|----------|----------|-----------|-----------|-------------------------|
| -23,51465 | 35,56202 | 0,07085221 | -0,0215635 | 0,00099815 | 27,42681 | 22,50722 | -5,111559 | -16,90136 | 39,17057 |
| -23,00661 | 35,20441 | 0,0558618 | -0,02063814 | 0,0030178 | 28,403 | 21,94475 | -4,323274 | -16,07903 | 39,23072 |
| -20,22559 | 31,05949 | 0,0500236 | -0,01247354 | 0,00584387 | 28,96847 | 16,04473 | -2,584702 | -12,08913 | 39,2778 |
| -17,36856 | 28,55872 | 0,05109158 | -0,00646167 | 0,00781644 | 28,52856 | 10,95034 | 0,652424 | -8,952865 | 39,23547 |
| -15,29651 | 25,48188 | 0,05596713 | -0,00378577 | 0,00879326 | 27,17704 | 6,58532 | 2,704273 | -9,792608 | 39,14505 |
| -15,07239 | 24,06619 | 0,04564384 | -0,01083605 | 0,00848415 | 26,22425 | 5,48691 | 4,746973 | -12,10116 | 39,05474 |
| -15,01872 | 22,93062 | 0,04064678 | -0,01394739 | 0,00873988 | 25,59172 | 5,818831 | 4,450829 | -16,56753 | 39,00225 |
| -14,9502 | 21,37119 | 0,03194675 | -0,01810921 | 0,00872455 | 25,48811 | 5,355607 | 6,456995 | -17,44622 | 38,97772 |
| -15,08739 | 22,49198 | 0,03656122 | -0,01997502 | 0,01038513 | 24,33478 | 6,75898 | 6,908835 | -22,67007 | 38,93949 |
| -15,65886 | 22,37029 | 0,04386894 | -0,02561538 | 0,01139082 | 23,55271 | 7,943504 | 7,9697 | -24,13801 | 38,87892 |
| -15,7184 | 23,59917 | 0,06639972 | -0,0255833 | 0,01307025 | 22,48775 | 5,858177 | 7,36202 | -29,17842 | 38,81682 |
| -16,91687 | 24,41614 | 0,07537064 | -0,03085115 | 0,01390518 | 23,20331 | 7,842862 | 7,597708 | -28,66034 | 38,74218 |
| -17,38972 | 24,97402 | 0,08567759 | -0,02815756 | 0,01377751 | 23,38721 | 8,270665 | 7,226944 | -29,88224 | 38,65205 |
| -18,47401 | 24,90483 | 0,07660843 | -0,03003067 | 0,01393977 | 23,76605 | 13,49486 | 9,171474 | -28,12492 | 38,56309 |
| -18,17245 | 24,35938 | 0,06701566 | -0,02591657 | 0,01378213 | 23,28094 | 13,71525 | 10,17232 | -28,01034 | 38,50671 |

Figura 3. 4 Frames de un llanto

Los parámetros como la frecuencia fundamental, las diferencias armónicas, la relación armónico-ruido se hace un ventaneo con frames de 60 ms y un solapamiento de ventanas de 10 ms, los frames de 60 ms se multiplican por una ventana Gaussiana con $\sigma = 0.4.$, esto se hace antes de transformarlas al dominio de frecuencia con la FFT (Fast Transfer Function por sus siglas en inglés). Tanto el jitter como el shimmer que se calculan en el dominio del tiempo no le aplican ningún tipo de ventaneo. La sonoridad (Loudness), la pendiente espectral, los formantes, los armónicos, el índice de Hammarberg y el radio alfa les aplican ventanas de Hamming de 20 ms y con un solapamiento de 10 ms.

Cabe aclarar que el uso de diferentes tamaños de muestra es porque las características lo requieren, por ejemplo las características que se encuentran relacionadas con el tono requieren tamaños de frames mas grandes porque estos no pueden determinarse de forma fiable a partir de ventanas cortas, en cambio otras características se calculan con frames más cortos para proporcionar una mayor resolución temporal.

Los Coeficientes Cepstrales de Frecuencias de Mel (MFCC) usados en este conjunto, no se normalizan en un rango de $[-1.+1]$ escalado como los demás descriptores sino que se usa un rango de un entero de 16 bits, además se calculan a partir de un espectro de 26 bandas de potencia de Mel (20-8000 Hz) y con la norma $L=22$ para hacer el levantamiento de los coeficientes.

3.2.2 Influencia de características

De acuerdo a la estimación de clases de llanto, las cuales han sido emitidas a partir de un análisis subjetivo de personal médico y madres, se determina la influencia de cada una de

las 23 características en relación a los diferentes tipos de llantos generados por cada recién nacido mediante la función **rankfeature** de Matlab de la siguiente forma:

Se seleccionan los archivos con la información generada por las 23 características en cada una de las frames obtenidas a través de los archivos de audio de 5 segundos que pertenecen a diferentes clases estimadas de los 10 niños escogidos.

La función **rankfeature** está definida por:

$$[IDX] = \text{rankfeature} (X, \text{Group} \dots \text{'NumberOfIndices'}. N\dots) \quad (20)$$

Esta función requiere como parámetros de entrada: la matriz X que corresponde a los valores de todos los frames de dos diferentes clases estimadas. Group que es el vector que permite diferenciar que elementos pertenecen a una clase estimada u otra, el número de índices, es decir N corresponde a la cantidad de características a observar, en la tabla 3.3 se etiqueta la característica de acuerdo a un número.

| Característica | Etiqueta |
|--------------------------|----------|
| Loudness | 1 |
| alpha Ratio | 2 |
| hammarberg Index | 3 |
| slope 0-500 | 4 |
| slope 500-1500 | 5 |
| spectral Flux | 6 |
| mfcc 1 | 7 |
| mfcc 2 | 8 |
| mfcc 3 | 9 |
| mfcc 4 | 10 |
| F0 semitone From 27.5 Hz | 11 |
| Jitter Local | 12 |
| Shimmer Local dB | 13 |
| HNR dB ACF | 14 |
| log Rel F0-H1-H2 | 15 |
| log Rel F0-H1-A3 | 16 |
| F1 frequency | 17 |
| F1 bandwidth | 18 |
| F1 amplitude Log Rel F0 | 19 |
| F2 frequency | 20 |
| F2 amplitude Log Rel F0 | 21 |
| F3 frequency | 22 |
| F3 amplitude Log Rel F0 | 23 |

Tabla 3. 3 Vector de características

Como la información de las característica emitidas por openSMILE (.csv) se debe convertir el formato para que sea compatible con Matlab (.xls. .xlsx. etc...).

La función rankfeature en este estudio se aplicó por parejas de clases estimadas diferentes para mejor manejo e interpretación de los resultados, así que inicialmente se indican las clases a analizar aquí Matlab lee los archivos que contienen las características por cada frame, cada archivo corresponde a un episodio de llanto el cual pertenece a una de las diferentes clases estimadas para cada neonato.

De acuerdo a la tabla 2.4 el niño 10 - Sony tiene 3 clases estimadas diferentes (Hambre. Capañal y Enojo), el niño 10 - C3 cuenta con 7 clases estimadas (Hambre. Incomodidad,

Grito, Quejido, PreRH, Examen RH. Enojo), el neonato 10 – LG tiene también 7 clases estimadas (Hambre, Capañal, Incomodidad, Grito, Gases, Quejido, Llanto), el recién nacido 10 – X2 cuenta con 8 clases estimadas (Hambre. sueño. Cambio de pañal. Amae. Quejido. Pre RH. Examen RH. Llanto) el niño 11 – Samsung cuenta también con 7 clases estimadas (Hambre, Sueño, Incomodidad. Amae, Quejido, Enojo, Llanto), el neonato 11 – X2 tiene 6 clases estimadas (Hambre, Cambio de pañal, Incomodidad, Amae, Quejido, Calor), el recién nacido 11 – Sony cuenta con 3 clases (Sueño. Quejido. Llanto), el neonato 11 – C3 tiene 4 clases (Sueño. Calor. Examen RH. Llanto), el niño 11 – LG cuenta con 5 clases (Hambre, Cambio de pañal, Incomodidad, Amae, Llanto) y por último el recién nacido 12 – Sony tiene 6 clases estimadas (Hambre. sueño. Cambio de pañal. Incomodidad. Quejido. Llanto).

Por ejemplo, mediante la función se realiza la comparación de la clase estimada Hambre con la clase estimada grito, se combinan los llantos de ambas clases estimadas para obtener una sola matriz de episodios de llantos (X), luego con el vector de identificación de clase estimada (C) que corresponde al vector Group de la función, este vector columna debe tener la misma longitud de la matriz X. Este vector se genera para indicar qué datos de la matriz X corresponden a la clase estimada hambre y qué datos corresponden a la clase grito, por lo tanto la mitad de los datos del vector toman el valor de 0 lo que significa que los primeros datos pertenecen a la misma clase y que por el contrario la otra mitad de datos que tienen valor igual a 1 corresponden a la otra clase.

Ya teniendo la matriz X y el vector columna C. se pasan estos datos a la función y esta da como resultado un vector Z de dimensiones 1x23 donde organiza las 23 características que el conjunto de eGeMAPS tiene y coloca en las primeras posiciones las que más se destacan entre las posibles clases que se escogen para analizar.

Este procedimiento se realizó comparando cada una de las clases estimadas con las otras que tiene cada recién nacido, como se podrá observar habrá clases estimadas que tienen menos vectores esto es debido a que los cálculos se han hecho antes con otras clase estimadas y no es necesario repetirlos el procedimiento.

Se debe tener en cuenta que cada clase estimada cuenta con una cantidad de llantos a los cuales se les analiza el vector Z por parejas de la siguiente manera y a cada uno de los recién nacidos escogidos:

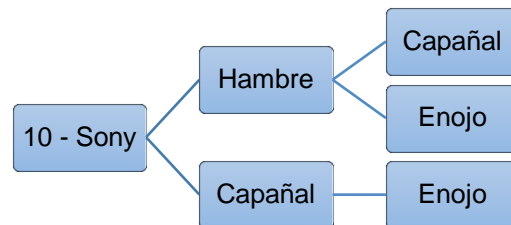


Figura 3. 5 Parejas de clases estimadas neonato 10 – Sony

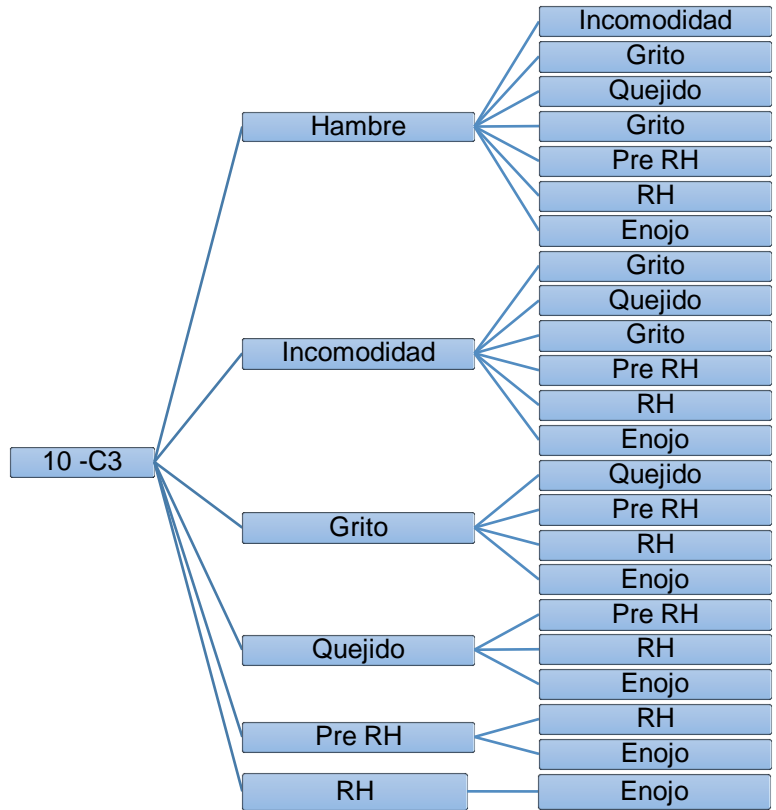


Figura 3. 6 Parejas de clases estimadas neonato 10 - C3

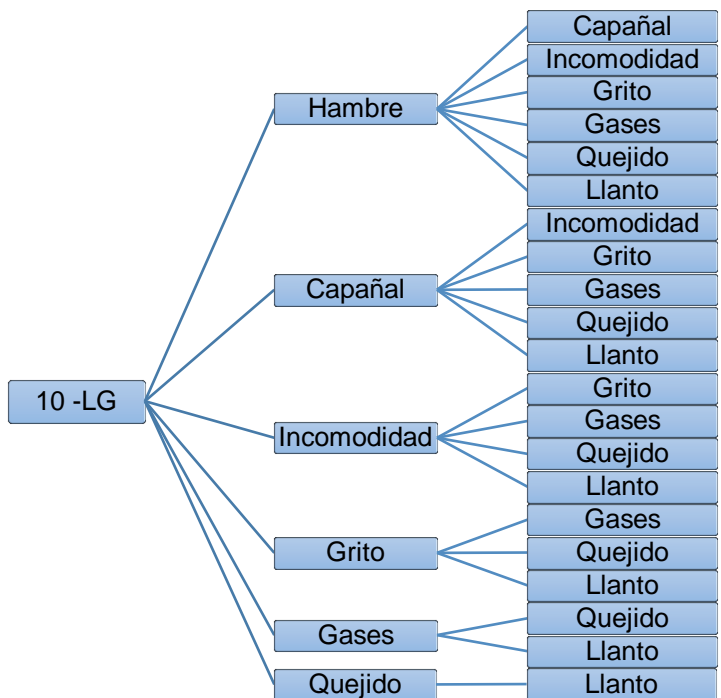


Figura 3. 7 Parejas de clases estimadas neonato 10 – LG

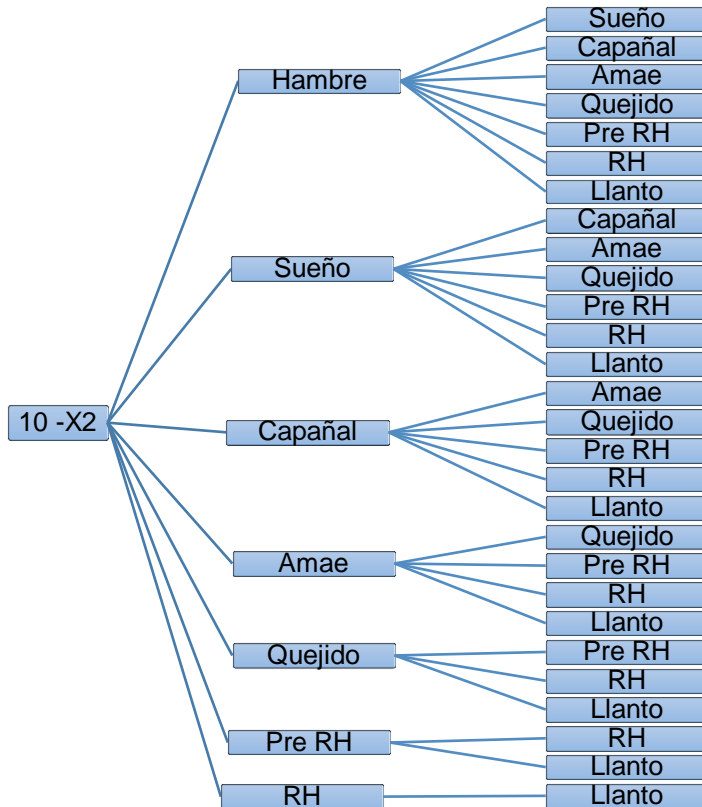


Figura 3. 8 Parejas de clases estimadas neonato 10 - X2

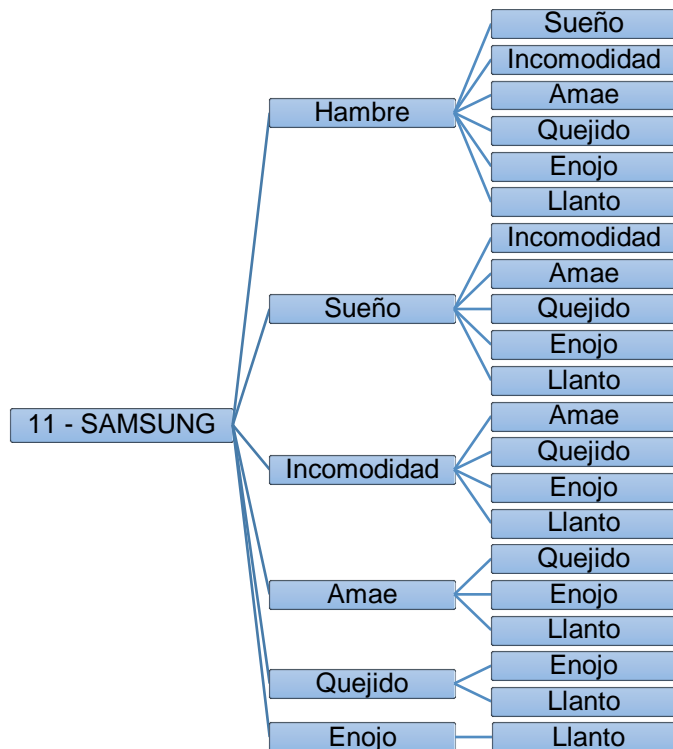


Figura 3. 9 Parejas de clases estimadas neonato 11 – Samsung

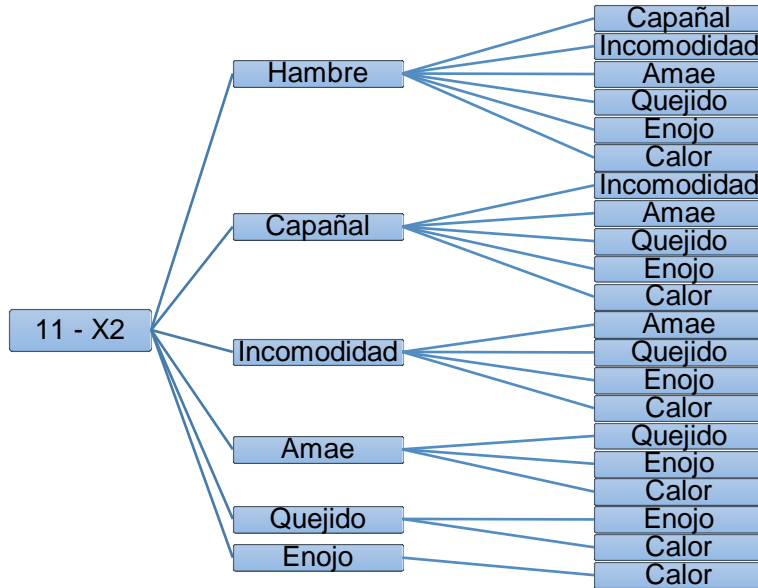


Figura 3. 10 Parejas de clases estimadas neonato 11 - X2

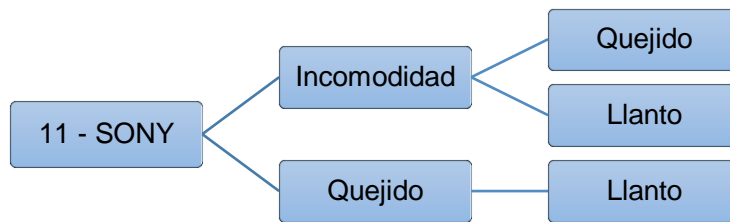


Figura 3. 11 Parejas de clases estimadas neonato 11 – Sony

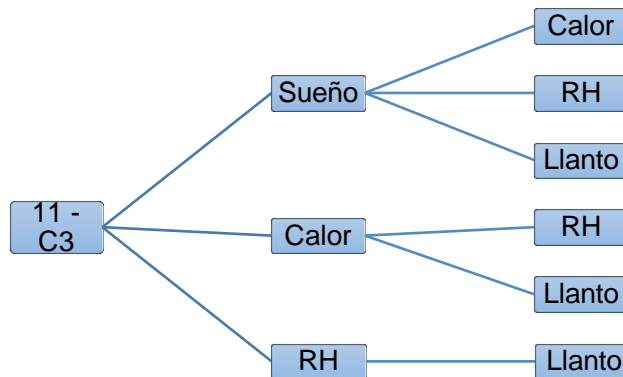


Figura 3. 12 Parejas de clases estimadas neonato 11 - C3

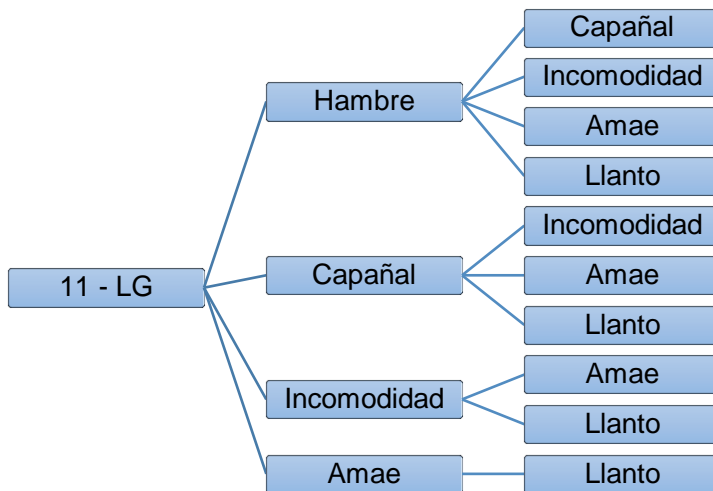


Figura 3. 13 Pares de clases estimadas neonato 11 – LG

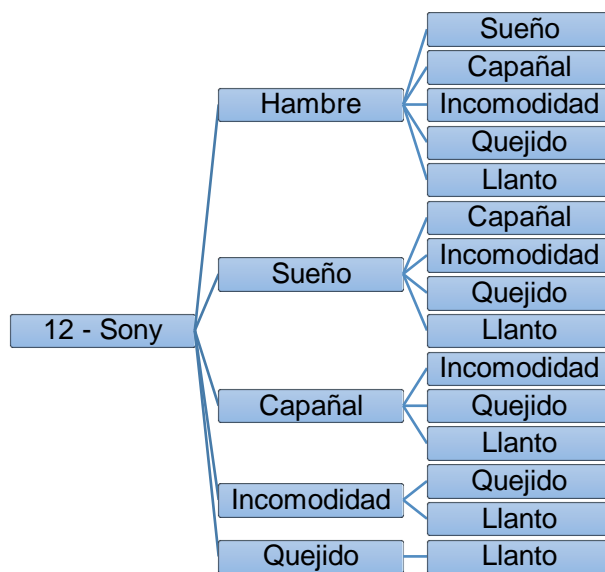


Figura 3. 14 Pares de clases estimadas neonato 12 – Sony

Por ejemplo en la tabla 3.4 se observará como la clase G_0 (Grito) se relaciona con respecto a las otras clases que tiene el recién nacido (10 – C3), el procedimiento es el mismo para todas las clases estimadas y para todos los 10 neonatos. (Anexo C)

Como por ejemplo en la primera columna se compara los episodios G_0 y H3_0 indicando el vector Z, donde la característica 9 (mfcc 3) que ocupa la primera posición es la característica que más influye entre estos dos llantos, la característica 3 (Índice de Hammarberg) es la segunda posición, la característica 7 (mfcc 1) en tercera posición, en cuarta posición la característica 2 (radio Alfa), en la quinta posición esta la característica 16 (Rel log F0-H1-A3), en sexta posición la característica 5 (pendiente espectral 500-1500

Hz), en séptima posición la característica 8 (mfcc 2), en la octava posición la característica 4 (pendiente espectral 0-500 Hz), en la novena posición la característica 10 (mfcc 4), en la posición diez la característica 12 (Jitter), en la posición once la característica 22 (frecuencia F3), en la posición doce la característica 6 (flujo espectral), en la posición trece la característica 15 (log Rel F0-H1-H2), en la posición catorce la característica 19 (F1 amplitud Log Rel F0), en la posición quince la característica 17(frecuencia f1), en la posición dieciséis la característica 1 (Loudness), en la posición diecisiete la característica 13 (shimmer), en la posición dieciocho la característica 21 (F2 amplitud Log Rel F0), en la posición diecinueve la característica 11 (Frecuencia Fundamental), en la posición veinte la característica 20 (frecuencia F2), en la posición veintiuno la característica 18 (ancho de banda F1), en la posición veintidós la característica 14 (HNR) y en la última posición la característica 23 (F3 amplitud Log Rel F0), evidenciando que en las primeras posiciones se ubican las características más importantes entre los diferentes llantos.

| G_0 VS H3_0 | G_0 VS H5_1 | G_0 VS H5_2 | G_0 VS H5_3 | G_0 VS H6_1 | G_0 VS H7_2 | G_0 VS H7_3 | G_0 VS I2_0 | G_0 VS I2_1 | G_0 VS NoL_2 | G_0 VS Q1_0 | G_0 VS Q1_1 |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 9 | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 9 | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 3 | 9 | 7 | 3 | 2 | 3 | 5 | 9 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 7 | 16 | 2 | 2 | 7 | 2 | 3 | 10 | 10 | 2 | 7 | 16 |
| 2 | 7 | 8 | 7 | 9 | 7 | 7 | 16 | 16 | 7 | 16 | 2 |
| 16 | 15 | 9 | 16 | 10 | 16 | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 | 7 |
| 5 | 10 | 10 | 5 | 16 | 1 | 16 | 5 | 8 | 16 | 5 | 15 |
| 8 | 2 | 1 | 1 | 13 | 6 | 6 | 6 | 15 | 15 | 6 | 6 |
| 4 | 5 | 16 | 10 | 8 | 5 | 1 | 8 | 7 | 10 | 1 | 1 |
| 10 | 6 | 23 | 6 | 23 | 17 | 17 | 4 | 6 | 6 | 12 | 17 |
| 12 | 1 | 11 | 12 | 18 | 12 | 20 | 17 | 2 | 1 | 20 | 23 |
| 22 | 8 | 6 | 17 | 11 | 10 | 23 | 12 | 13 | 17 | 22 | 11 |
| 6 | 4 | 21 | 20 | 21 | 20 | 12 | 13 | 14 | 12 | 18 | 5 |
| 15 | 12 | 19 | 22 | 19 | 8 | 14 | 7 | 4 | 8 | 10 | 21 |
| 19 | 22 | 14 | 14 | 20 | 19 | 11 | 14 | 17 | 23 | 8 | 14 |
| 17 | 17 | 5 | 23 | 15 | 21 | 21 | 11 | 12 | 14 | 13 | 19 |
| 1 | 20 | 15 | 4 | 22 | 13 | 19 | 21 | 22 | 11 | 15 | 10 |
| 13 | 18 | 13 | 15 | 14 | 14 | 4 | 19 | 18 | 21 | 4 | 13 |
| 21 | 13 | 18 | 13 | 12 | 15 | 10 | 18 | 5 | 22 | 14 | 22 |
| 11 | 19 | 20 | 18 | 5 | 22 | 15 | 20 | 20 | 18 | 23 | 12 |
| 20 | 14 | 22 | 19 | 6 | 4 | 18 | 22 | 21 | 4 | 17 | 8 |
| 18 | 21 | 17 | 8 | 1 | 18 | 8 | 23 | 19 | 19 | 21 | 20 |
| 14 | 23 | 12 | 11 | 4 | 11 | 22 | 15 | 11 | 13 | 19 | 4 |
| 23 | 11 | 4 | 21 | 17 | 23 | 13 | 2 | 23 | 20 | 11 | 18 |

Tabla 3. 4 Vectores Z entre de clases neonato 10 – C3

Para cada una de estas parejas se obtiene el vector Z de 23 posiciones las cuales contienen las 23 características principales del conjunto eGeMAPS.

Como se pudo observar se obtienen varios vectores, por lo que se tiene que unificar estos valores de Z, así que se procede a contar que características se repiten más en cada

posición de todos los vectores calculados. Por ejemplo en la tabla 3.5 se puede apreciar que en la posición 1 la característica 1 (Loudness) se repite doce veces, la característica 2 (radio alfa) se repite cinco veces, la característica 3 (índice de Hammarberg) se repite doce veces, las características 4 (pendiente 0-500Hz), 6(flujos espectral) y 19 (Log rel amplitud F0-F1)se solo están una vez, la característica 5 (pendiente espectral 500-1500 Hz) se repite diez veces, la característica 7 (mfcc 1) se repite dos veces, la característica 8 (mfcc 2) se repite siete veces, la característica 9 (mfcc 3) se repite veinte veces, la característica 10 (mfcc 4) se repite 8 veces y las demás características no tienen ninguna aparición en esta posición 1, por lo tanto para esta posición 1 se escoge la característica 9 que es la que más se repite, este mismo procedimiento se hace para cada una de las filas de la tabla, en el anexo C se puede ver lo mismo para todos los niños escogidos.

Además se podrá observar qué característica es la que más se repite en cada posición en un cuadro verde, en azul se encontrará la segunda característica que más se repite y en un cuadro naranja la tercera característica que más se repite.

Para determinar el vector único Z se tiene en cuenta las 3 características que más se repiten en cada posición, puesto que en algunas ocasiones la misma característica es la que más repeticiones tiene en diferentes posiciones, en ese caso la característica que le siga en cantidad de repeticiones tiene a ocupar dicha posición

| Características Principales | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|-----------------------------|----|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Posición 1 | 12 | 5 | 12 | 1 | 10 | 1 | 2 | 7 | 20 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Posición 2 | 4 | 8 | 16 | 3 | 9 | 6 | 3 | 5 | 9 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Posición 3 | 6 | 16 | 8 | 5 | 6 | 3 | 13 | 2 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| Posición 4 | 4 | 15 | 4 | 2 | 4 | 3 | 12 | 4 | 10 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| Posición 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 8 | 8 | 6 | 3 | 6 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 12 | 0 | 1 | 3 | 1 | 6 | 0 | 3 |
| Posición 6 | 7 | 2 | 8 | 3 | 7 | 2 | 8 | 3 | 0 | 5 | 2 | 1 | 2 | 0 | 5 | 11 | 0 | 0 | 6 | 0 | 3 | 0 | 4 |
| Posición 7 | 5 | 4 | 0 | 6 | 2 | 11 | 4 | 4 | 7 | 2 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 0 | 3 | 6 | 0 | 4 | 1 | 6 |
| Posición 8 | 11 | 1 | 3 | 7 | 2 | 6 | 3 | 5 | 1 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 5 | 1 | 2 | 7 | 1 | 7 | 1 | 4 |
| Posición 9 | 2 | 1 | 4 | 7 | 4 | 8 | 1 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 1 | 4 | 4 | 5 | 4 | 1 | 5 | 2 | 3 | 3 | 6 |
| Posición 10 | 4 | 2 | 2 | 5 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 4 | 8 | 5 | 6 | 6 | 4 | 4 | 1 | 7 | 2 | 3 | 2 | 0 | 5 |
| Posición 11 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 8 | 6 | 7 | 7 | 0 | 2 | 5 | 1 | 6 | 4 | 3 | 4 | 7 |
| Posición 12 | 0 | 0 | 1 | 6 | 3 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 | 6 | 4 | 7 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 6 | 3 | 4 |
| Posición 13 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 6 | 10 | 5 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| Posición 14 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 7 | 5 | 8 | 7 | 1 | 2 | 5 | 5 | 5 | 6 | 1 | 5 |
| Posición 15 | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 0 | 2 | 6 | 1 | 0 | 3 | 7 | 9 | 6 | 2 | 1 | 7 | 1 | 1 | 8 | 6 | 6 | 5 |
| Posición 16 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 8 | 1 | 6 | 8 | 5 | 1 |
| Posición 17 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 4 | 1 | 2 | 0 | 4 | 3 | 7 | 8 | 4 | 3 | 2 | 7 | 5 | 1 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| Posición 18 | 1 | 4 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 6 | 7 | 5 | 4 | 4 | 3 | 7 | 6 | 3 | 8 | 1 | 6 | 2 |
| Posición 19 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 4 | 6 | 3 | 3 | 4 | 0 | 8 | 6 | 5 | 10 | 3 | 8 | 6 |
| Posición 20 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 5 | 7 | 2 | 7 | 1 |
| Posición 21 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 7 | 2 | 7 | 6 | 6 | 5 | 3 | 5 | 1 |
| Posición 22 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 6 | 5 | 4 | 4 | 7 | 4 | 7 | 5 | 2 | 3 | 1 | 9 | 1 |
| Posición 23 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 | 3 | 6 | 1 | 5 | 7 | 4 | 2 | 1 | 10 | 5 |

Tabla 3. 5. Repeticiones de características neonato 10 – C3

En la tabla 3.6 se puede mirar los vectores que se obtienen organizando las características de acuerdo a las veces que se repiten basándose en el procedimiento hecho en la tabla anterior, donde los números en color verde corresponden a la

característica que más se repite, en azul la que continua en cantidad de repeticiones y en naranja la característica que sigue en cantidad de repeticiones, finalmente en color rojo el vector único Z, en el cual se organizan las 23 características observando cuales son las características principales que se obtienen por cada niño escogido

| Posición | Característica parcial | | | | | | | | | | Vector único | |
|----------|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|
| 1 | 9 | | 1 | 3 | | 5 | | | | | | 9 |
| 2 | 3 | | 10 | | | 5 | 9 | | | | | 3 |
| 3 | 2 | | 7 | | | 3 | | | | | | 2 |
| 4 | 2 | | 7 | | | 9 | | | | | | 7 |
| 5 | 16 | | 5 | 6 | | 7 | 9 | 21 | | | | 16 |
| 6 | 16 | | 3 | 7 | | 1 | 5 | | | | | 5 |
| 7 | 6 | | 9 | | | 4 | 19 | | | | | 6 |
| 8 | 1 | | 4 | 19 | 21 | 6 | | | | | | 1 |
| 9 | 6 | | 4 | | | 23 | | | | | | 4 |
| 10 | 11 | | 18 | | | 13 | 14 | | | | | 11 |
| 11 | 11 | | 13 | 14 | 23 | 12 | 19 | | | | | 23 |
| 12 | 13 | | 4 | 11 | 21 | 14 | 15 | 18 | 20 | | | 13 |
| 13 | 13 | | 12 | 22 | | 14 | 15 | 19 | 20 | 21 | 23 | 12 |
| 14 | 14 | | 12 | 15 | | 21 | | | | | | 14 |
| 15 | 13 | | 20 | | | 12 | 17 | | | | | 20 |
| 16 | 18 | 21 | 20 | | | 11 | 15 | 17 | 22 | | | 18 |
| 17 | 13 | | 12 | 17 | | 18 | 21 | | | | | 21 |
| 18 | 20 | | 12 | 17 | | 18 | 22 | | | | | 10 |
| 19 | 20 | | 17 | 22 | | 18 | 23 | | | | | 17 |
| 20 | 20 | 22 | 14 | 17 | | 18 | 19 | | | | | 19 |
| 21 | 15 | 17 | 18 | 19 | 8 | 20 | 22 | | | | | 8 |
| 22 | 22 | | 15 | 17 | | 11 | | | | | | 22 |
| 23 | 22 | | 18 | | | 15 | | | | | | 15 |

Tabla 3. 6 Vector único neonato 10 – C3

En este caso para el niño 10 – C3 las características que más se repiten en las primeras cuatro posiciones son la 9 (mfcc 3), la 3 (Índice de Hammarberg), la 2 (radio alfa) y la 7 (mfcc1).

Finalmente después del análisis anterior se obtiene el vector único de identificación por cada recién nacido (ver tabla 3.7) donde se determina cuáles son las características que más predominan en cada neonato de acuerdo a los llantos que presente en el transcurso de la grabación, con esta tabla se tiene que las características que más se destacan en la primeras seis posiciones son el mfcc1, el índice de hammarberg, el radio alfa, el mfcc 1, la relación log F0-H1-A3 y el mfcc 3

| 10 – C3 | 10 – LG | 10 – X2 | 11 – C3 | 10 – Sony | 12 - Sony | 11 – X2 | 11 – LG | 11 – Sony | 11 – Samsung |
|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|---------------------|
| 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 7 | 2 | 7 | 5 | 1 |
| 3 | 3 | 2 | 3 | 7 | 3 | 7 | 3 | 9 | 9 |
| 2 | 7 | 6 | 7 | 15 | 2 | 3 | 5 | 1 | 10 |
| 7 | 2 | 10 | 2 | 3 | 9 | 8 | 2 | 6 | 3 |
| 16 | 16 | 7 | 20 | 10 | 16 | 9 | 9 | 16 | 14 |
| 5 | 8 | 1 | 1 | 15 | 1 | 4 | 14 | 21 | 6 |
| 6 | 4 | 3 | 11 | 4 | 6 | 16 | 6 | 23 | 19 |
| 1 | 14 | 16 | 6 | 19 | 8 | 6 | 18 | 19 | 11 |
| 4 | 4 | 8 | 19 | 11 | 10 | 1 | 16 | 15 | 16 |
| 11 | 21 | 19 | 21 | 21 | 13 | 5 | 20 | 11 | 23 |
| 23 | 11 | 21 | 23 | 17 | 23 | 14 | 17 | 2 | 21 |
| 13 | 18 | 11 | 5 | 22 | 21 | 15 | 13 | 10 | 8 |
| 12 | 23 | 18 | 12 | 16 | 20 | 11 | 11 | 14 | 13 |
| 14 | 17 | 12 | 13 | 22 | 19 | 13 | 12 | 13 | 7 |
| 20 | 13 | 14 | 22 | 20 | 11 | 10 | 22 | 8 | 13 |
| 18 | 19 | 23 | 18 | 13 | 4 | 19 | 1 | 12 | 5 |
| 21 | 22 | 22 | 15 | 18 | 18 | 21 | 4 | 20 | 12 |
| 10 | 12 | 20 | 17 | 8 | 15 | 23 | 23 | 18 | 18 |
| 17 | 1 | 17 | 4 | 6 | 17 | 17 | 15 | 4 | 20 |
| 19 | 5 | 13 | 21 | 12 | 5 | 20 | 21 | 3 | 22 |
| 8 | 10 | 15 | 14 | 19 | 22 | 18 | 8 | 22 | 15 |
| 22 | 15 | 4 | 10 | 12 | 12 | 22 | 19 | 7 | 2 |
| 15 | 6 | 5 | 8 | 14 | 14 | 12 | 10 | 17 | 4 |

Tabla 3. 7 Vector único Z por cada recién nacido

CAPITULO 4

CORRELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL LLANTO

En este capítulo se hablará sobre la correlación entre los llantos de los recién nacidos, se observará que tan parecido o no son entre sí y que tan variable es un llanto de otro evaluando los valores de sus características.

La correlación permite determinar qué tan relacionada está una variable con otra pero esto no quiere decir que haya dependencia entre dichas variables, pero si no hay dependencia entre las variables se puede asegurar que habrá correlación entre ellas.

Las correlaciones que se van a calcular en dicha sección corresponden a la de Pearson y a la de Spearman entre las características acústicas escogidas que pertenezcan o no a la misma clase estimada.

4.1 Correlación

Un coeficiente de correlación permite establecer el grado de relación de una variable con respecto a otra, esta relación puede darse de dos formas: a medida que aumenta el valor de una variable también aumenta el valor de la otra, o que a medida que el valor de una variable aumenta la otra disminuye o viceversa por lo tanto el cambio de una variable se asocia con otra ya sea de manera lineal o no lineal. [82]. Existen varios tipos de correlación de variables, pero en este proyecto nos centraremos en los 2 que son los más usados: el coeficiente de Pearson y el coeficiente de Spearman.

Correlación de Pearson

Este coeficiente permite medir la fuerza y la dirección de la asociación de dos variables cuantitativas aleatorias con una distribución normal, es un coeficiente paramétrico lo que quiere decir que es necesario que la distribución de la muestra sea real. es decir que haya normalidad [83]. El valor del coeficiente se calcula de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (21)$$

Donde r es el coeficiente de correlación entre dos variables x y y . las cuales son vectores de la misma longitud.

Correlación de Spearman

Al igual que el coeficiente de Pearson. este valor de correlación muestra la asociación entre variables pero tiene la diferencia que permite obtener un coeficiente de correlación

entre variables que no se comportan normalmente y son conocidas como ordinales (Díaz et al., 2014). Pardo en [84] afirma que este coeficiente es el mismo coeficiente de Pearson pero aplicado luego de transformar los valores originales de las variables en rangos. Este coeficiente se calcula así:

$$r_s = 1 - \frac{6 * \sum di^2}{N^3 - N} \quad (22)$$

Donde el r_s es el coeficiente de correlación di corresponde a la diferencia de las variables y N son la cantidad de muestras [85].

Por lo general el interpretar los valores de las variables no es sencillo y comparar los resultados que se tengan con otros estudios es un poco complejo, por eso para facilitar la interpretación se utiliza comúnmente unos rangos donde se estima que tipo de correlación se tiene entre las variables. Para ambos coeficientes su valor oscila entre -1 y +1 [86].

En tabla 4.1 se muestran los rangos estipulados para la interpretación de los valores obtenidos en una correlación. Se les asigna un color determinado para cada tipo con el fin de identificar el nivel de correlación en este proyecto.

| Correlación | Rangos | |
|--------------------|------------|---------------|
| Muy Fuerte (MF) | 0.9 a 1 | -0.9 a -1 |
| Fuerte (F) | 0.7 a 0.89 | -0.7 a -0.89 |
| Moderada (M) | 0.4 a 0.69 | -0.4 a -0.69 |
| Débil (D) | 0.1 a 0.39 | -0.10 a -0.39 |
| Insignificante (I) | 0 a 0.09 | 0 a -0.09 |

Tabla 4. 1 Rangos de correlación

Para extraer el valor de correlación hay que tener claro que esto no se puede solo calcular con un dato único que corresponda a cada variable, sino que hay que tener un vector de n valores para cada variable que permitan que este cálculo estadístico que depende de la covarianza y la desviación típica de los datos de un valor certero.

Para determinar cuál es la correlación entre las características de los llantos de un mismo recién nacido en relación con las clases estimadas se procede a hacer el cálculo de los coeficientes de correlación de acuerdo a los métodos de Pearson y Spearman, así que se procede a utilizar la función de Matlab **corr**, esta función permite obtener el coeficiente de correlación entre dos variables, en este caso se calcula el coeficiente de correlación de una característica específica entre dos llantos diferentes de un neonato que pueden pertenecer o no a la misma clase estimada. Por ejemplo la correlación que existe entre la característica frecuencia fundamental (F0) del niño 10-C3 entre las clases estimadas Hambre y Grito.

Para el cálculo del valor de correlación de una característica de un llanto con otro, Matlab procede a leer los archivos que contienen las 23 características principales por cada uno de los frames que está dividido el archivo de 5 segundos, la cantidad de frames por cada

fragmento corresponde alrededor de 496, recalando que cada archivo corresponde a un episodio de llanto de cualquier clase estimada.

Para el cálculo de los coeficientes de correlación de las características entre las clases estimadas de los 10 niños seleccionados se procedió de la siguiente manera:

Primero seleccionar el niño, se identifica el número de episodios de llanto correspondiente al recién nacido, se selecciona la característica a correlacionar y se correlaciona con los coeficientes de Pearson y Spearman la característica escogida de un episodio de llanto con su homóloga en los otros episodios de llanto y así se hace con todos los niños y con todas las características.

Como ejemplo se calcula el coeficiente de correlación de Pearson y Spearman de las características del episodio de llanto G2_0 correspondiente a la clase estimada Grito con respecto a los otros episodios de los cuales algunos pertenecen a la misma clase estimada o a diferente clase estimada, el archivo .xlsx que se genera con los valores de correlación se compone de varias hojas de cálculo, la cuales tienen el nombre de un episodio de llanto, llamado **llanto referencia** que se correlaciona con los demás. Cada una de estas hojas tiene 23 columnas que representan las características escogidas y sus filas corresponden a los otros episodios de llanto que son o no de la misma clase estimada que el llanto referencia.

En la figura 4.1 se tiene como llanto referencia el episodio G2_0 (Grito) y se obtienen los coeficientes de correlación de cada una de las 23 características con respecto a los otros episodios de llantos (5 segundos) que pertenecen a las clases estimadas *Grito*, *Hambre*, *Incomodidad*, *No leche* y *Quejido* (De acuerdo a la nomenclatura de la tabla 2.2). Por cada niño se toma cada episodio de llanto como episodio de referencia y se encuentra la correlación con las características de los otros episodios de la siguiente manera:

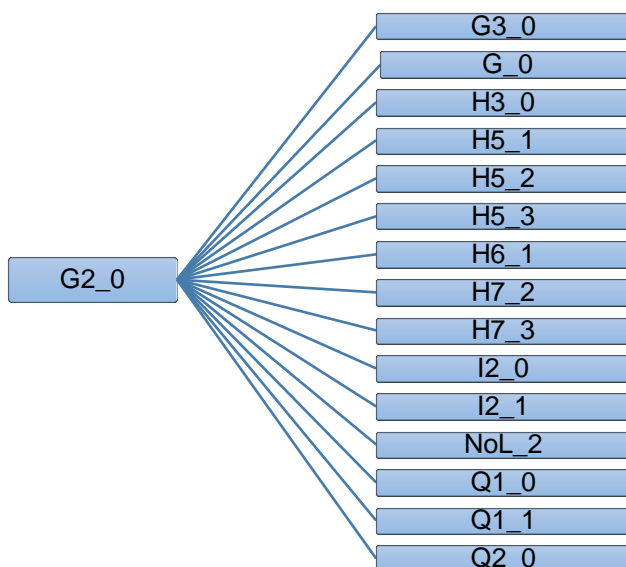


Figura 4. 1 Cálculo de coeficiente de correlación por característica (G2_0)

El cálculo del coeficiente de correlación se realiza con todos los episodios de llanto cambiando de posición el llanto referencia, por ejemplo después de realizar el cálculo de la figura 4.1 se procede a cambiar el llanto referencia G2_0 por el episodio G3_0, al cual se le extraen nuevamente los valores de correlación como se hizo con el episodio de llanto G2_0 y así sucesivamente con el resto de los episodios de llanto de 5 segundos como en la figura 4.2.

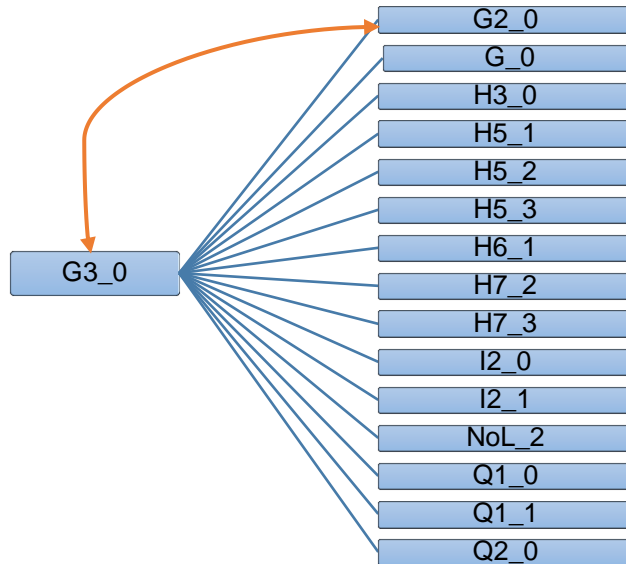


Figura 4. 2 Calculo de coeficiente de correlación por característica (G3_0)

Los valores que se obtiene del producto de la correlación se presenta en las siguientes tablas en donde se obtienen valores de correlación pertenecientes a los rangos **insignificante** o **débil**, se interpretará como variabilidad del llanto es alta, valores de correlación en el rango **Moderada** se interpreta como variabilidad del llanto es media y por ultimo valores de correlación entre los rangos **Fuerte** o **Muy Fuerte** se interpreta como variabilidad del llanto baja.

Los valores que se mostraran en la tabla 4.2 corresponden a los valores de los coeficientes de correlación de las primeras seis características del llanto referencia G2_0 correlacionadas con las primeras seis características de los otros llantos (se coloca un segmento de la tabla por cuestiones de visibilidad, ya que las tablas son muy extensas). De esta manera se ilustra el cálculo de coeficientes de correlación de Person de las características Loudness y radio alfa (figura 4.3).

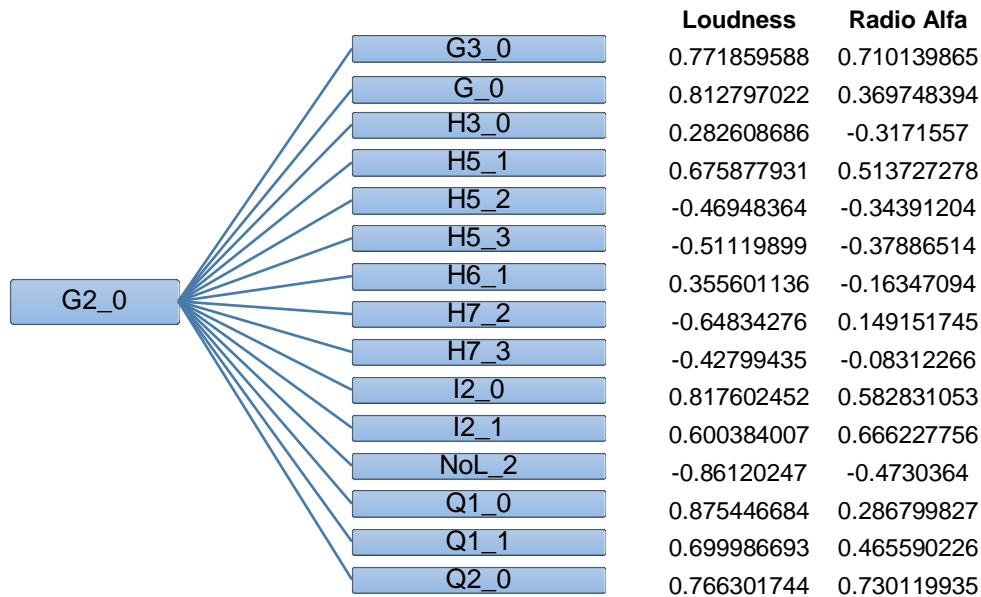


Figura 4. 3 Coeficiente de correlación por característica

Para calcular la correlación de las características de los diferentes episodios de llanto se debe trabajar con el archivo que contiene n frames (n ≈ 496 frames) del cual se extraen 23 vectores de dimensión 1xn, cada uno de estos vectores corresponde a cada una de las 23 características que se extrajeron con el modelo eGeMAPS (de acuerdo a la tabla 3.3).

Ahora se toma del llanto referencia el vector que corresponde a una de las características y se correlaciona con la misma característica de los demás vectores que corresponden a los otros episodios de llantos de 5 segundos. Por ejemplo la característica Loudness (1x496) del llanto referencia G2_0 se correlacionará con la misma característica de los otros episodios de llanto, para cada una de esta correlaciones se obtiene un único valor que mostrará que tipo de correlación se presenta entre la misma característica entre los diferentes episodios que tuvo el mismo recién nacido, de acuerdo al color que estos valores tengan es el tipo de correlación que hay entre ellas. En el anexo D se encuentra la tabla completa de la correlación con las diferentes características con su respectivo coeficiente y también están el resto de cálculos que corresponde a los demás recién nacidos.

En la tabla 4.2 a corresponderá al coeficiente de correlación de Pearson y en la tabla 4.2b el coeficiente de correlación de Spearman. En el caso del niño 10 – C3 se tienen un total de 240 correlaciones que se verán en las siguientes tablas, este dato es importante para la obtener los porcentajes de cada una de las correlaciones más adelante. Como se aprecia en la tabla 4.2 predominan los valores de color amarillo que corresponde a un tipo de correlación débil, esto para ambos coeficientes, lo que significa que para el llanto referencia G2_0 con respecto a los diferentes llantos presentados tiene una variabilidad alta.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G3_0 | 0.771859588 | 0.710139865 | 0.415172384 | -0.11765635 | 0.13899536 | 0.56887506 |
| G_0 | 0.812797022 | 0.369748394 | 0.312430908 | 0.253109725 | 0.026527312 | 0.760004305 |
| H3_0 | 0.282608686 | -0.3171557 | -0.28569934 | 0.053458718 | 0.615646054 | 0.338902422 |
| H5_1 | 0.675877931 | 0.513727278 | -0.64387648 | 0.032570163 | 0.318757224 | 0.686505364 |
| H5_2 | -0.46948364 | -0.34391204 | -0.02201046 | 0.165784141 | -0.1364467 | -0.29853767 |
| H5_3 | -0.51119899 | -0.37886514 | -0.25224332 | 0.089262616 | 0.3627793 | 0.151611572 |
| H6_1 | 0.355601136 | -0.16347094 | 0.034631828 | 0.128793887 | -0.09468342 | 0.174190926 |
| H7_2 | -0.64834276 | 0.149151745 | 0.399361492 | 0.057904564 | 0.213843637 | -0.40539846 |
| H7_3 | -0.42799435 | -0.08312266 | -0.29661001 | -0.21208985 | 0.110542858 | -0.38488337 |
| I2_0 | 0.817602452 | 0.582831053 | 0.265253426 | 0.027531995 | -0.51645568 | 0.600966323 |
| I2_1 | 0.600384007 | 0.666227756 | 0.296462396 | 0.180369104 | 0.414058923 | -0.24734067 |
| NL_2 | -0.86120247 | -0.4730364 | 0.511705425 | 0.06067176 | -0.52647093 | -0.72479827 |
| Q1_0 | 0.875446684 | 0.286799827 | 0.30027688 | -0.10657166 | 0.271530584 | 0.558184162 |
| Q1_1 | 0.699986693 | 0.465590226 | 0.253404564 | 0.168990167 | -0.24472668 | 0.36399221 |
| Q2_0 | 0.766301744 | 0.730119935 | 0.220434691 | 0.156050433 | -0.30729418 | 0.55879505 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G3_0 | 0.768503203 | 0.689877694 | 0.336994758 | -0.13118229 | -0.11641235 | 0.747152009 |
| G_0 | 0.787297244 | 0.395172953 | 0.393765878 | 0.319953098 | 0.071526285 | 0.785733828 |
| H3_0 | 0.211939429 | -0.41122889 | -0.35295968 | 0.09049505 | 0.716202679 | 0.494397204 |
| H5_1 | 0.710145603 | 0.436645312 | -0.62877111 | 0.036808387 | 0.258532324 | 0.705544554 |
| H5_2 | -0.3554106 | -0.34136284 | 0.043529412 | 0.141397787 | -0.02291206 | -0.26125801 |
| H6_1 | 0.584834013 | -0.08093186 | 0.051054164 | 0.037006407 | -0.09755387 | 0.462760629 |
| H7_2 | -0.50060571 | 0.050250437 | 0.414024461 | 0.110704718 | 0.270331974 | -0.31995341 |
| H7_3 | -0.55030868 | -0.3314735 | -0.19264997 | 0.044344787 | -0.05090274 | -0.17897496 |
| I2_0 | 0.82937682 | 0.623389633 | 0.217647059 | 0.032242283 | -0.53825277 | 0.783715783 |
| I2_1 | 0.623645894 | 0.715562027 | 0.301188119 | 0.233127548 | 0.438730344 | 0.021840419 |
| NL_2 | -0.8655562 | -0.44588235 | 0.498811881 | -0.01856727 | -0.57840419 | -0.77270821 |
| Q1_0 | 0.852626674 | 0.292743157 | 0.340698893 | -0.03185789 | 0.34491555 | 0.673511939 |
| Q1_1 | 0.472417006 | 0.363960396 | 0.295119394 | 0.107827606 | -0.34356436 | 0.449446709 |
| Q2_0 | 0.716649207 | 0.778882347 | 0.075403677 | 0.196055341 | -0.40116317 | 0.667839468 |

(b)

Tabla 4. 2 Correlación de características del llanto G2_0 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.3 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo), para este cálculo de los coeficientes el llanto referencia es el G3_0, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.771859588 | 0.710139865 | 0.415172384 | -0.11765635 | 0.13899536 | 0.56887506 |
| G_0 | 0.617399564 | 0.82224097 | 0.19320794 | -0.12257951 | -0.29193954 | 0.36765848 |
| H3_0 | 0.618230112 | -0.16148756 | -0.11996236 | -0.06512973 | -0.27801706 | 0.41760304 |
| H5_1 | 0.583501181 | 0.68622969 | -0.25782463 | -0.09339369 | 0.54055704 | 0.56573205 |
| H5_2 | -0.58091306 | -0.39357005 | 0.10354194 | 0.25009296 | -0.4155822 | -0.36914914 |
| H5_3 | -0.183804781 | 0.16847739 | 0.12025411 | 0.0488891 | 0.15608352 | -0.01140513 |
| H6_1 | 0.146728708 | -0.16082318 | -0.10216325 | -0.19372688 | -0.01730105 | 0.02185647 |
| H7_2 | 0.162080506 | -0.15662678 | -0.03320143 | 0.15241431 | -0.18618279 | 0.14930198 |
| H7_3 | 0.2371264 | -0.29043718 | -0.10111744 | -0.11576943 | -0.05422817 | -0.04670472 |
| I2_0 | 0.925397457 | 0.86173236 | 0.1263835 | 0.11482189 | 0.39547818 | 0.80533524 |
| I2_1 | -0.6376677 | 0.35734014 | 0.4237377 | -0.23518947 | 0.32370414 | -0.28562123 |
| NL_2 | -0.077564739 | -0.06787479 | 0.57469705 | 0.03754104 | -0.41580821 | -0.1166498 |
| Q1_0 | 0.808922558 | 0.49068271 | 0.14383213 | -0.07148841 | -0.16380342 | 0.83789264 |
| Q1_1 | 0.620732803 | 0.66571011 | -0.3040107 | -0.16224304 | 0.6182907 | 0.30833727 |
| Q2_0 | 0.955107607 | 0.91610546 | 0.02216953 | -0.31962485 | 0.49388256 | 0.84881081 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.768503203 | 0.689877694 | 0.336994758 | -0.13118229 | -0.11641235 | 0.747152009 |
| G_0 | 0.591831151 | 0.65774868 | 0.07035372 | -0.17006058 | -0.31164745 | 0.49618917 |
| H3_0 | 0.726924782 | -0.22904093 | -0.05151546 | -0.01373282 | -0.28579725 | 0.71366632 |
| H5_1 | 0.503351559 | 0.56660854 | -0.23832126 | -0.10089552 | 0.52681543 | 0.50965568 |
| H5_2 | -0.618664105 | -0.30827102 | 0.02914881 | 0.23528299 | -0.45719817 | -0.62351559 |
| H5_3 | 0.0397074 | 0.21871139 | 0.12366484 | 0.07300872 | 0.206146 | -0.22078321 |
| H6_1 | 0.03282991 | -0.12850746 | -0.06660411 | -0.12730013 | 0.03303827 | -1.9211E-05 |
| H7_2 | 0.183440225 | -0.13741392 | -0.0305246 | 0.16575587 | -0.17225506 | 0.14471405 |
| H7_3 | 0.0397074 | 0.21871139 | 0.12366484 | 0.07300872 | 0.206146 | -0.22078321 |
| I2_0 | 0.783910152 | 0.67805231 | 0.1288104 | 0.16062066 | 0.39302941 | 0.72716566 |
| I2_1 | -0.7388799 | 0.23463869 | 0.3928772 | -0.23062805 | 0.27182208 | -0.24239988 |
| NL_2 | 0.019230087 | 0.07214127 | 0.45552978 | 0.04291858 | -0.39081277 | 0.083322 |
| Q1_0 | 0.668470519 | 0.33998374 | 0.10664844 | -0.0852889 | -0.17738141 | 0.71279592 |
| Q1_1 | 0.658421753 | 0.5579267 | -0.26650805 | -0.13817644 | 0.66666174 | 0.42071671 |
| Q2_0 | 0.935859553 | 0.7891558 | -0.17900517 | -0.31027707 | 0.43003287 | 0.86281834 |

(b)

Tabla 4. 3 Correlación de características del llanto G3_0 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.4 está el cálculo del coeficiente de Pearson (a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación moderada (azul), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el G_0, el cual presenta una variabilidad media con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G3_0 | 0.617399564 | 0.82224097 | 0.19320794 | -0.12257951 | -0.29193954 | 0.36765848 |
| G2_0 | 0.812797022 | 0.369748394 | 0.312430908 | 0.253109725 | 0.026527312 | 0.760004305 |
| H3_0 | -0.279140784 | -0.31487423 | -0.46282861 | -0.35286076 | 0.10241 | 0.07392539 |
| H5_1 | 0.408493154 | 0.22112906 | -0.198363 | 0.31908699 | 0.07170382 | 0.65947111 |
| H5_2 | 0.085107471 | -0.23396103 | 0.06313901 | 0.29894896 | 0.07028823 | -0.16924746 |
| H5_3 | -0.731959987 | -0.47168173 | -0.55786045 | -0.0704838 | 0.15803425 | 0.13036311 |
| H6_1 | 0.306346658 | 0.0557416 | -0.18669837 | 0.31412056 | -0.2216445 | 0.34444028 |
| H7_2 | -0.614511617 | -0.54860529 | 0.24038979 | 0.36404915 | 0.50670866 | -0.31743553 |
| H7_3 | -0.456073252 | -0.54617748 | -0.44211316 | 0.14259346 | -0.12292234 | -0.46018343 |
| I2_0 | 0.866076799 | 0.79778739 | 0.06700383 | 0.03292461 | -0.10484041 | 0.52275257 |
| I2_1 | 0.837296061 | 0.73219122 | 0.60598693 | 0.45838938 | 0.0637036 | 0.24674406 |
| NL_2 | -0.88380183 | -0.45479975 | 0.53394648 | -0.03989875 | -0.07311221 | -0.72793028 |
| Q1_0 | 0.921891509 | 0.55259911 | 0.53541738 | 0.49623224 | 0.35762317 | 0.56205501 |
| Q1_1 | 0.400839739 | 0.48945492 | 0.57764815 | 0.25268853 | -0.12803716 | 0.20877309 |
| Q2_0 | 0.742984325 | 0.83445407 | 0.6213904 | 0.06098426 | -0.39041212 | 0.48450227 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G3_0 | 0.591831151 | 0.65774868 | 0.07035372 | -0.17006058 | -0.31164745 | 0.49618917 |
| G2_0 | 0.787297244 | 0.395172953 | 0.393765878 | 0.319953098 | 0.071526285 | 0.785733828 |
| H3_0 | -0.32214188 | -0.37699824 | -0.4966582 | -0.33290991 | 0.06552668 | 0.09626734 |
| H5_1 | 0.338401407 | 0.2147352 | -0.25796365 | 0.42734024 | 0.11711941 | 0.65311706 |
| H5_2 | -0.05499316 | -0.16400235 | 0.24762556 | 0.24995114 | 0.05149502 | -0.11428571 |
| H5_3 | -0.677740864 | -0.47461403 | -0.63986711 | -0.15872582 | 0.07023647 | -0.20994723 |
| H6_1 | 0.462868868 | 0.08374047 | -0.09738128 | 0.23715067 | -0.24207543 | 0.45000977 |
| H7_2 | -0.601582959 | -0.44352159 | 0.20932187 | 0.25782685 | 0.49734219 | -0.32780926 |
| H7_3 | -0.677740864 | -0.47461403 | -0.63986711 | -0.15872582 | 0.07023647 | -0.20994723 |
| I2_0 | 0.846628884 | 0.7862224 | 0.09300371 | -0.03418018 | -0.13290991 | 0.71389486 |
| I2_1 | 0.774692202 | 0.47781903 | 0.49708814 | 0.46220442 | 0.01704124 | 0.39499707 |
| NL_2 | -0.835391831 | -0.29161618 | 0.54401016 | -0.08268517 | 0.0137776 | -0.79935509 |
| Q1_0 | 0.884619894 | 0.60279461 | 0.57688098 | 0.4694743 | 0.36830174 | 0.66734415 |
| Q1_1 | 0.136857534 | 0.24481141 | 0.53357436 | 0.19458667 | -0.15043971 | 0.25778777 |
| Q2_0 | 0.698671096 | 0.72648036 | 0.44449873 | 0.08628102 | -0.41045534 | 0.57903068 |

(b)

Tabla 4. 4 Correlación de características del llanto G0_0 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.5 está el cálculo del coeficiente de Pearson (a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el H3_0, el cual presenta una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.282608686 | -0.3171557 | -0.28569934 | 0.053458718 | 0.615646054 | 0.338902422 |
| G3_0 | 0.618230112 | -0.16148756 | -0.11996236 | -0.06512973 | -0.27801706 | 0.41760304 |
| G_0 | -0.279140784 | -0.31487423 | -0.46282861 | -0.35286076 | 0.10241 | 0.07392539 |
| H5_1 | 0.108067079 | -0.05919491 | -0.27411507 | 0.11799 | -0.18291369 | -0.07258989 |
| H5_2 | -0.278801684 | 0.06116857 | -0.12778395 | -0.19730884 | 0.04272001 | -0.09653092 |
| H5_3 | 0.158279304 | -0.11730472 | -0.28922044 | 0.06644119 | -0.17503817 | -0.10573356 |
| H6_1 | 0.076685408 | -0.39435463 | -0.37265056 | 0.0893986 | -0.40894093 | -0.088911 |
| H7_2 | 0.311730986 | 0.31202363 | 0.1253457 | -0.09171398 | 0.24766903 | -0.01141796 |
| H7_3 | 0.142508673 | -0.11292178 | -0.17218222 | -0.18840589 | -0.16869745 | -0.07667584 |
| I2_0 | 0.181693885 | -0.2110501 | -0.06215222 | -0.03785525 | -0.24363908 | 0.17814412 |
| I2_1 | -0.23703132 | -0.35494351 | -0.40441593 | 0.01472004 | -0.14101833 | -0.12552325 |
| NL_2 | 0.028680265 | -0.22490399 | -0.24250912 | -0.1005049 | -0.15817705 | -0.06800049 |
| Q1_0 | 0.304346584 | -0.22060669 | -0.21931194 | 0.05934618 | 0.07305227 | 0.31136745 |
| Q1_1 | 0.441227973 | 0.11435713 | -0.25356693 | -0.19450748 | -0.34165523 | 0.17435229 |
| Q2_0 | 0.098392235 | -0.49201894 | -0.08735383 | 0.04157163 | -0.54765408 | 0.06164721 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.211939429 | -0.41122889 | -0.35295968 | 0.09049505 | 0.716202679 | 0.494397204 |
| G3_0 | 0.726924782 | -0.22904093 | -0.05151546 | -0.01373282 | -0.28579725 | 0.71366632 |
| G_0 | -0.32214188 | -0.37699824 | -0.4966582 | -0.33290991 | 0.06552668 | 0.09626734 |
| H5_1 | 0.028238965 | -0.04762378 | -0.27211638 | -0.0827545 | -0.12656432 | -0.05250326 |
| H5_2 | -0.275978111 | 0.04705152 | -0.10201954 | -0.20023755 | 0.08996808 | -0.22486188 |
| H5_3 | 0.123137177 | -0.15579733 | -0.28446758 | 0.07750513 | -0.16214283 | -0.12998633 |
| H6_1 | 0.07788936 | -0.41695098 | -0.3509781 | 0.136817 | -0.40046799 | 0.01085233 |
| H7_2 | 0.244473088 | 0.29131553 | 0.14264632 | -0.07936229 | 0.20219509 | 0.08100332 |
| H7_3 | 0.09503663 | -0.1446385 | -0.21879104 | -0.14186197 | -0.09713621 | -0.06947337 |
| I2_0 | 0.198657438 | -0.09635508 | -0.091645 | -0.03387749 | -0.16393927 | 0.30470905 |
| I2_1 | -0.224570506 | -0.31309556 | -0.37178335 | 0.04516723 | -0.15822242 | -0.27977569 |
| NL_2 | 0.014095857 | -0.25104966 | -0.18805729 | -0.09006131 | -0.14062924 | -0.08593996 |
| Q1_0 | 0.256405161 | -0.17268755 | -0.22922768 | 0.06009034 | 0.10703145 | 0.31899691 |
| Q1_1 | 0.419548638 | 0.10386176 | -0.30159292 | -0.20920801 | -0.32825847 | 0.23041166 |
| Q2_0 | 0.13075895 | -0.55871835 | -0.12033421 | -0.03046635 | -0.54155258 | 0.25074595 |

(b)

Tabla 4. 5 Correlación de características del llanto H3_0 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.6 está el cálculo del coeficiente de Pearson (a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo) e insignificante (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el H5_1, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G3_0 | 0.583501181 | 0.68622969 | -0.25782463 | -0.09339369 | 0.54055704 | 0.56573205 |
| G2_0 | 0.675877931 | 0.513727278 | -0.64387648 | 0.032570163 | 0.318757224 | 0.686505364 |
| G_0 | 0.408493154 | 0.22112906 | -0.198363 | 0.31908699 | 0.07170382 | 0.65947111 |
| H3_0 | 0.108067079 | -0.05919491 | -0.27411507 | 0.11799 | -0.18291369 | -0.07258989 |
| H5_2 | -0.35033088 | -0.21886216 | 0.02409991 | -0.20299561 | -0.11332373 | -0.08002467 |
| H5_3 | -0.230671036 | 0.03744228 | 0.2208406 | 0.15457029 | 0.24354392 | 0.11632312 |
| H6_1 | 0.362895469 | -0.17473143 | 0.123955 | 0.08231694 | -0.07416313 | 0.12413144 |
| H7_2 | -0.31426245 | -0.09725736 | 0.06977365 | -0.19289201 | -0.20028026 | 0.270495 |
| H7_3 | -0.17494781 | -0.0410253 | 0.1304861 | -0.01994361 | 0.07264023 | -0.15015871 |
| I2_0 | 0.10069515 | 0.3527611 | -0.05144716 | 0.13993476 | 0.10662975 | 0.05696007 |
| I2_1 | -0.056028037 | -0.2267866 | -0.03530475 | 0.04605092 | -0.07253207 | 0.05389457 |
| NL_2 | -0.128179424 | -0.17958824 | -0.02633275 | -0.16446254 | -0.1784563 | -0.0615829 |
| Q1_0 | 0.024909521 | -0.02056326 | 0.06782919 | 0.12556851 | 0.04758925 | -0.03664647 |
| Q1_1 | 0.497096126 | 0.66460507 | 0.33521302 | 0.12904806 | 0.34501496 | 0.28200614 |
| Q2_0 | 0.356156797 | 0.37201964 | -0.1151335 | 0.19477984 | -0.12497085 | 0.37411491 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.710145603 | 0.436645312 | -0.62877111 | 0.036808387 | 0.258532324 | 0.705544554 |
| G3_0 | 0.503351559 | 0.56660854 | -0.23832126 | -0.10089552 | 0.52681543 | 0.50965568 |
| G_0 | 0.338401407 | 0.2147352 | -0.25796365 | 0.42734024 | 0.11711941 | 0.65311706 |
| H3_0 | 0.282608686 | -0.3171557 | -0.28569934 | 0.053458718 | 0.615646054 | 0.338902422 |
| H5_2 | -0.337831 | -0.27550845 | 0.02078668 | -0.20656351 | -0.10099632 | -0.3029657 |
| H5_3 | -0.326515349 | 0.03965454 | 0.20194949 | 0.17662844 | 0.20162369 | -0.28315663 |
| H6_1 | 0.299538047 | -0.20382351 | 0.05358779 | 0.07277499 | -0.12761029 | 0.25701383 |
| H7_2 | -0.313584115 | -0.06358886 | -0.0827476 | -0.18035166 | -0.19362255 | -0.0900444 |
| H7_3 | -0.175606203 | -0.02594002 | 0.09422246 | -0.0368567 | 0.06344492 | -0.22425964 |
| I2_0 | 0.48472402 | 0.43457947 | -0.02938953 | 0.13500342 | 0.19400885 | 0.48105378 |
| I2_1 | -0.028757505 | -0.27039221 | -0.06028144 | 0.05518579 | -0.07560729 | -0.05654669 |
| NL_2 | -0.029969602 | -0.13655079 | -0.036817 | -0.14289019 | -0.1599897 | 0.0972502 |
| Q1_0 | -0.084219431 | -0.02778078 | 0.11743137 | 0.12920322 | 0.07535707 | 0.03934308 |
| Q1_1 | 0.506381202 | 0.65338481 | 0.18891128 | 0.20026715 | 0.38919381 | 0.32570906 |
| Q2_0 | 0.319611314 | 0.32167756 | 0.01607485 | 0.19810714 | -0.16871726 | 0.44828234 |

(b)

Tabla 4. 6 Correlación de características del llanto H5_1 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.7 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo) e insignificante (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el H5_2, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.46948364 | -0.34391204 | -0.02201046 | 0.165784141 | -0.1364467 | -0.29853767 |
| G3_0 | -0.58091306 | -0.39357005 | 0.10354194 | 0.25009296 | -0.4155822 | -0.36914914 |
| G_0 | 0.085107471 | -0.23396103 | 0.06313901 | 0.29894896 | 0.07028823 | -0.16924746 |
| H3_0 | -0.278801684 | 0.06116857 | -0.12778395 | -0.19730884 | 0.04272001 | -0.09653092 |
| H5_1 | -0.35033088 | -0.21886216 | 0.02409991 | -0.20299561 | -0.11332373 | -0.08002467 |
| H5_3 | -0.052558368 | 0.04532411 | -0.285067 | -0.17196752 | -0.09262998 | 0.07914856 |
| H6_1 | -0.240698692 | -0.02033044 | -0.1077569 | -0.23081877 | -0.17879441 | -0.1050084 |
| H7_2 | -0.05755904 | 0.23926517 | -0.04544436 | -0.01643106 | 0.2483985 | 0.16365239 |
| H7_3 | -0.120354167 | 0.1175888 | -0.06321959 | -0.13292764 | 0.16434687 | -0.0737506 |
| I2_0 | -0.043570779 | -0.34545714 | -0.16515211 | 0.0978847 | -0.2206534 | -0.08672464 |
| I2_1 | 0.086406025 | -0.06329027 | 0.23112272 | -0.02200682 | -0.15533278 | 0.12958001 |
| NL_2 | -0.394357397 | -0.05408546 | -0.0399058 | -0.07635398 | -0.160768 | -0.13779531 |
| Q1_0 | 0.101515939 | -0.02769484 | -0.13684013 | 0.04862063 | -0.06072049 | -0.08228803 |
| Q1_1 | -0.148567699 | -0.49918539 | 0.14102355 | 0.09391114 | -0.38007813 | -0.15278222 |
| Q2_0 | -0.391946228 | -0.44200831 | 0.11123685 | -0.19022062 | -0.146741 | -0.29784386 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.3554106 | -0.34136284 | 0.043529412 | 0.141397787 | -0.02291206 | -0.26125801 |
| G3_0 | -0.618664105 | -0.30827102 | 0.02914881 | 0.23528299 | -0.45719817 | -0.62351559 |
| G_0 | -0.05499316 | -0.16400235 | 0.24762556 | 0.24995114 | 0.05149502 | -0.11428571 |
| H3_0 | -0.275978111 | 0.04705152 | -0.10201954 | -0.20023755 | 0.08996808 | -0.22486188 |
| H5_1 | -0.337831 | -0.27550845 | 0.02078668 | -0.20656351 | -0.10099632 | -0.3029657 |
| H5_3 | -0.046910828 | 0.045223 | -0.02371013 | -0.16690244 | -0.08148105 | 0.04480956 |
| H6_1 | -0.129359434 | -0.01542494 | -0.12617213 | -0.24702836 | -0.1615955 | -0.16523947 |
| H7_2 | 0.040682591 | 0.24230612 | -0.05375748 | -0.01488104 | 0.25706208 | 0.0363865 |
| H7_3 | -0.168169257 | 0.11342543 | -0.07905264 | -0.10434797 | 0.22439558 | -0.1322734 |
| I2_0 | -0.14227989 | -0.36989801 | -0.0936029 | -0.02614344 | -0.25499385 | -0.16255081 |
| I2_1 | -0.064143327 | -0.05809311 | 0.2078138 | -0.03637709 | -0.21934049 | -0.07937746 |
| NL_2 | -0.362121337 | -0.08974707 | -0.03344862 | -0.07941789 | 0.02349894 | -0.24246573 |
| Q1_0 | 0.253046925 | 0.07579903 | -0.19126695 | 0.05521201 | -0.07919759 | 0.0935285 |
| Q1_1 | -0.306562379 | -0.51830851 | 0.1049718 | 0.09555491 | -0.45012403 | -0.12030617 |
| Q2_0 | -0.491745837 | -0.4388614 | 0.11093451 | -0.20744139 | -0.0991945 | -0.37076184 |

(b)

Tabla 4. 7 Correlación de características del llanto H5_2 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.8 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo) e insignificante (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el H5_3, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.51119899 | -0.37886514 | -0.25224332 | 0.089262616 | 03627793 | 0.151611572 |
| G3_0 | -0.183804781 | 0.16847739 | 0.12025411 | 0.0488891 | 0.15608352 | -0.01140513 |
| G_0 | -0.731959987 | -0.47168173 | -0.55786045 | -0704838 | 0.15803425 | 0.13036311 |
| H3_0 | 0.158279304 | -0.11730472 | -0.28922044 | 0.06644119 | -0.17503817 | -0.10573356 |
| H5_1 | -0.230671036 | 0.03744228 | 0.2208406 | 0.15457029 | 0.24354392 | 0.11632312 |
| H5_2 | -0.052558368 | 0.04532411 | -0285067 | -0.17196752 | -0.09262998 | 0.07914856 |
| H6_1 | -0.143282498 | 0.16528999 | 0.35451802 | 0.10867756 | 0.01645374 | -0.12880503 |
| H7_2 | 0.280796014 | 0411608 | -0.06871793 | -0.1508227 | -0.2064217 | -0402429 |
| H7_3 | 0.463767533 | 0.12075018 | 0.24039684 | 0.04481315 | 0.08993368 | 0.06368181 |
| I2_0 | -0.281696941 | 0.07027986 | -0352475 | 0.04713166 | -0.09697051 | -018622 |
| I2_1 | 0.12505495 | -0659728 | 0.04297161 | -0.04927118 | -0.10525854 | 0.19342541 |
| NL_2 | 0.186216964 | 0.17371904 | 0.25111556 | -0.02802184 | -0.17187907 | -0.09012036 |
| Q1_0 | -0.290381398 | 0.09722129 | 015644 | -0.05780971 | 0.10462638 | -0.12354283 |
| Q1_1 | 0.147933132 | 0.13884485 | 0.02643998 | -0.15701702 | 0.11731396 | 0402672 |
| Q2_0 | -0.430847189 | -0.46777468 | -0.17342841 | -031541 | -0.41070158 | 0.1966355 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.55030868 | -0.3314735 | -0.19264997 | 0.044344787 | -0.05090274 | -0.17897496 |
| G3_0 | 0397074 | 0.21871139 | 0.12366484 | 0.07300872 | 0.206146 | -0.22078321 |
| G_0 | -0.677740864 | -0.47461403 | -0.63986711 | -0.15872582 | 0.07023647 | -0.20994723 |
| H3_0 | 0.123137177 | -0.15579733 | -0.28446758 | 0.07750513 | -0.16214283 | -0.12998633 |
| H5_1 | -0.326515349 | 0.03965454 | 0.20194949 | 0.17662844 | 0.20162369 | -0.28315663 |
| H5_2 | -0.046910828 | 045223 | -0.02371013 | -0.16690244 | -0.08148105 | 0.04480956 |
| H6_1 | -0.19180692 | 0.14607513 | 0.32983497 | 0.0994782 | 0.05728675 | -0.12438148 |
| H7_2 | 0.229404873 | 0961358 | -0.10767139 | -0.15328948 | -0.17077029 | 0.06661053 |
| H7_3 | 0.462819337 | 0.04584219 | 0.21728296 | 0.04118642 | 0.07353887 | 0.37192794 |
| I2_0 | -0.489248103 | 0882199 | -0.06628437 | 0.05708809 | -0.08742817 | -0.42931315 |
| I2_1 | 0.103595541 | 0.01288591 | 0.02850561 | -0.05629202 | -0.07487395 | 0.29228375 |
| NL_2 | 0.039314501 | 0.17773821 | 0.23399161 | -0.03734942 | -0.18311714 | -0.13656998 |
| Q1_0 | -0.221686929 | 0.07637367 | -0.02169435 | -0.05554464 | 0.05340113 | -0.21733866 |
| Q1_1 | 0.103213376 | 0.17945232 | 0.06838863 | -0.13702349 | 0.1569868 | -0.01231716 |
| Q2_0 | -0.351341979 | -0.47453672 | -0.23561753 | -0.02549579 | -0.36567569 | 0.08811906 |

(b)

Tabla 4. 8 Correlación de características del llanto H5_3 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.9 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación insignificante (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el H6_1 el cual presenta una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.355601136 | -0.16347094 | 0.034631828 | 0.128793887 | -0.09468342 | 0.174190926 |
| G3_0 | 0.146728708 | -0.16082318 | -0.10216325 | -0.19372688 | -0.01730105 | 0.02185647 |
| G_0 | 0.306346658 | 0.0557416 | -0.18669837 | 0.31412056 | -0.2216445 | 0.34444028 |
| H3_0 | 0.076685408 | -0.39435463 | -0.37265056 | 0.0893986 | -0.40894093 | -0.088911 |
| H5_1 | 0.362895469 | -0.17473143 | 0.123955 | 0.08231694 | -0.07416313 | 0.12413144 |
| H5_2 | -0.240698692 | -0.02033044 | -0.1077569 | -0.23081877 | -0.17879441 | -0.1050084 |
| H5_3 | -0.143282498 | 0.16528999 | 0.35451802 | 0.10867756 | 0.01645374 | -0.12880503 |
| H7_2 | 0.055760453 | -0.27077458 | -0.08509033 | -0.10622991 | -0.28989114 | 0.001338 |
| H7_3 | -0.313241083 | 0.36684291 | 0.12747368 | -0.05318806 | 0.12046667 | -0.12822735 |
| I2_0 | -0.096542774 | 0.04406191 | 0.1825217 | 0.2124273 | 0.20352815 | -0.0960014 |
| I2_1 | -0.026498713 | 0.4282524 | 0.35025838 | 0.08968198 | 0.31215386 | -0.04392517 |
| NL_2 | 0.028267286 | 0.35508027 | 0.39113691 | 0.17183176 | 0.24928322 | -0.0280155 |
| Q1_0 | -0.165324903 | 0.14566669 | -0.20562756 | -0.03841509 | 0.01680523 | -0.15527934 |
| Q1_1 | 0.110613911 | -0.2519214 | -0.18285106 | 0.06237496 | -0.0132703 | -0.07851521 |
| Q2_0 | 0.011006656 | -0.07169491 | -0.38814431 | -0.12555625 | 0.13326416 | -0.05876036 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.584834013 | -0.08093186 | 0.051054164 | 0.037006407 | -0.09755387 | 0.462760629 |
| G3_0 | 0.03282991 | -0.12850746 | -0.06660411 | -0.12730013 | 0.03303827 | -1.9211E-05 |
| G_0 | 0.462868868 | 0.08374047 | -0.09738128 | 0.23715067 | -0.24207543 | 0.45000977 |
| H3_0 | 0.07788936 | -0.41695098 | -0.3509781 | 0.136817 | -0.40046799 | 0.01085233 |
| H5_1 | 0.299538047 | -0.20382351 | 0.05358779 | 0.07277499 | -0.12761029 | 0.25701383 |
| H5_2 | -0.129359434 | -0.01542494 | -0.12617213 | -0.24702836 | -0.1615955 | -0.16523947 |
| H5_3 | -0.19180692 | 0.14607513 | 0.32983497 | 0.0994782 | 0.05728675 | -0.12438148 |
| H7_2 | -0.11041938 | -0.2393298 | -0.05049862 | -0.08249627 | -0.27504054 | -0.14499767 |
| H7_3 | -0.340388129 | 0.40083947 | 0.22954243 | -0.02058449 | 0.03503873 | -0.23677763 |
| I2_0 | -0.021029516 | -0.04741031 | 0.04934589 | 0.23512974 | 0.15608216 | -0.03036669 |
| I2_1 | 0.095989618 | 0.42673426 | 0.28320785 | 0.07091327 | 0.38843728 | 0.06064141 |
| NL_2 | -0.132170077 | 0.40951575 | 0.35112329 | 0.17989094 | 0.20646949 | -0.1111301 |
| Q1_0 | -0.144091989 | 0.08495926 | -0.16165708 | -0.0458627 | -0.05802605 | -0.11746383 |
| Q1_1 | 0.064049006 | -0.16872021 | -0.2700418 | 0.03516535 | 0.06616547 | 0.17021189 |
| Q2_0 | 0.141957158 | -0.03433876 | -0.33773074 | -0.13401004 | 0.16550952 | -0.03864466 |

(b)

Tabla 4. 9 Correlación de características del llanto H6_1 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.10 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo) e insignificante (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el H7_2, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | Slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.64834276 | 0.149151745 | 0.399361492 | 0.057904564 | 0.213843637 | -0.40539846 |
| G3_0 | 0.162080506 | -0.15662678 | -0.03320143 | 0.15241431 | -0.18618279 | 0.14930198 |
| G_0 | -0.614511617 | -0.54860529 | 0.24038979 | 0.36404915 | 0.50670866 | -0.31743553 |
| H3_0 | 0.311730986 | 0.31202363 | 0.1253457 | -0.09171398 | 0.24766903 | -0.01141796 |
| H5_1 | -0.31426245 | -0.09725736 | 0.06977365 | -0.19289201 | -0.20028026 | 0.270495 |
| H5_2 | -0.5755904 | 0.23926517 | -0.04544436 | -0.01643106 | 0.2483985 | 0.16365239 |
| H5_3 | 0.280796014 | 0.411608 | -0.06871793 | -0.1508227 | -0.2064217 | -0.402429 |
| H6_1 | 0.055760453 | -0.27077458 | -0.08509033 | -0.10622991 | -0.28989114 | 0.0001338 |
| H7_3 | 0.268793659 | 0.14606175 | -0.413812 | -0.170129 | 0.15034665 | 0.17169085 |
| I2_0 | -0.098410089 | -0.25336262 | -0.08545254 | -0.0707968 | -0.09691148 | 0.04491975 |
| I2_1 | -0.209712551 | -0.28990945 | -0.16283657 | -0.13863028 | -0.41748998 | -0.07035977 |
| NL_2 | 0.415566974 | -0.09271235 | 0.02805154 | -0.01498216 | -0.12443487 | 0.20178419 |
| Q1_0 | -0.074654021 | -0.26346473 | 0.0352635 | 0.06837226 | -0.04463048 | 0.11468541 |
| Q1_1 | 0.048135664 | -0.13123154 | 0.19327826 | -0.07962998 | -0.15705896 | 0.23314704 |
| Q2_0 | -0.36772495 | -0.39916048 | 0.2705601 | -0.18525308 | -0.04071317 | 0.02849016 |

(a)

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | Slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.50060571 | 0.050250437 | 0.414024461 | 0.110704718 | 0.270331974 | -0.31995341 |
| G3_0 | 0.183440225 | -0.13741392 | -0.0305246 | 0.16575587 | -0.17225506 | 0.14471405 |
| G_0 | -0.601582959 | -0.44352159 | 0.20932187 | 0.25782685 | 0.49734219 | -0.32780926 |
| H3_0 | 0.244473088 | 0.29131553 | 0.14264632 | -0.07936229 | 0.20219509 | 0.08100332 |
| H5_1 | -0.313584115 | -0.06358886 | -0.827476 | -0.18035166 | -0.19362255 | -0.0900444 |
| H5_2 | 0.040682591 | 0.24230612 | -0.05375748 | -0.01488104 | 0.25706208 | 0.0363865 |
| H6_1 | -0.11041938 | -0.2393298 | -0.05049862 | -0.08249627 | -0.27504054 | -0.14499767 |
| H7_3 | 0.236455132 | 0.14542404 | -0.0636406 | -0.01803934 | 0.1551328 | 0.13784525 |
| I2_0 | -0.107988874 | -0.22864959 | -0.09877583 | -0.02846168 | -0.06855849 | 0.02888851 |
| I2_1 | -0.177757445 | -0.24206579 | -0.17019611 | -0.13406473 | -0.42133354 | -0.1149648 |
| NL_2 | 0.409718011 | -0.11428896 | 0.02785159 | 0.132863 | -0.09081066 | 0.30106914 |
| Q1_0 | 0.069663145 | -0.23180245 | 0.01635189 | 0.06149183 | -0.04927081 | 0.12623829 |
| Q1_1 | 0.099110735 | -0.09447051 | 0.09880604 | -0.0380923 | -0.06299436 | 0.09291317 |
| Q2_0 | -0.167561319 | -0.32523209 | 0.20969548 | -0.1483871 | -0.04636058 | -0.0107575 |

(b)

Tabla 4. 10 Correlación de características del llanto H7_2 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.11 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo) e insignificante (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el H7_3, el cual presenta al igual que los anteriores una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | Slope 0 - 500 | Slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.42799435 | -0.08312266 | -0.29661001 | -0.21208985 | 0.110542858 | -0.38488337 |

| | | | | | | |
|------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| G3_0 | 0.002371264 | -0.29043718 | -0.10111744 | -0.11576943 | -0.05422817 | -0.04670472 |
| G_0 | -0.456073252 | -0.54617748 | -0.44211316 | 0.14259346 | -0.12292234 | -0.46018343 |
| H3_0 | 0.142508673 | -0.11292178 | -0.17218222 | -0.18840589 | -0.16869745 | -0.07667584 |
| H5_1 | -0.17494781 | -0.0410253 | 0.1304861 | -0.01994361 | 0.07264023 | -0.15015871 |
| H5_2 | -0.120354167 | 0.1175888 | -0.06321959 | -0.13292764 | 0.16434687 | -0.0737506 |
| H5_3 | 0.463767533 | 0.12075018 | 0.24039684 | 0.04481315 | 0.08993368 | 0.06368181 |
| H6_1 | -0.313241083 | 0.36684291 | 0.12747368 | -0.05318806 | 0.12046667 | -0.12822735 |
| H7_2 | 0.268793659 | 0.14606175 | -0.00413812 | -0.00170129 | 0.15034665 | 0.17169085 |
| I2_0 | -0.168436558 | -0.0882741 | -0.05189726 | -0.03302296 | -0.27467304 | 0.04229162 |
| I2_1 | 0.378058058 | 0.14461073 | 0.01174681 | 0.03502966 | 0.04707802 | 0.18234017 |
| NL_2 | 0.08932417 | 0.23188961 | 0.17933544 | 0.25109755 | 0.03916099 | 0.11785869 |
| Q1_0 | -0.155692478 | -0.0725561 | 0.02987821 | -0.17795644 | 0.09317352 | -0.054235 |
| Q1_1 | 0.131759816 | -0.18631105 | -0.18864797 | 0.10960855 | -0.07892944 | 0.13595002 |
| Q2_0 | -0.073510064 | -0.48833498 | -0.41508348 | 0.03769393 | -0.09469612 | 0.06421364 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | Slope 0 - 500 | Slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.55030868 | -0.3314735 | -0.19264997 | 0.044344787 | -0.05090274 | -0.17897496 |
| G3_0 | 0.00397074 | 0.21871139 | 0.12366484 | 0.07300872 | 0.206146 | -0.22078321 |
| G_0 | -0.677740864 | -0.47461403 | -0.63986711 | -0.15872582 | 0.07023647 | -0.20994723 |
| H3_0 | 0.09503663 | -0.1446385 | -0.21879104 | -0.14186197 | -0.09713621 | -0.06947337 |
| H5_1 | -0.175606203 | -0.02594002 | 0.09422246 | -0.00368567 | 0.06344492 | -0.22425964 |
| H5_2 | -0.168169257 | 0.11342543 | -0.07905264 | -0.10434797 | 0.22439558 | -0.1322734 |
| H5_3 | 0.462819337 | 0.04584219 | 0.21728296 | 0.04118642 | 0.07353887 | 0.37192794 |
| H6_1 | -0.340388129 | 0.40083947 | 0.22954243 | -0.02058449 | 0.03503873 | -0.23677763 |
| H7_2 | 0.236455132 | 0.14542404 | -0.0636406 | -0.01803934 | 0.1551328 | 0.13784525 |
| I2_0 | -0.31856378 | -0.08329 | -0.17200502 | -0.03725814 | -0.25795232 | -0.28921466 |
| I2_1 | 0.315112689 | 0.15016216 | 0.01034991 | 0.01338882 | 0.06027204 | 0.30699083 |
| NL_2 | 0.024611767 | 0.23535007 | 0.1540881 | 0.27482159 | 0.03880271 | -0.0554867 |
| Q1_0 | -0.074225705 | -0.358377 | 0.0812437 | -0.1918031 | 0.11809 | -0.07791722 |
| Q1_1 | 0.193224231 | -0.13140762 | -0.19560949 | 0.06189663 | -0.0458236 | 0.15710888 |
| Q2_0 | 0.048412383 | -0.40945707 | -0.34595239 | 0.04417874 | -0.14757794 | 0.07851028 |

(b)

Tabla 4. 11 Correlación de características del llanto H7_3 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.12 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son las correlaciones insignificantes (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el I2_0, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.817602452 | 0.582831053 | 0.265253426 | 0.027531995 | -0.51645568 | 0.600966323 |
| G3_0 | 0.925397457 | 0.86173236 | 0.1263835 | 0.11482189 | 0.39547818 | 0.80533524 |
| G_0 | 0.866076799 | 0.79778739 | 0.06700383 | 0.03292461 | -0.10484041 | 0.52275257 |
| I2_0 | 0.181693885 | -0.2110501 | -0.06215222 | -0.03785525 | -0.24363908 | 0.17814412 |
| I2_0 | 0.10069515 | 0.3527611 | -0.05144716 | 0.13993476 | 0.10662975 | 0.05696007 |
| I2_0 | -0.043570779 | -0.34545714 | -0.16515211 | 0.00978847 | -0.2206534 | -0.08672464 |
| I2_0 | -0.281696941 | 0.07027986 | -0.00352475 | 0.04713166 | -0.09697051 | -0.0018622 |
| I2_0 | -0.096542774 | 0.04406191 | 0.1825217 | 0.2124273 | 0.20352815 | -0.00960014 |
| I2_0 | -0.098410089 | -0.25336262 | -0.08545254 | -0.00707968 | -0.09691148 | 0.04491975 |
| I2_1 | -0.055634868 | 0.24552793 | 0.02316851 | 0.12153803 | 0.16058528 | -0.20769801 |
| NL_2 | -0.228025559 | 0.11377928 | 0.19729753 | 0.09004789 | -0.04444915 | -0.12404349 |
| Q1_0 | 0.762541349 | 0.51903885 | -0.08261232 | -0.10138656 | -0.2685075 | 0.58245672 |
| Q1_1 | 0.540871844 | 0.67403223 | -0.09695504 | 0.03226758 | 0.48348085 | 0.20833808 |
| Q2_0 | 0.920710754 | 0.76821448 | -0.24661361 | -0.27626142 | 0.67339467 | 0.77108858 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.82937682 | 0.623389633 | 0.217647059 | 0.032242283 | -0.53825277 | 0.783715783 |
| G3_0 | 0.783910152 | 0.67805231 | 0.1288104 | 0.16062066 | 0.39302941 | 0.72716566 |
| G_0 | 0.846628884 | 0.7862224 | 0.09300371 | -0.03418018 | -0.13290991 | 0.71389486 |
| H3_0 | 0.198657438 | -0.09635508 | -0.0091645 | -0.03387749 | -0.16393927 | 0.30470905 |
| H5_1 | 0.48472402 | 0.43457947 | -0.02938953 | 0.13500342 | 0.19400885 | 0.48105378 |
| H5_2 | -0.14227989 | -0.36989801 | -0.0936029 | -0.02614344 | -0.25499385 | -0.16255081 |
| H5_3 | -0.489248103 | 0.00882199 | -0.06628437 | 0.05708809 | -0.08742817 | -0.42931315 |
| H6_1 | -0.021029516 | -0.04741031 | 0.04934589 | 0.23512974 | 0.15608216 | -0.03036669 |
| H7_2 | -0.107988874 | -0.22864959 | -0.09877583 | -0.02846168 | -0.06855849 | 0.02888851 |
| H7_3 | -0.168436558 | -0.0882741 | -0.05189726 | -0.03302296 | -0.27467304 | 0.04229162 |
| I2_1 | -0.312005552 | 0.05767193 | -0.081961 | 0.08842355 | 0.04432664 | -0.39814717 |
| NL_2 | -0.035604681 | 0.07991531 | 0.14318216 | 0.0897678 | -0.08120265 | 0.05085713 |
| Q1_0 | 0.437817522 | 0.24639148 | -0.06564362 | -0.10846905 | -0.18602001 | 0.4887036 |
| Q1_1 | 0.425475359 | 0.63461463 | -0.14246598 | 0.07719202 | 0.44903656 | 0.12542652 |
| Q2_0 | 0.912220496 | 0.73900228 | -0.42985948 | -0.18961095 | 0.64185963 | 0.89794459 |

(b)

Tabla 4. 12 Correlación de características del llanto I2_0 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.13 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo) e insignificante (rojo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el I2_1, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.600384007 | 0.666227756 | 0.296462396 | 0.180369104 | 0.414058923 | -0.24734067 |
| G3_0 | -0,006376677 | 0,35734014 | 0,4237377 | -0,23518947 | 0,32370414 | -0,28562123 |
| G_0 | 0,837296061 | 0,73219122 | 0,60598693 | 0,45838938 | 0,00637036 | 0,24674406 |
| H3_0 | -0,23703132 | -0,35494351 | -0,40441593 | 0,01472004 | -0,14101833 | -0,12552325 |
| H5_1 | -0,056028037 | -0,2267866 | -0,03530475 | 0,04605092 | -0,07253207 | 0,05389457 |
| H5_2 | 0,086406025 | -0,06329027 | 0,23112272 | -0,02200682 | -0,15533278 | 0,12958001 |
| H5_3 | 0,12505495 | -0,00659728 | 0,04297161 | -0,04927118 | -0,10525854 | 0,19342541 |
| H6_1 | -0,026498713 | 0,4282524 | 0,35025838 | 0,08968198 | 0,31215386 | -0,04392517 |
| H7_2 | -0,209712551 | -0,28990945 | -0,16283657 | -0,13863028 | -0,41748998 | -0,07035977 |
| H7_3 | 0,378058058 | 0,14461073 | 0,01174681 | 0,03502966 | 0,04707802 | 0,18234017 |
| I2_0 | -0,055634868 | 0,24552793 | 0,02316851 | 0,12153803 | 0,16058528 | -0,20769801 |
| NL_2 | -0.316640778 | 0.27143318 | 0.4074735 | 0.0592926 | 0.15954015 | -0.03905757 |
| Q1_0 | 0.084902614 | 0.25073297 | -0.01883729 | 0.13082468 | 0.0684631 | -0.20224231 |
| Q1_1 | 0.210964728 | 0.13375133 | -0.07142848 | -0.05624992 | 0.21797804 | -0.02291426 |
| Q2_0 | 0.633146324 | 0.83375452 | 0.53185577 | 0.24204673 | 0.18278063 | -0.10913162 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.623645894 | 0.715562027 | 0.301188119 | 0.233127548 | 0.438730344 | 0.021840419 |
| G3_0 | -0,007388799 | 0,23463869 | 0,3928772 | -0,23062805 | 0,27182208 | -0,24239988 |
| G_0 | 0,774692202 | 0,47781903 | 0,49708814 | 0,46220442 | 0,01704124 | 0,39499707 |
| H3_0 | -0,224570506 | -0,31309556 | -0,37178335 | 0,04516723 | -0,15822242 | -0,27977569 |
| H5_1 | -0,028757505 | -0,27039221 | -0,06028144 | 0,05518579 | -0,07560729 | -0,05654669 |
| H5_2 | -0,064143327 | -0,05809311 | 0,2078138 | -0,03637709 | -0,21934049 | -0,07937746 |
| H5_3 | 0,103595541 | 0,01288591 | 0,02850561 | -0,05629202 | -0,07487395 | 0,29228375 |
| H6_1 | 0,095989618 | 0,42673426 | 0,28320785 | 0,07091327 | 0,38843728 | 0,06064141 |
| H7_2 | -0,177757445 | -0,24206579 | -0,17019611 | -0,13406473 | -0,42133354 | -0,1149648 |
| H7_3 | 0,315112689 | 0,15016216 | 0,01034991 | 0,01338882 | 0,06027204 | 0,30699083 |
| I2_0 | -0,312005552 | 0,05767193 | -0,0081961 | 0,08842355 | 0,04432664 | -0,39814717 |
| NL_2 | -0.2927695 | 0.25774075 | 0.30919979 | 0.02428239 | 0.14185398 | -0.09735954 |
| Q1_0 | 0.182596337 | 0.19115951 | 0.03834964 | 0.1132883 | 0.07803851 | -0.08160744 |
| Q1_1 | 0.215257844 | 0.10865689 | -0.06125851 | -0.0641793 | 0.14023974 | 0.14756478 |
| Q2_0 | 0.39824441 | 0.7592313 | 0.32667702 | 0.25117942 | 0.20877073 | 0.29660803 |

(b)

Tabla 4. 13 Correlación de características del llanto I2_1 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.14 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el NL_2, el cual presenta al igual que el anterior una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.86120247 | -0.4730364 | 0.511705425 | 06067176 | -0.52647093 | -0.72479827 |
| G3_0 | -0,077564739 | -0,06787479 | 0,57469705 | 0,03754104 | -0,41580821 | -0,1166498 |
| G_0 | -0,88380183 | -0,45479975 | 0,53394648 | -0,03989875 | -0,07311221 | -0,72793028 |
| H3_0 | 0,028680265 | -0,22490399 | -0,24250912 | -0,1005049 | -0,15817705 | -0,06800049 |
| H5_1 | -0,128179424 | -0,17958824 | -0,02633275 | -0,16446254 | -0,1784563 | -0,00615829 |
| H5_2 | -0,394357397 | -0,05408546 | -0,0399058 | -0,07635398 | -0,00160768 | -0,13779531 |
| H5_3 | 0,186216964 | 0,17371904 | 0,25111556 | -0,02802184 | -0,17187907 | -0,09012036 |
| H6_1 | 0,028267286 | 0,35508027 | 0,39113691 | 0,17183176 | 0,24928322 | -0,00280155 |
| H7_2 | 0,415566974 | -0,09271235 | 0,02805154 | -0,01498216 | -0,12443487 | 0,20178419 |
| H7_3 | 0,08932417 | 0,23188961 | 0,17933544 | 0,25109755 | 0,03916099 | 0,11785869 |
| I2_0 | -0,228025559 | 0,11377928 | 0,19729753 | 0,09004789 | -0,04444915 | -0,12404349 |
| I2_1 | -0,316640778 | 0,27143318 | 0,4074735 | 0,0592926 | 0,15954015 | -0,03905757 |
| Q1_0 | -0.362909209 | 0.05274793 | -0.21629207 | -0.2028048 | -0.0287294 | -0.17824277 |
| Q1_1 | -0.180599904 | -0.32161082 | -0.38887578 | -0.17237604 | -0.41789436 | -0.2060498 |
| Q2_0 | -0.771912125 | -0.61614028 | 0.4833879 | -0.28327463 | 0.31637793 | -0.70244091 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | -0.8655562 | -0.44588235 | 0.498811881 | -0.01856727 | -0.57840419 | -0.77270821 |
| G3_0 | 0,019230087 | 0,07214127 | 0,45552978 | 0,04291858 | -0,39081277 | 0,083322 |
| G_0 | -0,835391831 | -0,29161618 | 0,54401016 | -0,08268517 | 0,0137776 | -0,79935509 |
| H3_0 | 0,014095857 | -0,25104966 | -0,18805729 | -0,09006131 | -0,14062924 | -0,08593996 |
| H5_1 | -0,029969602 | -0,13655079 | -0,036817 | -0,14289019 | -0,1599897 | 0,00972502 |
| H5_2 | -0,362121337 | -0,08974707 | -0,03344862 | -0,07941789 | 0,02349894 | -0,24246573 |
| H5_3 | 0,039314501 | 0,17773821 | 0,23399161 | -0,03734942 | -0,18311714 | -0,13656998 |
| H6_1 | -0,132170077 | 0,40951575 | 0,35112329 | 0,17989094 | 0,20646949 | -0,1111301 |
| H7_2 | 0,409718011 | -0,11428896 | 0,02785159 | 0,00132863 | -0,09081066 | 0,30106914 |
| H7_3 | 0,024611767 | 0,23535007 | 0,1540881 | 0,27482159 | 0,03880271 | -0,00554867 |
| I2_0 | -0,035604681 | 0,07991531 | 0,14318216 | 0,0897678 | -0,08120265 | 0,05085713 |
| I2_1 | -0,2927695 | 0,25774075 | 0,30919979 | 0,02428239 | 0,14185398 | -0,09735954 |
| Q1_0 | -0.395634299 | 0.07098287 | -0.17646544 | -0.18872502 | -0.091542 | -0.19390536 |
| Q1_1 | -0.138199188 | -0.34732718 | -0.20895564 | -0.16601795 | -0.40923715 | -0.24985688 |
| Q2_0 | -0.724957555 | -0.49008417 | 0.34725283 | -0.19817939 | 0.25268215 | -0.67629231 |

(b)

Tabla 4. 14 Correlación de características del llanto NL_2 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.15 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el I2_0, el cual presenta una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0,875446684 | 0,286799827 | 0,30027688 | -0,10657166 | 0,271530584 | 0,558184162 |
| G3_0 | 0,808922558 | 0,49068271 | 0,14383213 | -0,07148841 | -0,16380342 | 0,83789264 |
| G_0 | 0,921891509 | 0,55259911 | 0,53541738 | 0,49623224 | 0,35762317 | 0,56205501 |
| H3_0 | 0,304346584 | -0,22060669 | -0,21931194 | 0,05934618 | 0,07305227 | 0,31136745 |
| H5_1 | 0,024909521 | -0,02056326 | 0,06782919 | 0,12556851 | 0,04758925 | -0,03664647 |
| H5_2 | 0,101515939 | -0,02769484 | -0,13684013 | 0,04862063 | -0,06072049 | -0,08228803 |
| H5_3 | -0,290381398 | 0,09722129 | 0,0015644 | -0,05780971 | 0,10462638 | -0,12354283 |
| H6_1 | -0,165324903 | 0,14566669 | -0,20562756 | -0,03841509 | 0,01680523 | -0,15527934 |
| H7_2 | -0,074654021 | -0,26346473 | 0,0352635 | 0,06837226 | -0,04463048 | 0,11468541 |
| H7_3 | -0,155692478 | -0,0725561 | 0,02987821 | -0,17795644 | 0,09317352 | -0,0054235 |
| I2_0 | 0,762541349 | 0,51903885 | -0,08261232 | -0,10138656 | -0,2685075 | 0,58245672 |
| I2_1 | 0,084902614 | 0,25073297 | -0,01883729 | 0,13082468 | 0,0684631 | -0,20224231 |
| NL_2 | -0,362909209 | 0,05274793 | -0,21629207 | -0,2028048 | -0,0287294 | -0,17824277 |
| Q1_1 | 0,569638075 | 0,26254812 | 0,34563321 | 0,15286127 | -0,12896166 | 0,39567446 |
| Q2_0 | 0,772187093 | 0,50369549 | 0,35219979 | 0,0712125 | -0,50443171 | 0,76454737 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0,852626674 | 0,292743157 | 0,340698893 | -0,03185789 | 0,34491555 | 0,673511939 |
| G3_0 | 0,668470519 | 0,33998374 | 0,10664844 | -0,0852889 | -0,17738141 | 0,71279592 |
| G_0 | 0,884619894 | 0,60279461 | 0,57688098 | 0,4694743 | 0,36830174 | 0,66734415 |
| H3_0 | 0,256405161 | -0,17268755 | -0,22922768 | 0,06009034 | 0,10703145 | 0,31899691 |
| H5_1 | -0,084219431 | -0,02778078 | 0,11743137 | 0,12920322 | 0,07535707 | 0,03934308 |
| H5_2 | 0,253046925 | 0,07579903 | -0,19126695 | 0,05521201 | -0,07919759 | 0,0935285 |
| H5_3 | -0,221686929 | 0,07637367 | -0,02169435 | -0,05554464 | 0,05340113 | -0,21733866 |
| H6_1 | -0,144091989 | 0,08495926 | -0,16165708 | -0,0458627 | -0,05802605 | -0,11746383 |
| H7_2 | 0,069663145 | -0,23180245 | 0,01635189 | 0,06149183 | -0,04927081 | 0,12623829 |
| H7_3 | -0,074225705 | -0,00358377 | 0,00812437 | -0,1918031 | 0,11809 | -0,07791722 |
| I2_0 | 0,437817522 | 0,24639148 | -0,06564362 | -0,10846905 | -0,18602001 | 0,4887036 |
| I2_1 | 0,182596337 | 0,19115951 | 0,03834964 | 0,1132883 | 0,07803851 | -0,08160744 |
| NL_2 | -0,395634299 | 0,07098287 | -0,17646544 | -0,18872502 | -0,00091542 | -0,19390536 |
| Q1_1 | 0,657591065 | 0,20168599 | 0,43270089 | 0,14045005 | -0,10395614 | 0,48581362 |
| Q2_0 | 0,688964346 | 0,50334863 | 0,29694036 | 0,09720767 | -0,52058664 | 0,78203229 |

(b)

Tabla 4. 15 Correlación de características del llanto Q1_0 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.15 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el I2_1, el cual presenta una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.699986693 | 0.465590226 | 0.253404564 | 0.168990167 | -0.24472668 | 0.36399221 |
| G3_0 | 0,620732803 | 0,66571011 | -0,3040107 | -0,16224304 | 0,6182907 | 0,30833727 |
| G_0 | 0,400839739 | 0,48945492 | 0,57764815 | 0,25268853 | -0,12803716 | 0,20877309 |
| H3_0 | 0,441227973 | 0,11435713 | -0,25356693 | -0,19450748 | -0,34165523 | 0,17435229 |
| H5_1 | 0,497096126 | 0,66460507 | 0,33521302 | 0,12904806 | 0,34501496 | 0,28200614 |
| H5_2 | -0,148567699 | -0,49918539 | 0,14102355 | 0,09391114 | -0,38007813 | -0,15278222 |
| H5_3 | 0,147933132 | 0,13884485 | 0,02643998 | -0,15701702 | 0,11731396 | 0,00402672 |
| H6_1 | 0,110613911 | -0,2519214 | -0,18285106 | 0,06237496 | -0,0132703 | -0,07851521 |
| H7_2 | 0,048135664 | -0,13123154 | 0,19327826 | -0,07962998 | -0,15705896 | 0,23314704 |
| H7_3 | 0,131759816 | -0,18631105 | -0,18864797 | 0,10960855 | -0,07892944 | 0,13595002 |
| I2_0 | 0,540871844 | 0,67403223 | -0,09695504 | 0,03226758 | 0,48348085 | 0,20833808 |
| NL_2 | 0,210964728 | 0,13375133 | -0,07142848 | -0,05624992 | 0,21797804 | -0,02291426 |
| Q1_0 | -0,180599904 | -0,32161082 | -0,38887578 | -0,17237604 | -0,41789436 | -0,2060498 |
| Q1_1 | 0,569638075 | 0,26254812 | 0,34563321 | 0,15286127 | -0,12896166 | 0,39567446 |
| Q2_0 | 0.693819112 | 0.60966408 | 0.53089571 | -0.07308876 | 0.574512 | 0.40897355 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| G2_0 | 0.472417006 | 0.363960396 | 0.295119394 | 0.107827606 | -0.34356436 | 0.449446709 |
| G3_0 | 0,658421753 | 0,5579267 | -0,26650805 | -0,13817644 | 0,66666174 | 0,42071671 |
| G_0 | 0,136857534 | 0,24481141 | 0,53357436 | 0,19458667 | -0,15043971 | 0,25778777 |
| H3_0 | 0,419548638 | 0,10386176 | -0,30159292 | -0,20920801 | -0,32825847 | 0,23041166 |
| H5-.1 | 0,506381202 | 0,65338481 | 0,18891128 | 0,20026715 | 0,38919381 | 0,32570906 |
| H5_2 | -0,306562379 | -0,51830851 | 0,1049718 | 0,09555491 | -0,45012403 | -0,12030617 |
| H5_3 | 0,103213376 | 0,17945232 | 0,06838863 | -0,13702349 | 0,1569868 | -0,01231716 |
| H6_1 | 0,064049006 | -0,16872021 | -0,2700418 | 0,03516535 | 0,06616547 | 0,17021189 |
| H7_2 | 0,099110735 | -0,09447051 | 0,09880604 | -0,00380923 | -0,06299436 | 0,09291317 |
| H7_3 | 0,193224231 | -0,13140762 | -0,19560949 | 0,06189663 | -0,0458236 | 0,15710888 |
| I2_0 | 0,425475359 | 0,63461463 | -0,14246598 | 0,07719202 | 0,44903656 | 0,12542652 |
| NL_2 | 0,215257844 | 0,10865689 | -0,06125851 | -0,0641793 | 0,14023974 | 0,14756478 |
| Q1_0 | -0,138199188 | -0,34732718 | -0,20895564 | -0,16601795 | -0,40923715 | -0,24985688 |
| Q1_1 | 0,657591065 | 0,20168599 | 0,43270089 | 0,14045005 | -0,10395614 | 0,48581362 |
| Q2_0 | 0.512682874 | 0.38570242 | 0.52379439 | -0.10239497 | 0.45906152 | 0.44955388 |

(b)

Tabla 4. 16 Correlación de características del llanto Q1_1 recién nacido 10 – C3

En la tabla 4.17 está el cálculo del coeficiente de Pearson(a) y el coeficiente de Spearman (b) donde se observa que en ambos casos los coeficientes que más predominan son con correlación débil (amarillo), para este cálculo del coeficiente el llanto referencia es el Q1_0, el cual presenta una variabilidad alta con respecto a los demás llantos del recién nacido.

| Coeficiente de Pearson | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| H3_0 | 0,098392235 | -0,49201894 | -0,08735383 | 0,04157163 | -0,54765408 | 0,06164721 |
| H5_1 | 0,356156797 | 0,37201964 | -0,1151335 | 0,19477984 | -0,12497085 | 0,37411491 |
| H5_2 | -0,391946228 | -0,44200831 | 0,11123685 | -0,19022062 | -0,00146741 | -0,29784386 |
| H5_3 | -0,430847189 | -0,46777468 | -0,17342841 | -0,0031541 | -0,41070158 | 0,1966355 |
| H6_1 | 0,011006656 | -0,07169491 | -0,38814431 | -0,12555625 | 0,13326416 | -0,05876036 |
| H7_2 | -0,36772495 | -0,39916048 | 0,2705601 | -0,18525308 | -0,04071317 | 0,02849016 |
| H7_3 | -0,073510064 | -0,48833498 | -0,41508348 | 0,03769393 | -0,09469612 | 0,06421364 |
| I2_0 | 0,920710754 | 0,76821448 | -0,24661361 | -0,27626142 | 0,67339467 | 0,77108858 |
| I2_1 | 0,633146324 | 0,83375452 | 0,53185577 | 0,24204673 | 0,18278063 | -0,10913162 |
| NL_2 | -0,771912125 | -0,61614028 | 0,4833879 | -0,28327463 | 0,31637793 | -0,70244091 |
| Q1_0 | 0,772187093 | 0,50369549 | 0,35219979 | 0,0712125 | -0,50443171 | 0,76454737 |
| Q1_1 | 0,693819112 | 0,60966408 | 0,53089571 | -0,07308876 | 0,574512 | 0,40897355 |
| G_0 | 0,742984325 | 0,83445407 | 0,6213904 | 0,06098426 | -0,39041212 | 0,48450227 |
| G3_0 | 0,955107607 | 0,91610546 | 0,02216953 | -0,31962485 | 0,49388256 | 0,84881081 |
| G2_0 | 0,766301744 | 0,730119935 | 0,220434691 | 0,156050433 | -0,30729418 | 0,55879505 |

(a)

| Coeficiente de Spearman | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Episodio de llanto | Loudness | Radio Alfa | Indice Hammarberg | slope 0 - 500 | slope 500 - 1500 | Flujo espectral |
| H3_0 | 0,13075895 | -0,55871835 | -0,12033421 | -0,03046635 | -0,54155258 | 0,25074595 |
| H5_1 | 0,319611314 | 0,32167756 | 0,01607485 | 0,19810714 | -0,16871726 | 0,44828234 |
| H5_2 | -0,491745837 | -0,4388614 | 0,11093451 | -0,20744139 | -0,00991945 | -0,37076184 |
| H5_3 | -0,351341979 | -0,47453672 | -0,23561753 | -0,02549579 | -0,36567569 | 0,08811906 |
| H6_1 | 0,141957158 | -0,03433876 | -0,33773074 | -0,13401004 | 0,16550952 | -0,03864466 |
| H7_2 | -0,167561319 | -0,32523209 | 0,20969548 | -0,1483871 | -0,04636058 | -0,0107575 |
| H7_3 | 0,048412383 | -0,40945707 | -0,34595239 | 0,04417874 | -0,14757794 | 0,07851028 |
| I2_0 | 0,912220496 | 0,73900228 | -0,42985948 | -0,18961095 | 0,64185963 | 0,89794459 |
| I2_1 | 0,39824441 | 0,7592313 | 0,32667702 | 0,25117942 | 0,20877073 | 0,29660803 |
| NL_2 | -0,724957555 | -0,49008417 | 0,34725283 | -0,19817939 | 0,25268215 | -0,67629231 |
| Q1_0 | 0,688964346 | 0,50334863 | 0,29694036 | 0,09720767 | -0,52058664 | 0,78203229 |
| Q1_1 | 0,512682874 | 0,38570242 | 0,52379439 | -0,10239497 | 0,45906152 | 0,44955388 |
| G_0 | 0,698671096 | 0,72648036 | 0,44449873 | 0,08628102 | -0,41045534 | 0,57903068 |
| G3_0 | 0,935859553 | 0,7891558 | -0,17900517 | -0,31027707 | 0,43003287 | 0,86281834 |
| G2_0 | 0,716649207 | 0,778882347 | 0,075403677 | 0,196055341 | -0,40116317 | 0,667839468 |

(b)

Tabla 4. 17 Correlación de características del llanto Q2_0 recién nacido 10 – C3

Este procedimiento se realiza con todos los episodios de llanto que tiene cada uno de los neonatos escogidos y por cada una de las 23 características. Estas tablas se pueden apreciar completas en el Anexo D.

A continuación se presentaran 10 tablas con los valores de los porcentajes de correlación calculados para cada característica de cada uno de los 10 niños escogidos, estos valores permitirán distinguir de forma porcentual que tipo de correlación predomina en cada una de las características.

Al igual que las tablas anteriores donde se distinguía por colores, los valores que se presentan en las siguientes tablas corresponden a diferentes porcentajes de correlación de los cuales hay que tener en cuenta que si se obtienen porcentajes altos en los rangos **insignificante** o **débil**, se interpretará que la variabilidad del llanto es alta, si se tienen porcentajes en el rango **Moderada** se puede interpretar que la variabilidad del llanto es media y por ultimo si se obtienen porcentajes entre los rangos **Fuerte** o **Muy Fuerte** puede interpretar que la variabilidad del llanto es baja

En la tabla 4.18 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 10 – C3, donde se puede observar que de las 23 características solo 7 tienen porcentajes de correlación muy fuertes pero no son significativos

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|-------------------------|---------|--------|-------|------|------|----------|--------|-------|-------|------|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 20 | 50 | 21.67 | 7.5 | 0.83 | 25 | 45 | 23.33 | 5.83 | 0 |
| Indice Hammarberg | 30 | 54.167 | 15.83 | 0 | 0 | 34.17 | 53.33 | 11.67 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 33.33 | 45 | 12.5 | 9.17 | 0 | 37.5 | 40.83 | 15 | 5.83 | 0 |
| mfcc3 | 30 | 56.67 | 13.33 | 0 | 0 | 30 | 58.33 | 10.83 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 36.67 | 49.17 | 13.33 | 0.83 | 0 | 40.83 | 50.83 | 7.5 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 35 | 59.17 | 5 | 0.83 | 0 | 36.67 | 57.5 | 5 | 0 | 0 |
| Loudness | 20.83 | 42.5 | 20.83 | 12.5 | 3.33 | 21.67 | 41.67 | 22.5 | 11.67 | 1.67 |
| slope 0 – 500 | 46.67 | 51.67 | 1.67 | 0 | 0 | 50.84 | 45.84 | 2.5 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 29.17 | 55 | 15.83 | 0 | 0 | 34.17 | 49.17 | 15 | 0.83 | 0 |
| Flujo espectral | 33.33 | 46.67 | 12.5 | 7.5 | 0 | 26.67 | 45.83 | 15.83 | 10.83 | 0 |
| mfcc2 | 18.33 | 50 | 25 | 5.83 | 0.83 | 19.17 | 50.83 | 28.33 | 0.83 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 27 | 55 | 9.17 | 5 | 3.33 | 32.5 | 47.5 | 13.33 | 5 | 0.83 |
| Jitter | 60.83 | 30.83 | 7.5 | 0.83 | 0 | 34.17 | 47.5 | 13.33 | 4.17 | 0 |
| Shimmer dB | 50.83 | 35.83 | 12.5 | 0.83 | 0 | 40.83 | 40 | 14.17 | 4.17 | 0 |
| HNR dB ACF | 33.33 | 42.5 | 12.5 | 10 | 1.67 | 29.17 | 42.5 | 17.5 | 8.33 | 1.67 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 37.5 | 59.17 | 3.33 | 0 | 0 | 25 | 68.33 | 5.83 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 60 | 36.67 | 3.33 | 0 | 0 | 56.67 | 40 | 2.5 | 0 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 45.83 | 51.67 | 2.5 | 0 | 0 | 43.33 | 52.5 | 3.33 | 0 | 0 |
| F1 amplitude Log Rel F0 | 28.33 | 50 | 12.5 | 5 | 4.17 | 28.33 | 52.500 | 15 | 3.33 | 0 |
| Frecuencia F2 | 51.67 | 46.67 | 1.67 | 0 | 0 | 51.67 | 45.83 | 1.67 | 0 | 0 |
| F2 amplitude Log Rel F0 | 26.67 | 50.83 | 12.5 | 5 | 5 | 30 | 50 | 16.67 | 1.67 | 0.83 |
| Frecuencia F3 | 50.33 | 48.33 | 0.83 | 0 | 0 | 55 | 42.5 | 1.67 | 0 | 0 |
| F3 amplitude Log Rel F0 | 27.5 | 50 | 12.5 | 4.17 | 5.83 | 33.33 | 46.67 | 15.83 | 3.33 | 0 |

Tabla 4. 18 Porcentaje de correlación de características niño 10-C3

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 10 – C3, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes

En la tabla 4.19 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 10 – LG, donde se puede observar que de las 23 características ninguna de ellas tienen porcentajes de correlación muy fuertes con valores mayores de 0.9

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|------|----|----------|-------|-------|------|----|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 28.07 | 66.08 | 5.85 | 0 | 0 | 33.33 | 59.65 | 7.02 | 0 | 0 |
| Indice Hammarberg | 40.35 | 57.31 | 2.34 | 0 | 0 | 41.52 | 56.73 | 1.75 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 33.33 | 54.97 | 11.70 | 0 | 0 | 32.75 | 61.40 | 5.85 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 38.60 | 57.31 | 4.09 | 0 | 0 | 40.94 | 54.97 | 4.09 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 37.43 | 56.14 | 5.85 | 0.58 | 0 | 38.01 | 55.56 | 5.85 | 0.58 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 50.29 | 48.54 | 1.17 | 0 | 0 | 47.37 | 50.29 | 2.34 | 0 | 0 |
| Loudness | 28.07 | 54.39 | 15.79 | 1.75 | 0 | 30.41 | 55.56 | 12.87 | 1.17 | 0 |
| mfcc2 | 26.90 | 63.16 | 8.19 | 1.75 | 0 | 26.90 | 64.33 | 8.19 | 0.58 | 0 |
| slope 0 – 500 | 49.71 | 50.29 | 0 | 0 | 0 | 56.14 | 43.86 | 0 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 35.09 | 57.31 | 7.60 | 0 | 0 | 35.09 | 57.89 | 7.02 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 26.90 | 63.16 | 8.19 | 1.75 | 0 | 26.90 | 64.33 | 8.19 | 0.58 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 51.46 | 45.61 | 2.92 | 0 | 0 | 50.29 | 46.20 | 3.51 | 0 | 0 |
| Jitter | 86.55 | 13.45 | 0 | 0 | 0 | 63.16 | 35.67 | 1.17 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 73.68 | 26.32 | 0 | 0 | 0 | 65.50 | 33.33 | 1.17 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 38.01 | 54.97 | 7.02 | 0 | 0 | 41.52 | 51.46 | 7.02 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 46.78 | 52.05 | 1.17 | 0 | 0 | 44.44 | 53.22 | 2.34 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 64.91 | 35.09 | 0 | 0 | 0 | 59.06 | 40.94 | 0 | 0 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 50.29 | 48.54 | 1.17 | 0 | 0 | 47.37 | 50.29 | 2.34 | 0 | 0 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 64.91 | 35.09 | 0 | 0 | 0 | 59.06 | 40.94 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 46.20 | 50.29 | 3.51 | 0 | 0 | 42.11 | 54.97 | 2.92 | 0 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 46.20 | 50.29 | 3.51 | 0 | 0 | 42.11 | 54.97 | 2.92 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 66.67 | 33.33 | 0 | 0 | 0 | 70.76 | 29.24 | 0 | 0 | 0 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 44.44 | 52.05 | 3.51 | 0 | 0 | 42.11 | 55.56 | 2.34 | 0 | 0 |

Tabla 4. 19 Porcentaje de correlación de características niño 10-LG

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 10 – LG, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes

En la tabla 4.20 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 10 – Sony, donde se puede observar que de las 23 características ninguna de ellas tienen porcentajes de correlación muy

fuertes con valores mayores de 0.9 y los porcentajes que más predominan son con respecto a la correlación débil que se encuentra en un rango de 30 a 60 %

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|---|----|----------|-------|-------|---|----|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 27.78 | 63.89 | 8.33 | 0 | 0 | 36.11 | 50 | 11.11 | 0 | 0 |
| Indice Hammarberg | 30.56 | 61.11 | 8.33 | 0 | 0 | 27.78 | 63.89 | 5.56 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 36.11 | 63.89 | 0 | 0 | 0 | 36.11 | 61.11 | 0 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 25.00 | 75.00 | 0 | 0 | 0 | 30.56 | 66.67 | 0 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 30.56 | 66.67 | 2.78 | 0 | 0 | 33.33 | 63.89 | 0 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 58.33 | 41.67 | 0 | 0 | 0 | 69.44 | 27.78 | 0 | 0 | 0 |
| slope 0 – 500 | 41.67 | 55.56 | 2.78 | 0 | 0 | 44.44 | 50 | 2.78 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 38.89 | 61.11 | 0 | 0 | 0 | 38.89 | 58.33 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 63.89 | 36.11 | 0 | 0 | 0 | 41.67 | 55.56 | 0 | 0 | 0 |
| Loudness | 30.56 | 55.56 | 13.89 | 0 | 0 | 41.67 | 44.44 | 11.11 | 0 | 0 |
| mfcc2 | 19.44 | 66.67 | 13.89 | 0 | 0 | 19.44 | 66.67 | 11.11 | 0 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 47.22 | 50 | 2.78 | 0 | 0 | 41.67 | 47.22 | 8.33 | 0 | 0 |
| Jitter | 86.11 | 13.89 | 0 | 0 | 0 | 50 | 47.22 | 0 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 72.22 | 27.78 | 0 | 0 | 0 | 52.78 | 44.44 | 0 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 36.11 | 61.11 | 2.78 | 0 | 0 | 44.44 | 50 | 2.78 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 61.11 | 38.89 | 0 | 0 | 0 | 47.22 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 44.44 | 55.56 | 0 | 0 | 0 | 41.67 | 55.56 | 0 | 0 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 61.11 | 36.11 | 2.78 | 0 | 0 | 50 | 44.44 | 2.78 | 0 | 0 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 41.67 | 52.78 | 5.56 | 0 | 0 | 44.44 | 50 | 2.78 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 52.78 | 47.22 | 0 | 0 | 0 | 52.78 | 44.44 | 0 | 0 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 47.22 | 47.22 | 5.56 | 0 | 0 | 41.67 | 50 | 5.56 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 66.67 | 33.33 | 0 | 0 | 0 | 63.89 | 33.33 | 0 | 0 | 0 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 41.67 | 52.78 | 5.56 | 0 | 0 | 41.67 | 50 | 5.56 | 0 | 0 |

Tabla 4. 20 Porcentaje de correlación de características niño 10 – Sony

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 10 – Sony, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

En la tabla 4.21 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 10 – X2, donde se puede observar que de las 23 características ninguna de ellas tienen porcentajes de correlación muy fuertes ni fuerte, es decir valores mayores de 0.7 y -0.7, además los porcentajes que más predominan son con respecto a la correlación débil que se encuentra en un rango de 30 a 50 %

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|---|----|----------|--------|-------|---|----|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 33.33 | 51.11 | 6.67 | 0 | 0 | 33.33 | 51.11 | 6.67 | 0 | 0 |
| Indice Hammarberg | 51.11 | 20 | 0 | 0 | 0 | 53.33 | 37.78 | 0 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 42.22 | 44.44 | 4.44 | 0 | 0 | 42.22 | 44.44 | 4.44 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 33.33 | 55.56 | 2.22 | 0 | 0 | 40 | 48.89 | 2.22 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 40 | 51.11 | 0 | 0 | 0 | 37.78 | 53.33 | 0 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 46.67 | 42.22 | 2.22 | 0 | 0 | 46.67 | 42.22 | 2.22 | 0 | 0 |
| slope 0 – 500 | 26.67 | 32.22 | 0 | 0 | 0 | 42.22 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 37.78 | 23.33 | 6.67 | 0 | 0 | 31.11 | 0 | 4.44 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 37.78 | 46.67 | 6.67 | 0 | 0 | 31.11 | 55.56 | 4.44 | 0 | 0 |
| mfcc2 | 37.78 | 53.33 | 0 | 0 | 0 | 42.22 | 48.89 | 0 | 0 | 0 |
| Loudness | 28.89 | 44.44 | 17.78 | 0 | 0 | 26.67 | 48.89 | 15.56 | 0 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 51.11 | 40 | 0 | 0 | 0 | 28.89 | 60 | 2.22 | 0 | 0 |
| Jitter | 73.33 | 17.78 | 73.33 | 0 | 0 | 62.22 | 28.89 | 62.22 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 60 | 31.11 | 0 | 0 | 0 | 60 | 31.11 | 0 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 35.56 | 55.56 | 0 | 0 | 0 | 44.44 | 46.67 | 0 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 35.56 | 55.56 | 0 | 0 | 0 | 35.56 | 55.56 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 60 | 31.11 | 0 | 0 | 0 | 64.44 | 26.67 | 0 | 0 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 51.11 | 40 | 0 | 0 | 0 | 51.11 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 60 | 31.11 | 0 | 0 | 0 | 37.778 | 53.333 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 66.67 | 24.44 | 0 | 0 | 0 | 66.67 | 24.44 | 0 | 0 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 51.11 | 40 | 0 | 0 | 0 | 37.78 | 51.11 | 2.22 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 71.11 | 20 | 0 | 0 | 0 | 62.22 | 28.89 | 0 | 0 | 0 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 53.33 | 37.78 | 0 | 0 | 0 | 33.33 | 55.56 | 2.22 | 0 | 0 |

Tabla 4. 21 Porcentaje de correlación de características niño 10 – X2

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 10 – X2, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

En la tabla 4.22 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 11 – Sony, donde se puede observar que de las 23 características ninguna de ellas tienen porcentajes de correlación muy fuertes ni fuerte, es decir valores mayores de 0.7 y -0.7, además los porcentajes que más predominan son con respecto a la correlación débil que se encuentra en un rango de 30 a 60 %.

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|-------------------------|---------|-------|-------|---|----|----------|-------|-------|---|----|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 | 33.33 | 60 | 6.67 | 0 | 0 |
| Indice Hammarberg | 40 | 60 | 0 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 40 | 40 | 20 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 46.67 | 46.67 | 6.67 | 0 | 0 | 33.33 | 60 | 6.67 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 40 | 60 | 0 | 0 | 0 | 53.33 | 46.67 | 0 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 40 | 60 | 0 | 0 | 0 | 40 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| slope 0 – 500 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 53.33 | 40 | 6.67 | 0 | 0 | 53.33 | 40.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 33.33 | 66.67 | 0 | 0 | 0 | 13.33 | 86.67 | 0 | 0 | 0 |
| mfcc2 | 26.67 | 53.33 | 20 | 0 | 0 | 26.67 | 66.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| Loudness | 6.67 | 66.67 | 26.67 | 0 | 0 | 26.67 | 46.66 | 26.67 | 0 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 | 33.33 | 60 | 6.67 | 0 | 0 |
| Jitter | 80 | 20 | 0 | 0 | 0 | 46.67 | 53.33 | 0 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 53.33 | 46.67 | 0 | 0 | 0 | 46.67 | 53.33 | 0 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 | 26.67 | 66.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 | 46.67 | 53.33 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 80 | 20 | 0 | 0 | 0 | 93.33 | 6.67 | 0 | 0 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 | 33.33 | 60 | 6.67 | 0 | 0 |
| F1 amplitude Log Rel F0 | 53.33 | 46.67 | 0 | 0 | 0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |
| F2 amplitude Log Rel F0 | 73.33 | 26.67 | 0 | 0 | 0 | 80 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |
| F3 amplitude Log Rel F0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |

Tabla 4. 22 Porcentaje de correlación de características niño 11 - LG

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 11 – LG, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

En la tabla 4.23 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 11 – Samsung, donde se puede observar que de las 23 características solo 4 características tienen correlaciones significativas, es decir, correlación fuerte y muy fuerte, al igual que los neonatos anteriores los porcentajes que más se pueden apreciar son con respecto a la correlación débil ya que se mantienen en un rango de 30 a 60%.

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|------|------|------|----------|--------|-------|------|------|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 50.83 | 35.83 | 12.5 | 0.83 | 0 | 40.83 | 40 | 14.17 | 4.17 | 0 |
| Indice Hammarberg | 33.33 | 42.5 | 12.5 | 10 | 1.67 | 29.17 | 42.5 | 17.5 | 8.33 | 1.67 |
| mfcc1 | 53.33 | 40 | 6.67 | 0 | 0 | 53.33 | 40.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 40 | 40 | 20 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 26.67 | 53.33 | 20 | 0 | 0 | 26.67 | 66.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 46.67 | 42.22 | 2.22 | 0 | 0 | 46.67 | 42.22 | 2.22 | 0 | 0 |
| slope 0 – 500 | 37.5 | 59.17 | 3.33 | 0 | 0 | 25 | 68.33 | 5.83 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 52.78 | 47.22 | 0 | 0 | 0 | 52.78 | 44.44 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 47.22 | 47.22 | 5.56 | 0 | 0 | 41.67 | 50 | 5.56 | 0 | 0 |
| mfcc2 | 33.33 | 66.67 | 0 | 0 | 0 | 13.33 | 86.67 | 0 | 0 | 0 |
| Loudness | 60.83 | 30.83 | 7.5 | 0.83 | 0 | 34.17 | 47.5 | 13.33 | 4.17 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 26.67 | 53.33 | 20 | 0 | 0 | 26.67 | 66.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| Jitter | 36.67 | 57.5 | 5 | 0 | 0 | 36.67 | 57.5 | 5 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 56.67 | 40 | 2.5 | 0 | 0 | 56.67 | 40 | 2.5 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 43.33 | 52.5 | 3.33 | 0 | 0 | 43.33 | 52.5 | 3.33 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 35.56 | 55.56 | 0 | 0 | 0 | 35.56 | 55.56 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 60 | 31.11 | 0 | 0 | 0 | 64.44 | 26.67 | 0 | 0 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 51.11 | 40 | 0 | 0 | 0 | 51.11 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 60 | 31.11 | 0 | 0 | 0 | 37.778 | 53.333 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 36.11 | 61.11 | 2.78 | 0 | 0 | 44.44 | 50 | 2.78 | 0 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 61.11 | 38.89 | 0 | 0 | 0 | 47.22 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 28.33 | 50 | 12.5 | 5 | 4.17 | 28.33 | 52.500 | 15 | 3.33 | 0 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 51.67 | 46.67 | 1.67 | 0 | 0 | 51.67 | 45.83 | 1.67 | 0 | 0 |

Tabla 4. 23 Porcentaje de correlación de características niño 11 – Samsung

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 11 – Samsung, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

En la tabla 4.24 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 11 – X2, donde se puede observar que de las 23 características solo 4 características tienen correlaciones significativas, es decir, correlación fuerte y muy fuerte, al igual que los neonatos anteriores los porcentajes que más se pueden apreciar son con respecto a la correlación débil ya que se mantienen en un rango de 30 a 60%

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|------|------|----------|-------|-------|-------|------|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 53.33 | 40 | 6.67 | 0 | 0 | 53.33 | 40.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| Indice Hammarberg | 33.33 | 66.67 | 0 | 0 | 0 | 13.33 | 86.67 | 0 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 61.11 | 38.89 | 0 | 0 | 0 | 47.22 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 46.67 | 51.67 | 1.67 | 0 | 0 | 50.84 | 45.84 | 2.5 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 46.67 | 51.67 | 1.67 | 0 | 0 | 50.84 | 45.84 | 2.5 | 0 | 0 |
| slope 0 – 500 | 40 | 40 | 20 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 26.67 | 53.33 | 20 | 0 | 0 | 26.67 | 66.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 46.67 | 46.67 | 6.67 | 0 | 0 | 33.33 | 60 | 6.67 | 0 | 0 |
| mfcc2 | 36.11 | 61.11 | 2.78 | 0 | 0 | 44.44 | 50 | 2.78 | 0 | 0 |
| Loudness | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 29.17 | 55 | 15.83 | 0 | 0 | 34.17 | 49.17 | 15 | 0.83 | 0 |
| Jitter | 33.33 | 46.67 | 12.5 | 7.5 | 0 | 26.67 | 45.83 | 15.83 | 10.83 | 0 |
| Shimmer dB | 33.33 | 45 | 12.5 | 9.17 | 0 | 37.5 | 40.83 | 15 | 5.83 | 0 |
| HNR dB ACF | 18.33 | 50 | 25 | 5.83 | 0.83 | 19.17 | 50.83 | 28.33 | 0.83 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 30 | 56.67 | 13.33 | 0 | 0 | 30 | 58.33 | 10.83 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 29.17 | 55 | 15.83 | 0 | 0 | 34.17 | 49.17 | 15 | 0.83 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 51.67 | 46.67 | 1.67 | 0 | 0 | 51.67 | 45.83 | 1.67 | 0 | 0 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 26.67 | 50.83 | 12.5 | 5 | 5 | 30 | 50 | 16.67 | 1.67 | 0.83 |
| Frecuencia F2 | 50.33 | 48.33 | 0.83 | 0 | 0 | 55 | 42.5 | 1.67 | 0 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 53.33 | 40 | 6.67 | 0 | 0 | 53.33 | 40.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 33.33 | 66.67 | 0 | 0 | 0 | 13.33 | 86.67 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 4. 24 Porcentaje de correlación de características niño 11 – X2

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 11 – X2, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

En la tabla 4.25 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 11 – C3, donde se puede observar que de las 23 características solo 9 características tienen correlaciones significativas, es decir, correlación fuerte, al igual que los neonatos anteriores los porcentajes que más se pueden apreciar son con respecto a la correlación débil ya que se mantienen en un rango de 30 a 60%

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|------|------|----------|-------|-------|-------|----|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 44.22 | 47.22 | 8.56 | 0 | 0 | 41.67 | 50 | 5.56 | 0 | 0 |
| Indice Hammarberg | 28.07 | 66.08 | 5.85 | 0 | 0 | 33.33 | 59.65 | 7.02 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 26.90 | 63.16 | 8.19 | 1.75 | 0 | 26.90 | 64.33 | 8.19 | 0.58 | 0 |
| mfcc3 | 26.90 | 63.16 | 8.19 | 1.75 | 0 | 26.90 | 64.33 | 8.19 | 0.58 | 0 |
| mfcc4 | 38.60 | 57.31 | 4.09 | 0 | 0 | 40.94 | 54.97 | 4.09 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 33.33 | 46.67 | 12.5 | 7.5 | 0 | 26.67 | 45.83 | 15.83 | 10.83 | 0 |
| slope 0 – 500 | 40.35 | 57.31 | 2.34 | 0 | 0 | 41.52 | 56.73 | 1.75 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 49.71 | 50.29 | 0 | 0 | 0 | 56.14 | 43.86 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 35.09 | 57.31 | 7.60 | 0 | 0 | 35.09 | 57.89 | 7.02 | 0 | 0 |
| mfcc2 | 33.33 | 54.97 | 11.70 | 0 | 0 | 32.75 | 61.40 | 5.85 | 0 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 37.43 | 56.14 | 5.85 | 0.58 | 0 | 38.01 | 55.56 | 5.85 | 0.58 | 0 |
| Loudness | 47.22 | 47.22 | 5.56 | 0 | 0 | 41.67 | 50 | 5.56 | 0 | 0 |
| Jitter | 51.46 | 45.61 | 2.92 | 0 | 0 | 50.29 | 46.20 | 3.51 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 86.55 | 13.45 | 0 | 0 | 0 | 63.16 | 35.67 | 1.17 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 73.68 | 26.32 | 0 | 0 | 0 | 65.50 | 33.33 | 1.17 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 38.01 | 54.97 | 7.02 | 0 | 0 | 41.52 | 51.46 | 7.02 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 33.33 | 45 | 12.5 | 9.17 | 0 | 37.5 | 40.83 | 15 | 5.83 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 18.33 | 50 | 25 | 5.83 | 0.83 | 19.17 | 50.83 | 28.33 | 0.83 | 0 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 | 60 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 53.33 | 40 | 6.67 | 0 | 0 | 53.33 | 40.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 33.33 | 66.67 | 0 | 0 | 0 | 13.33 | 86.67 | 0 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 40 | 40 | 20 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 26.67 | 53.33 | 20 | 0 | 0 | 26.67 | 66.67 | 6.67 | 0 | 0 |

Tabla 4. 25 Porcentaje de correlación de características niño 11 – C3

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 11 – C3, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

En la tabla 4.26 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 11 – Sony, donde se puede observar que de las 23 características casi la mitad de ella tienen porcentajes en correlaciones fuerte y muy fuerte, pero con valores relativamente bajos con respecto al otro tipo de correlaciones que siguen manteniendo un rango alto en los porcentajes sobre todo en la correlación débil e insignificantes.

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|------|------|----------|-------|-------|-------|------|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 29.17 | 55 | 15.83 | 0 | 0 | 34.17 | 49.17 | 15 | 0.83 | 0 |
| Indice Hammarberg | 33.33 | 46.67 | 12.5 | 7.5 | 0 | 26.67 | 45.83 | 15.83 | 10.83 | 0 |
| mfcc1 | 36.67 | 49.17 | 13.33 | 0.83 | 0 | 40.83 | 50.83 | 7.5 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 60.83 | 30.83 | 7.5 | 0.83 | 0 | 34.17 | 47.5 | 13.33 | 4.17 | 0 |
| mfcc4 | 50.83 | 35.83 | 12.5 | 0.83 | 0 | 40.83 | 40 | 14.17 | 4.17 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 28.33 | 50 | 12.5 | 5 | 4.17 | 28.33 | 52.50 | 15 | 3.33 | 0 |
| slope 0 – 500 | 33.33 | 45 | 12.5 | 9.17 | 0 | 37.5 | 40.83 | 15 | 5.83 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 18.33 | 50 | 25 | 5.83 | 0.83 | 19.17 | 50.83 | 28.33 | 0.83 | 0 |
| Flujo espectral | 30 | 56.67 | 13.33 | 0 | 0 | 30 | 58.33 | 10.83 | 0 | 0 |
| mfcc2 | 27 | 55 | 9.17 | 5 | 3.33 | 32.5 | 47.5 | 13.33 | 5 | 0.83 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 33.33 | 42.5 | 12.5 | 10 | 1.67 | 29.17 | 42.5 | 17.5 | 8.33 | 1.67 |
| Loudness | 46.67 | 51.67 | 1.67 | 0 | 0 | 50.84 | 45.84 | 2.5 | 0 | 0 |
| Jitter | 37.5 | 59.17 | 3.33 | 0 | 0 | 25 | 68.33 | 5.83 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 35 | 59.17 | 5 | 0.83 | 0 | 36.67 | 57.5 | 5 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 60 | 36.67 | 3.33 | 0 | 0 | 56.67 | 40 | 2.5 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 45.83 | 51.67 | 2.5 | 0 | 0 | 43.33 | 52.5 | 3.33 | 0 | 0 |
| Frecuencia F1 | 51.67 | 46.67 | 1.67 | 0 | 0 | 51.67 | 45.83 | 1.67 | 0 | 0 |
| Ancho de banda F1 | 26.67 | 50.83 | 12.5 | 5 | 5 | 30 | 50 | 16.67 | 1.67 | 0.83 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 50.33 | 48.33 | 0.83 | 0 | 0 | 55 | 42.5 | 1.67 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 28.07 | 54.39 | 15.79 | 1.75 | 0 | 30.41 | 55.56 | 12.87 | 1.16 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 52 | 25 | 23 | 0 | 0 | 51 | 26 | 23 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 26.67 | 53.33 | 20 | 0 | 0 | 26.67 | 66.67 | 6.67 | 0 | 0 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 40 | 30 | 30 | 0 | 0 | 40 | 53.33 | 6.67 | 0 | 0 |

Tabla 4. 26 Porcentaje de correlación de características niño 11 – Sony

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 11 – Sony, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

En la tabla 4.27 se obtienen los porcentajes de correlación que tienen las características en todos los episodios de llanto que tiene el neonato 12 – Sony, donde se puede observar que de las 23 características solo 8 características tienen correlaciones fuertes pero son porcentajes mínimos, sigue siendo altos los porcentajes de las correlaciones débiles manteniendo el mismo rango que los anteriores

| Coeficientes | Pearson | | | | | Spearman | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|------|------|----------|--------|-------|------|------|
| | I | D | M | F | MF | I | D | M | F | MF |
| Radio Alfa | 28.07 | 66.08 | 5.85 | 0 | 0 | 33.33 | 59.65 | 7.02 | 0 | 0 |
| Indice Hammarberg | 40.35 | 57.31 | 2.34 | 0 | 0 | 41.52 | 56.73 | 1.75 | 0 | 0 |
| mfcc1 | 33.33 | 54.97 | 11.70 | 0 | 0 | 32.75 | 61.40 | 5.85 | 0 | 0 |
| mfcc3 | 38.60 | 57.31 | 4.09 | 0 | 0 | 40.94 | 54.97 | 4.09 | 0 | 0 |
| mfcc4 | 37.43 | 56.14 | 5.85 | 0.58 | 0 | 38.01 | 55.56 | 5.85 | 0.58 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – A3 | 51.67 | 46.67 | 1.67 | 0 | 0 | 51.67 | 45.83 | 1.67 | 0 | 0 |
| slope 0 – 500 | 49.71 | 50.29 | 0 | 0 | 0 | 56.14 | 43.86 | 0 | 0 | 0 |
| slope 500 – 1500 | 35.09 | 57.31 | 7.60 | 0 | 0 | 35.09 | 57.89 | 7.02 | 0 | 0 |
| Flujo espectral | 26.90 | 63.16 | 9.19 | 0.75 | 0 | 26.90 | 64.33 | 8.19 | 0.58 | 0 |
| mfcc2 | 26.90 | 63.16 | 8.19 | 1.75 | 0 | 26.90 | 64.33 | 8.19 | 0.58 | 0 |
| F0 semitono 27.5 Hz | 51.46 | 45.61 | 2.92 | 0 | 0 | 50.29 | 46.20 | 3.51 | 0 | 0 |
| Loudness | 28.07 | 54.39 | 15.79 | 1.75 | 0 | 30.41 | 55.56 | 12.87 | 1.17 | 0 |
| Jitter | 86.55 | 13.45 | 0 | 0 | 0 | 63.16 | 35.67 | 1.17 | 0 | 0 |
| Shimmer dB | 73.68 | 26.32 | 0 | 0 | 0 | 65.50 | 33.33 | 1.17 | 0 | 0 |
| HNR dB ACF | 45.83 | 51.67 | 2.5 | 0 | 0 | 43.33 | 52.5 | 3.33 | 0 | 0 |
| log Rel F0 –H1 – H2 | 28.33 | 50 | 12.5 | 5 | 4.17 | 28.33 | 52.500 | 15 | 3.33 | 0 |
| Frecuencia F1 | 28.67 | 50.83 | 15.5 | 4.17 | 0.83 | 31 | 50 | 16.67 | 0.67 | 0.83 |
| Ancho de banda F1 | 52.33 | 46.33 | 0.83 | 0 | 0 | 55 | 42.5 | 1.67 | 0 | 0 |
| F1 amplitud Log Rel F0 | 45.83 | 51.67 | 2.5 | 0 | 0 | 43.33 | 52.5 | 3.33 | 0 | 0 |
| Frecuencia F2 | 28.33 | 52 | 12.5 | 5 | 2.17 | 28.33 | 52.5 | 17 | 3.33 | 0 |
| F2 amplitud Log Rel F0 | 51.67 | 46.67 | 1.67 | 0 | 0 | 51.67 | 45.83 | 1.67 | 0 | 0 |
| Frecuencia F3 | 26.67 | 50.83 | 12.5 | 5 | 5 | 30 | 50 | 16.67 | 1.67 | 0.83 |
| F3 amplitud Log Rel F0 | 48.33 | 50.33 | 0.83 | 0 | 0 | 55 | 42.5 | 1.67 | 0 | 0 |

Tabla 4. 27 Porcentaje de correlación de características niño 12 – Sony

En correspondencia con las características más predominantes escogidas en el capítulo 3 para el niño 12 – Sony, se obtiene una correlación insignificante y/o débil dando como tal una variabilidad alta para ambos coeficientes.

Como se puede observar en todas las tablas de porcentajes de los neonatos las correlaciones de tipo insignificante y débil son las que predominan con respecto a los demás tipos de correlación manejando porcentajes altos entre 30 y 60 %, estos porcentajes que dan como resultado permite interpretar que la variabilidad entre los episodio de llanto es alta

CONCLUSIONES

- Como se observó en las tablas de correlación se obtuvieron valores bajos entre las mismas características de los diferentes episodios de llanto que presenta un mismo neonato, lo que implica que se tiene una alta variabilidad entre estos.
- Ya que las clases con las cuales se trabajaron son estimaciones subjetivas del personal médico y las madres no primerizas, priman las correlaciones débiles e insignificantes, por lo tanto se obtiene una variabilidad alta de los episodios de llanto del mismo niño estudiado.
- Incluso en una misma clase estimada los porcentajes de correlación que más priman son los insignificantes y débiles lo que implica que la variabilidad entre ellos sigue siendo alta y esto puede significar que los episodios de llantos no correspondan a la misma causa, por la misma razón que fueron estimadas las causas
- ya que según la bibliografía las emociones se aprenden al transcurrir el tiempo, por lo tanto en el momento que se toman las muestras. el recién nacido apenas están desarrollando su sistema fonador y no han aprendido expresar con totalidad a través de él sus emociones con claridad, haciendo que las clases estimadas de los llantos varíen y no correspondan unas con otras.
- Tanto el coeficiente de correlación de Pearson como el de Spearman mantienen unos porcentajes de los tipos de correlación con variaciones similares, lo que implica que los segmentos de los episodios de llanto tomados pueden analizarse con cualquiera de los coeficientes de correlación mencionados.
- El mfcc1, el mfcc3, el índice de Hammarberg y el radio alfa son características que permitirían una posible clasificación de los diferentes episodios de llanto, debido a ocupan las primeras posiciones de los vector únicos Z correspondiente a cada uno de los recién nacidos

TRABAJOS FUTUROS

- Determinar la variabilidad de los episodios de llantos en una población donde la edad del recién nacido sea mayor a un mes de vida para garantizar que los episodios de llanto que pertenezcan a una misma clase tengan características en común
- Evaluar y validar la clasificación de los episodios de llanto por medio de una aplicación móvil que permita tanto a personal médico como a los padres primerizos o no corroborar la aproximación de la causa por la cual un recién nacido o un niño genera un llanto

Bibliografía

- [1] S. S. Jagtap and P. K. Kadbe, "System Propose For Be Acquainted With newborn Cry Emotion Using Linear Frequency Cepstral Coefficient," in *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*, 2016, pp. 238–242.
- [2] T. Fuhr, H. Reetz, and C. Wegener, "Comparison of Supervised-learning Models for Infant Cry Classification / Vergleich von Klassifikationsmodellen zur Säuglingsschreianalyse," *Int. J. Heal. Prof.*, vol. 2, no. 1, pp. 4–15, 2015.
- [3] G. E. Gustafson, J. B. Bisson, J. M. MacDonald, and J. A. Green, "Affective reactivity to cry sounds predicts young women's reactivity and behavior in a simulated caregiving task," *Infant Behav. Dev.*, no. July, pp. 0–1, 2017.
- [4] T. Etz, H. Reetz, C. Wegener, and F. Bahlmann, "Infant cry reliability: Acoustic homogeneity of spontaneous cries and pain-induced cries," *Speech Commun.*, vol. 58, no. Supplement C, pp. 91–100, 2014.
- [5] P. Sirviö and K. Michelsson, "Sound-spectrographic cry analysis of normal and abnormal newborn infants. A review and a recommendation for standardization of the cry characteristics," *Folia Phoniatr. (Basel)*, vol. 28, pp. 161–173, 1976.
- [6] A. W. Lynip, "The use of magnetic devices in the collection and analysis of the preverbal utterances of an infant.," *Genet. Psychol.*, vol. 44, pp. 221–260, 1951.
- [7] M. P. Robb, D. H. Crowell, and P. Dunn-Rankin, "Sudden Infant Death Syndrome: Cry characteristics," *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, vol. 77, no. 8, pp. 1263–1267, 2013.
- [8] A. Fort and C. Manfredi, "Acoustic analysis of newborn infant cry signals," *Med. Eng. Phys.*, vol. 20, no. 6, pp. 432–442, May 1998.
- [9] M. L. Orlandi, S. Manfredi, C. Bocchi, L. Scattoni, "Automatic newborn cry analysis: A Non-invasive tool to help autism early diagnosis," *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, pp. 2953–2956, 2012.
- [10] K. Michelsson and O. Michelsson, "Phonation in the newborn, infant cry," *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, vol. 49, no. SUPPL. 1, pp. 297–301, 1999.
- [11] K. Michelsson, K. Eklund, P. Leppänen, and H. Lyytinen, "Cry characteristics of 172 healthy 1- to 7-day-old infants," *Folia Phoniatr. Logop.*, vol. 54, no. 4, pp. 190–200, 2002.
- [12] P. Lundqvist, A. Kleberg, A. K. Edberg, B. A. Larsson, L. Hellström-Westas, and E. Norman, "Development and psychometric properties of the Swedish ALPS-Neo pain and stress assessment scale for newborn infants," *Acta Paediatr. Int. J. Paediatr.*, vol. 103, no. 8, pp. 833–839, 2014.
- [13] M. Petroni, A. S. Malowany, C. C. Johnston, and B. J. Stevens, "Classification of infant cry vocalizations using artificial neural networks (ANNs)," in *1995 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1995. ICASSP-95*, 1995, no. Cim, pp. 3475–3478.

- [14] C. Dionysakopoulou, M. Giannakopoulou, L. Liannou, E. Bozas, K. Zannikos, and V. Matziou, "Validation of Greek Versions of the Neonatal Infant Pain Scale and Premature Infant Pain Profile in Neonatal Intensive Care Unit," *Pain Manag. Nurs.*, pp. 1–7, 2017.
- [15] P. S. Zeskind and R. G. Barr, "Acoustic characteristics of naturally occurring cries of infants with 'colic'.," *Child Dev.*, vol. 68, no. 3, pp. 394–403, 1997.
- [16] Z. Erkut and S. Yildiz, "The Effect of Swaddling on Pain, Vital Signs, and Crying Duration during Heel Lance in Newborns," *Pain Manag. Nurs.*, vol. 18, no. 5, pp. 328–336, 2017.
- [17] H. Hiscock *et al.*, "Preventing Early Infant Sleep and Crying Problems and Postnatal Depression: A Randomized Trial," *Pediatrics*, vol. 133, no. 2, pp. e346–e354, 2014.
- [18] I. de O. Pinheiro, F. E. T. Lima, F. J. Magalhães, L. M. Farias, and M. do S. M. Sherlock, "Pain evaluation in newborns using the Neonatal Facial Activity Coding scale during blood gases analysis," *Rev. Dor*, vol. 16, no. 3, pp. 176–180, 2015.
- [19] A. Branco, S. M. W. Fekete, L. M. S. S. Rugolo, and M. I. Rehder, "The newborn pain cry: Descriptive acoustic spectrographic analysis," *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, vol. 71, no. 4, pp. 539–546, 2007.
- [20] A. Karakoç and F. Türker, "Effects of white noise and holding on pain perception in newborns," *Pain Manag. Nurs.*, vol. 15, no. 4, pp. 864–870, 2014.
- [21] J. Krechel, Susan W and BILDNER, "CRIES: a new neonatal postoperative pain measurement score. Initial testing of validity and reliability," *Pediatr. Anesth.*, vol. 5, no. 1, pp. 53–61, 1995.
- [22] M. Choudhary *et al.*, "To study the effect of Kangaroo Mother Care on pain response in preterm neonates and to determine the behavioral and physiological responses to painful stimuli in preterm neonates: A study from western Rajasthan," *J. Matern. Neonatal Med.*, vol. 29, no. 5, pp. 826–831, 2016.
- [23] G. E. Gustafson, S. M. Sanborn, H. C. Lin, and J. A. Green, "Newborns' Cries are Unique to Individuals (But Not to Language Environment)," *Infancy*, vol. 22, no. 6, pp. 736–747, 2017.
- [24] H. Nakayama, "Emergence of amae crying in early infancy as a possible social communication tool between infants and mothers," *Infant Behav. Dev.*, vol. 40, no. Supplement C, pp. 122–130, 2015.
- [25] G. Esposito, N. Manian, A. Truzzi, and M. H. Bornstein, "Response to infant cry in clinically depressed and non-depressed mothers," *PLoS One*, vol. 12, no. 1, pp. 1–15, 2017.
- [26] M. J. Aguilar Cordero, N. Mur Villar, and I. García García, "Evaluation of Pain in Healthy Newborns and in Newborns with Developmental Problems (Down Syndrome)," *Pain Manag. Nurs.*, vol. 16, no. 3, pp. 267–272, 2015.
- [27] G. Esposito, N. Hiroi, and M. L. Scattoni, "Cry, baby, cry: Expression of distress as a biomarker and modulator in autism spectrum disorder," *Int. J. Neuropsychopharmacol.*, vol. 20, no. 6, pp. 498–503, 2017.
- [28] M. M. Jam and H. Sadjedi, "Wavelet-based automatic cry recognition system for

- detecting infants with hearing-loss from normal infants,” *J. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–2, 2013.
- [29] K. Wermke *et al.*, “Fundamental frequency variation within neonatal crying: Does ambient language matter?,” *Speech, Lang. Hear.*, vol. 19, no. 4, pp. 211–217, 2016.
- [30] E. Nurmsoo *et al.*, “Fundamental Frequency Variation of Neonatal Spontaneous Crying Predicts Language Acquisition in Preterm and Term Infants,” *Front. Psychol.*, vol. 8, no. December, pp. 1–11, 2017.
- [31] X. Ge, J. R. Tao, J. Wang, S. M. Pan, and Y. W. Wang, “Bayesian estimation on diagnostic performance of Face, Legs, Activity, Cry, and Consolability and Neonatal Infant Pain Scale for infant pain assessment in the absence of a gold standard,” *Paediatr. Anaesth.*, vol. 25, no. 8, pp. 834–839, 2015.
- [32] D. I. E. BECEIRO, “Análisis Acústico Del Llanto Del Niño Recién Nacido Orientado Al Diagnóstico De Patología En Su Neurodesarrollo Debido a Hipoxia,” pp. 1–9, 2006.
- [33] A. Quilis, *Tratado de fonología y fonética españolas*. Arco libros, 1997.
- [34] J. Bernal Bermúdez, J. Bobadilla Sancho, and P. Gómez Vilda, *Reconocimiento de voz y fonética acústica*. 2000.
- [35] K. García, M. Herrera, and A. Aldana, “Reconocimiento De Características Vocales Enfocado a La Identificación De Hablantes,” *Ing. USBMed*, vol. 5, no. 2, pp. 53–61, 2014.
- [36] S. Fernández González, F. Vázquez de la Iglesia, M. Marqués Girbau, and R. García-Tapia Urrutia, “La historia de la voz,” *Rev. Med. Univ. Navarra*, vol. 50, no. 3, pp. 9–13, 2006.
- [37] J. C. Rabiner, Lawrence R and Juang, Biing-Hwang and Rutledge, *Fundamentals of speech recognition*. PTR Prentice Hall Englewood Cliffs, 1993.
- [38] Y. Lavner, R. Cohen, D. Ruinskiy, and H. Ijzerman, “Baby Cry Detection in Domestic Environment using Deep Learning,” in *2016 ICSEE International Conference on the Science of Electrical Engineering*, 2016, p. 5.
- [39] T. Kinnunen and H. Li, “An overview of text-independent speaker recognition: From features to supervectors,” *Speech Commun.*, vol. 52, no. 1, pp. 12–40, 2010.
- [40] F. Eyben, “Real-time Speech and Music Classification by Large Audio Feature Space Extraction,” Technische Universität München, Germany, 2015.
- [41] Y. A. El-Imam, “A Personal Computer-based Speech Analysis and Synthesis System,” *IEEE Micro*, vol. 7, no. 3, pp. 4–21, 1987.
- [42] Y. Benesty, Jacob and Sondhi, M Mohan and Huang, *Springer handbook of speech processing*. Springer, 2007.
- [43] A. and others García Muro, “Utilización de medidas de calidad de la señal de voz para compensación de variabilidad inter sesión en reconocimiento de locutor,” 2012.
- [44] C. C. Germán and C. G. O. Danilo, “Comparación de algoritmos de estimación del

pitch en el análisis acústico de la voz normal y patológica,” in *VII Simposio de tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial, Bucaramanga, Colombia, 2002*.

- [45] H. Fletcher, “Auditory Patterns Fletcher H RevModPhys.12.47.pdf,” *Rev. Mod. Phys.*, vol. 12, pp. 47–65, 1940.
- [46] L. Rueda, “Mejoras en reconocimiento del habla basadas en mejoras en la parametrización de la voz,” 2011.
- [47] J. H. Jurafsky, Dan and Martin, *Speech and language processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition*. 2009.
- [48] M. Gómez-Gómez, C. Danglot-Banck, and M. Aceves-Gómez, “Clasificación de los niños recién nacidos,” *Rev. Mex. Pediatr.*, vol. 79, no. 1, pp. 32–39, 2012.
- [49] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, *Tratamiento digital de señales*. 2007.
- [50] J. Basterretche, “Dispositivos Móviles,” 2007.
- [51] J. A. Cortés O. and H. B. Cano G., “FUNDAMENTOS Y APLICACIÓN DEL MUESTREO EN SEÑALES (Purpose and scope of sampling signal locations in the high band of the spectrum),” *Sci. Tech.*, no. 39, pp. 37–42, 2008.
- [52] A. Sainz, “EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS EN MICRÓFONOS ELECTRET,” 2012.
- [53] M. J. Crocker, *Handbook of noise and vibration control*. 2007.
- [54] D. Mazzoni, “Audacity® software is copyright © 1999-2019 Audacity Team.,” 1999. [Online]. Available: <https://www.audacityteam.org/about/citations-screenshots-and-permissions/>. [Accessed: 05-Apr-2019].
- [55] F. Bellard, “FFmpeg,” 2000. .
- [56] F. Eyben *et al.*, “The Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS) for Voice Research and Affective Computing,” *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 7, no. 2, pp. 190–202, 2016.
- [57] F. Eyben, M. Woellmer, and B. Schuller, “openSMILE the Munich open Speech and Music Interpretation by Large Space Extraction toolkit,” pp. 1–163, 2010.
- [58] B. Schuller and G. Rigoll, “Recognising interest in conversational speech - Comparing bag of frames and supra-segmental features,” *Proc. Annu. Conf. Int. Speech Commun. Assoc. INTERSPEECH*, pp. 1999–2002, 2009.
- [59] B. Perdomo, “Análisis acústico de la voz en niños de 6 a 12 años de edad sin patología vocal. Consulta de foniatría del Hospital Pediátrico,” 2004.
- [60] P. H. Salado, “Detección de la tonalidad en audio musical,” 2017.
- [61] P. Cisternas and S. Díaz, “Producidas Por Sujetos De Habla Hispana , Chilenos,” 2012.
- [62] M. C. A. Jackson-Menaldi, *La voz patológica*. 2002.
- [63] C. Aponte, “Evolución: de la voz desde el nacimiento hasta la senectud,” *Rev.*

Colomb. Rehabil. , vol. 1, no. 1, pp. 3–8, 2002.

- [64] D. J. Hermes, “Measurement of pitch by subharmonic summation,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 83, no. 1, pp. 257–264, 1988.
- [65] A. H. Benade, “Fundamentals of Musical Acoustics,” 1990, p. 596.
- [66] J. Sundberg, “The Science of the Singing Voice, Northern Illinois U,” *Press. Dekalb*, p. 226, 1987.
- [67] S. V. Ángeles, “Análisis de audio,” 2014.
- [68] von L. H. Iwata S, “Pitch perturbations in normal and pathological voices,” *Folia Phoniatr. (Basel)*., vol. 22, pp. 117–128, 1970.
- [69] J. González, T. Cervera, and J. L. Miralles, “Análisis acústico de la voz: Fiabilidad de un conjunto de parámetros multidimensionales,” *Acta Otorrinolaringológica Española*, vol. 53, no. 4, pp. 256–268, 2002.
- [70] E. Zwicker and H. Fastl, “Psychoacoustics Facts and Models Springer Heiderberg,” 1999.
- [71] C. P. Vega and A. C. López, *Sistemas de telecomunicación*. 2007.
- [72] B. Hammarberg, B. Fritzell, J. Gauffin, J. Sundberg, and L. Wedin, “Perceptual and acoustic correlates of abnormal voice qualities,” *Acta Otolaryngol.*, vol. 90, pp. 441–451, 1980.
- [73] F. Aguirre, “Desarrollo y análisis de clasificadores de señales de audio,” Universidad Politecnica de Valencia, 2017.
- [74] M. A. Hossan, S. Memon, and M. A. Gregory, “A novel approach for MFCC feature extraction,” in *4th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS'2010 - Proceedings*, 2010, pp. 1–5.
- [75] S. Memon, M. Lech, and L. He, “Using information theoretic vector quantization for inverted MFCC based speaker verification,” *2009 2nd Int. Conf. Comput. Control Commun. IC4 2009*, pp. 1–5, 2009.
- [76] S. C. Joshi and A. N. Cheeran, “MATLAB Based Feature Extraction Using Mel Frequency Cepstrum Coefficients for Automatic Speech Recognition,” *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 1820–1823, 2014.
- [77] J. Saraswathy, M. Hariharan, S. Yaacob, and W. Khairunizam, “Automatic classification of infant cry: A review,” *2012 Int. Conf. Biomed. Eng. ICoBE 2012*, no. February, pp. 543–548, 2012.
- [78] S. Patel, K. R. Scherer, J. Sundberg, and E. Björkner, “Acoustic markers of emotions based on voice physiology,” *Speech Prosody*, pp. 4–7, 2010.
- [79] L. Tamarit, M. Goudbeek, and K. Scherer, “Spectral Slope Measurements in Emotionally Expressive Speech,” *Proc. ISCA Tutor. Res. Work. Speech Anal. Process. Knowl. Discov.*, p. 1–4, paper 007, 2008.
- [80] F. Eyben, F. Weninger, F. Gross, and B. Schuller, “Recent developments in openSMILE, the munich open-source multimedia feature extractor,” *Proc. 21st ACM Int. Conf. Multimed. - MM '13*, no. May, pp. 835–838, 2013.

- [81] K. R. Scherer, J. Sundberg, L. Tamarit, and G. L. Salomão, "Comparing the acoustic expression of emotion in the speaking and the singing voice," *Comput. Speech Lang.*, vol. 29, no. 1, pp. 218–235, 2015.
- [82] P. Schober and L. A. Schwarte, "Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation," *Anesth. Analg.*, vol. 126, no. 5, pp. 1763–1768, 2018.
- [83] I. Díaz, C. García, M. León, F. Ruiz, and F. Torres, "Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS) Ayudantía," *Univ. Chile-Facultad Ciencias Soc. (FACSO)-Departamento Sociol.*, pp. 1–19, 2014.
- [84] A. Pardo and M. Á. Ruiz, *SPSS 11: Guía para el análisis de datos*. Mc Graw Hill, 2002.
- [85] A. Badii, O. P. Guillen, S. Lugo, and J. J. Aguilar Garnica, "Correlación No-Paramétrica y su Aplicación en la Investigaciones Científica," *Int. J. Good Conscienc. Agosto*, vol. 9, no. 2, pp. 31–40, 2014.
- [86] P. Morales and L. Rodríguez, "Coef Kendal y Sperman," *Barquisimeto, Venez. Univ. Centroccidental Lisandro Alvarado*, 2016.