



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Programa de Maestría y Doctorado en Música

Facultad de Música

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico

## **Caracterización acústica y perceptual de la expresividad vocal en el canto operístico**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTORA EN MÚSICA  
(Tecnología Musical)

PRESENTA:  
GISELA GRACIDA OLVERA

Tutor principal:  
DR. FELIPE ORDUÑA BUSTAMANTE - CCADET

Miembros del Comité Tutor:  
DR. RICARDO RUIZ BOULLOSA - CCADET  
DR. LUIS ALFONSO ESTRADA RODRÍGUEZ - FaM

México, D. F. enero de 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



# Índice de contenido

Dedicatoria y agradecimientos.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
Capítulo 1. MARCO TEÓRICO .....	11
1.1 El estudio de las emociones en la música.....	13
1.2 Acústica y recursos expresivos de la voz cantante.....	25
1.3 Métodos de análisis acústico-emocional del canto operístico.....	35
a) Método de modos y categorías.....	35
b) Método de codificación y relaciones.....	42
Capítulo 2. PLAN Y MÉTODO DE ANÁLISIS.....	47
2.1 Planteamiento de un método de acústica y percepción.....	49
2.2 Procesos de desarrollo y evaluación.....	51
a) Criterios de selección de grabaciones.....	51
b) Automatización del análisis acústico.....	51
c) Diseño de pruebas perceptuales.....	56
Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA.....	59
3.1 Material.....	61
a) Frases cantadas y contenido emocional.....	62
b) Cantantes.....	69
3.2 Caracterización acústica.....	70
a) Etiquetado de frases.....	70
b) Obtención de parámetros.....	71
c) Resultados.....	72
3.3 Caracterización perceptual .....	80
a) Muestra poblacional.....	80
c) Preparaciones técnicas.....	81
d) Aplicación.....	88
d) Resultados.....	89

Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	93
4.1 Caracterización acústica.....	95
4.2 Caracterización perceptual.....	97
4.3 Correlaciones acústico-perceptuales.....	98
CONCLUSIONES.....	109
BIBLIOGRAFÍA .....	111
Anexo A. Ópera La Traviata de Giuseppe Verdi.....	i
a) Contexto histórico y argumento.....	i
b) Traducción del aria final del Acto I.....	iii
c) Giuseppe Verdi.....	iv
Anexo B. Discografía utilizada en el trabajo de investigación.....	vii
a) Sopranos.....	vii
b) Grabaciones.....	ix
Anexo C. Documentación de la prueba perceptual.....	x
Anexo D. Script.....	xiii
Índice de Figuras.....	xviii
Índice de Tablas.....	xix
Índice de Gráficas.....	xx

---

## Dedicatoria y agradecimientos

---

A Dios, por darme la vida y por estar conmigo a cada paso, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por su amor y misericordia infinitos, y por poner en mi camino a todas las personas que han sido soporte y compañía para mí, durante todo el periodo del doctorado.

A mi madre, Ma. del Pilar Olvera, por su apoyo incondicional y ayuda invaluable. A Sara Rubí Lazcano, mi hija, por su optimismo y comprensión. A ambas por sus enseñanzas de vida, su amor y sus oraciones.

A todas las personas que me honran con su amistad, a las que me han brindado apoyo moral y material, a las que me han dado palabras alentadoras y obsequiado su valioso tiempo y atención, a mis familiares y amigos, principalmente mis hermanos Gabo e Isela, mi padre Gabriel Gracida y mis tíos Gilda y Lorenzo, la Sra. Margarita Gómez Ortiz, la Sra. Gloria Gómez Vargas y su familia, Dagoberto Valle, Rosa Evelia Ayala y su familia, Lilia Granados y su hija Minerva, Lorena Barranco, la Dra. Ma. de los Ángeles Chapa Bezanilla, la Dra. Artemisa Reyes, el Dr. Ricardo Ruiz Boullosa y la Dra. Clara Alvarado, el Dr. Luis Alfonso Estrada y la Mtra. Cynthia Fragoso, y el Lic. José Antonio Lanzguerrero Obeid, porque de ustedes he obtenido buenos ejemplos, nuevo entusiasmo, valor y confianza para seguir adelante. También, a aquellos de quienes recibí muchas de estas cosas, pero que ya no están en mi vida y sin embargo su huella prevalece.

A quienes participaron en las pruebas perceptuales y audiometrías para este trabajo de investigación.

A mis sinodales (Dr. Ricardo Ruiz, Dr. Luis Alfonso Estrada, Dra. Eunice Padilla, Dra. Ma. de los Ángeles Chapa y Dr. Samuel Pascoe), y a todas las personas que por medio de las Instituciones: UNAM, CCADET, FaM, CONACYT, contribuyeron con su trabajo a la consecución de mis estudios de posgrado.

A mi tutor principal, el Dr. Felipe Orduña Bustamante, porque sus conocimientos, su manera de trabajar, su persistencia y su paciencia, fueron mi guía, dándome la orientación y la motivación para generar y ultimar esta tesis.

**¡GRACIAS!**

*Gisela Gracida Olvera*



---

## INTRODUCCIÓN

---

**E**n el arte del canto operístico, el artista hace uso de elementos técnicos, tales como la respiración, la postura corporal y la dicción, que aunados a los elementos musicales como la entonación, la dinámica y la agógica, proporcionan información acerca de diferentes estados emocionales que el público puede percibir.

La ópera es una expresión teatral, lo que significa que el aspecto físico, la actitud y el virtuosismo vocal del cantante deben estar al servicio de la interpretación de un personaje e intentar ser lo más veraz posible.

En las palabras de la soprano Natalie Dessay, según una entrevista realizada en el 2007, "la ópera es teatro y en ella la música está al servicio de la expresión teatral, sólo así el canto cobra su verdadero sentido. El canto trasciende todas las emociones, tiene una dimensión mágica, cuando canto siento como si el alma del personaje saliera por mi boca". Esto lo menciona después de referir que, como soprano, no sirve de mucho tratar de apabullar al público con *pirotecnia vocal* sin apenas molestarse en dar vida al personaje que se interpreta, y que cuando se *mete en la piel* del personaje, hasta el aparentemente más sencillo ornamento vocal cobra inusitada fuerza expresiva<sup>1</sup>.

En este trabajo de tesis se presenta un estudio sobre la expresividad en la voz de cantantes de ópera, por medio de la obtención de parámetros que se pueden medir o cuantificar objetivamente, provenientes de la digitalización de la señal acústica, en una grabación. Dichos parámetros son denominados "parámetros acústicos" a lo largo de esta tesis y son medidas referentes a la frecuencia fundamental, la intensidad y el vibrato, que son observables en el espectro de la señal de voz. A partir de ellos, se realiza una búsqueda de las huellas o impresiones expresivas que pudieran ser plasmadas mediante los recursos utilizados por los cantantes al interpretar diferentes emociones.

---

<sup>1</sup> "El canto trasciende todas las emociones". Entrevista a Natalie Dessay - Soprano, por Javier Pérez Senz. Barcelona, España. Junio de 2007. [http://elpais.com/diario/2007/06/11/cultura/1181512801\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2007/06/11/cultura/1181512801_850215.html). Visto: 11 de agosto de 2014.



## INTRODUCCIÓN

Las interrelaciones entre los parámetros acústicos dan lugar a diversas combinaciones que pueden ser correlacionadas con la percepción humana de la expresividad. Tomando esta idea, dos científicos de la voz cantada, Eliezer Rapoport (1996) y Renné Timmers (2007), desarrollaron estudios donde presentan, cada uno, un método para llegar más cerca de establecer y explicar la relación posiblemente existente entre los parámetros acústicos y la expresión de emociones en el canto. Después de seleccionar el material a analizar, consistente en grabaciones comerciales de ópera o canciones de concierto, ellos analizan el espectro de la señal de voz, mediante la observación visual y procesos asistidos de obtención de parámetros. El método propuesto en este trabajo, estudia las características de esos procesos y la necesidad de mejorar la manera operativamente "rústica" en que fueron aplicados, convirtiéndolos de procesos asistidos a procesos automatizados mediante el uso de las herramientas tecnológicas que la computación pone a disposición.

De esa manera, el método alternativo propuesto, proporciona fiabilidad en los procesos y en los resultados, permite una reducción significativa en el tiempo de análisis y la capacidad de procesar cantidades considerables de información, así como evitar errores derivados de la operación asistida, y, principalmente, posee la suficiente flexibilidad para permitir ser ampliado o ajustado a otros estudios.

El método propuesto en este trabajo, además de fusionar los elementos comunes de análisis acústico entre los dos métodos anteriores y realizar una nueva propuesta automatizada en la forma de aplicación, también propone una auto-evaluación comparativa de su diseño e implementación, para la cual se desarrolla un estudio perceptual con la aplicación de pruebas subjetivas acerca de las emociones expresadas por cantantes de ópera y percibidas por oyentes, mediante la escucha y evaluación de trozos de grabaciones comerciales. La parte experimental de esta tesis utiliza grabaciones de ópera en voz aguda femenina, clasificada como *soprano*. Mediante la selección de frases cantadas *a capella*, es decir, sin acompañamiento orquestal, se garantiza el análisis acústico-expresivo del contenido puramente vocal.

Es muy complejo poder demostrar si las variaciones en las medidas de los parámetros acústicos son causa o consecuencia del contenido emotivo en el canto; esto es motivo de

controversias en el ámbito de la investigación y no es objetivo de este trabajo, sin embargo, en el desarrollo experimental se espera determinar en qué grado el contenido expresivo se establece en los parámetros derivados de la frecuencia fundamental, la intensidad y el vibrato estudiados aquí, tomando en cuenta el nivel *micro* en que el cantante puede variar dichos aspectos en un entorno operístico, donde la música y las emociones están predeterminadas por la partitura y el libreto de la obra.

### **Objetivos del trabajo de investigación**

Objetivo general. Determinar las características de las relaciones entre parámetros acústicos derivados de frecuencia fundamental, vibrato e intensidad de la señal de voz cantada y el nivel de expresividad percibido por diferentes oyentes en grabaciones de canto operístico.

#### Objetivos específicos:

- Estudiar los métodos empleados en dos investigaciones previas: Rapoport, 1996 y Timmers, 2007; las cuales obtienen los valores de las características o parámetros de una señal de voz cantada para relacionarlos con el contenido emocional.
- Desarrollar un procedimiento que garantice la efectividad de la extracción de las características o parámetros acústicos de una señal de voz cantada.
- Desarrollar un estudio perceptual donde diferentes oyentes evalúen el nivel de expresividad en muestras de voz cantada.
- Caracterizar los resultados del estudio acústico-perceptual, analizando las relaciones entre los parámetros acústicos y la expresividad percibida por los diferentes oyentes, en un ejemplo concreto de material de audio de canto operístico.

## INTRODUCCIÓN

### **Estructura de la tesis**

La tesis se estructura de la siguiente manera. En el capítulo 1 se presenta el marco teórico, que incluye conceptos básicos y los antecedentes que son fundamento de esta tesis, haciendo un recorrido de lo general a lo particular: las emociones y la música, los recursos expresivos y la acústica del canto y, por último, los métodos predecesores sobre estudios acústico-emocionales del canto operístico. En el capítulo 2 se plantea un método nuevo de análisis y se explica el procedimiento del que está compuesto su diseño, así como sus características esenciales. El capítulo 3 es el trabajo experimental; trata de la implementación práctica del método propuesto de caracterización acústica y perceptual en un ejemplo concreto. En el capítulo 4 se realiza un análisis de los resultados obtenidos con las caracterizaciones presentadas. Por último, en las conclusiones de este trabajo se mencionan los alcances y limitaciones así como los posibles trabajos que se pueden derivar del mismo en el futuro.

---

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

---

Este capítulo consta de tres partes. En la primera, se presenta un contexto general de las teorías e investigaciones que han tratado acerca de las relaciones entre las emociones y la música, y desde la perspectiva de la psicología musical, a lo largo de la historia (el siglo V hasta principios del siglo XXI). En la segunda parte, se describen los parámetros acústicos de la voz cantada y las investigaciones antecedentes acerca de los recursos expresivos que utilizan los cantantes. Por último, en la tercera parte, se reseñan dos métodos predecesores sobre estudios acústico-emocionales del canto operístico, que son fundamento de esta tesis.



## ***1.1 El estudio de las emociones en la música***

### **Contexto general**

El estudio de las emociones se ubica en diversos campos del conocimiento humano, como en la psicología filosófica, la psicología de la motivación, la filosofía de la mente, las teorías del aprendizaje, entre muchos otros, ya que las emociones constituyen un fenómeno que ejerce gran influencia en las actitudes y conductas de los individuos. Por eso, existen diversas teorías sobre las emociones, elaboradas desde diferentes puntos de vista, principalmente: psicológico, filosófico y neurofisiológico.

En este trabajo no se pretende presentar un estudio profundo acerca del conocimiento, la filosofía o la naturaleza de las emociones, pues dicha pretensión rebasaría los objetivos propios de esta tesis. Sin embargo, se presenta de manera esencial, una breve descripción de las teorías de emociones que han influido en la música a lo largo de la historia. Alrededor de estas teorías se han generado discusiones diversas, que hasta la fecha constituyen un debate inacabado entre los analistas especializados en el estudio de las emociones, así como de su influencia en el arte musical.

Tomando en cuenta lo anterior, se establece que, acerca de las emociones, existen conceptos y definiciones desarrollados por notables filósofos y psicólogos. En sus estudios, algunos afirman que existe una relación de las emociones con las creencias, o con las reacciones fisiológicas, así como con las circunstancias en que se producen y con las conductas que las originan (véanse escritos sobre emociones desde David Hume hasta Olbeth Hansberg).

En el siglo V, la Escuela Pitagórica consideraba a la música como un elemento capaz de ejercer influencia en el carácter o en el ánimo, pues se tenía la creencia de que los intervalos musicales, así como el origen y la actividad del cosmos y del microcosmos del hombre, se fundan sobre las mismas proporciones numéricas armónicas.

De ahí que las esferas celestiales se regulen por los mismos principios numéricos, por las mismas proporciones por las que se organiza la música tanto en su aspecto rítmico, como en su vertiente tonal. De ahí la vinculación de la música y de las estrellas con el nacimiento y con la vida del hombre. De ahí la influencia decisiva de la música sobre el alma humana, que se regula también por ese mismo número. De

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

ahí la importancia de la música a la hora de la muerte, en cuanto retorno del alma al principio de donde se desprendió. De ahí la trascendencia religiosa y mágica de la música. De ahí su gran significado en la vida social del hombre, en sus relaciones con los demás, en la educación, en la política, en la organización del Estado. (Luque, 2004)

Dicha concepción ya estaba materializada en el sistema tonal griego y se extendió con Aristóteles (384-322 a.C.) y sus discípulos constituyendo la Teoría del Ethos que, según Grout y Palisca (1990) estaba fundamentada en la idea de que "la música afecta al carácter de las personas y que los diferentes tipos de música lo alteran de diversas maneras".

En el Renacimiento, Zarlino (1517-1590), uno de los principales teóricos del siglo XVI, ya proponía algunas reglas para los compositores, tales como: "El compositor utilizará armonías alegres y ritmos rápidos para temas joviales, y armonías tristes y ritmos graves para temas tristes." (Marin Corbi, 2007). Claudio Monteverdi (1567-1643), compositor de esa misma época, atribuye a la música la capacidad de expresar *las pasiones* o afecciones del ánimo, de las cuales reconoce tres como principales: *ira*, *templanza* y *humildad*. Para cada una de ellas establece un estilo musical distinto: *stile concitato*, *stilo temperato* y *stilo molle*, respectivamente.

Sin embargo, fue en el siglo XVII, con el nacimiento de la ópera barroca que los intentos sistemáticos para dar forma a una teoría de la música que tuviera en cuenta su papel de generadora de emociones, se condensan en la llamada *teoría de los afectos*<sup>2</sup>.

Dicha teoría de la época barroca constituye una de las más sobresalientes y completas hipótesis en la historia acerca de los estados emocionales en el arte; tomaba como tema central la expresión de pasiones, estados de excitación anímica y emociones, principalmente a través de la música y la oratoria. De ese modo, Giulio Caccini miembro de la *Camerata florentina*, señala que el objetivo de la música es mover los afectos del alma; Cesare Crivellati, en su *Discorsi Musical* (1624), dedica todo un capítulo a cómo con la música se pueden mover diversos afectos; Charles Butler (1636) afirma que la música,

---

<sup>2</sup> Traducción del concepto utilizado por primera vez por musicólogos alemanes con el nombre de *Affektenlehre*, que se refiere a la relación entre las diversas manifestaciones del sentimiento humano y las posibilidades de expresión de estas pasiones mediante la música.

por sus varios modos ejerce un gran poder sobre los afectos de la mente y produce varios efectos en los oyentes. Para Johann Neidhart (1680 - 1739) la meta de la música en el barroco es "hacer sentir todos los afectos a través de tonos simples y el ritmo de las notas, igual que el mejor orador" (López Cano, 2000).

La obra teórica que ejerció mayor influencia en los músicos de dicho periodo, fue el "tratado de la pasiones del alma" (*Les passions de l'âme*), escrito por el filósofo francés Renè Descartes (1596-1650) y publicado en 1649. Ya en un breve ensayo escrito por él -titulado *Compendium Musicae*-, en 1618, Descartes explicaba el mecanismo acústico y fisiológico a través del cual la música actúa sobre el alma a través de los sentidos. Decía, por ejemplo, que "a cada tipo de intervalo musical corresponde determinado efecto que se produce en el ámbito de los sentidos y, por consiguiente, del espíritu"; efecto que va desde el más simple agrado o divertimento hasta las más complejas y matizadas emociones y pasiones (Fubini, 1988). En su tratado, Descartes escribe que las pasiones del alma son provocadas y retroalimentadas por los "espíritus animales", que en realidad son los cambios fisiológicos y psicológicos que se experimentan a raíz de una emoción: latidos del corazón, sensación de calor, sudoración, circulación de la sangre y pensamientos.

De acuerdo a la Retórica<sup>3</sup>, considerada como un efectivo mecanismo de persuasión independiente de la argumentación, se entiende por *affectus*<sup>4</sup> aquella facultad del alma que perturba la quietud de la mente del espectador, y que puede llevarlo a desear, lo cual implica el abandono de la razón<sup>5</sup>.

Cuando el alma se afecta por una pasión, produce el flujo y el reflujo de los espíritus animales, de acuerdo a Marin Mersenne (filósofo, teórico musical, teólogo, amigo y consejero de Descartes), en su obra *L'Harmonie Universelle* (1636). Él explica que se da un flujo cuando los espíritus animales van desde el corazón o el hígado a las extremidades y, se da un reflujo cuando los espíritus animales van y se concentran en el corazón o el hígado. Con afectos determinados, como la alegría, se produce un movimiento de flujo

---

3 La Retórica estudia los modos de conmover mediante los afectos en la *elocutio* y en la *actio*. Atiende por un lado a las palabras del hablante, a la búsqueda del vocabulario y a su colocación en el momento oportuno, e intenta hallar oraciones apropiadas a la materia; por otra parte, tiene en cuenta los gestos y la modulación de la voz.

4 El término latino *affectus* es traducción del griego *pathos*, "pasión", que tiene su etimología en "sufrir".

5 Definición dada por Benito Arias Montano en sus *Rhetoricum Libri Quattor*. en la edición de Violeta Pérez Custodio *Los Rhetoricum Libri Quattor de Benito Arias Montano*, Badajoz, 1984.



## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

muy intenso, entonces grandes cantidades de sangre son transportadas desde el corazón hasta el rostro por los espíritus animales y, debido a ello, el rostro de una persona se muestra rojizo; mientras que el rostro palidece cuando la sangre y los fluidos se concentran en el corazón con afectos como la tristeza. Así mismo, Marin Mersenne explica que los *acentos musicales* son las herramientas por las cuales se expresan las diferentes pasiones del alma y deben imitar los movimientos de flujo y reflujo de los espíritus animales, siendo conformados por sonidos agradables para dar flujo, y por sonidos disonantes para el reflujo.

Después, a partir de las teorías racionalistas sobre las pasiones y los afectos de Baruch Spinoza (1632 - 1677) fue promoviéndose un "cambio de sensibilidad" en la música del siglo XVIII, puesto que los sentimientos se tomarán como parte de una "realidad anímica fluctuante y constante", a diferencia de la música barroca "asistida por un mecanicismo reconocible en la modulación y en la apariencia de predecibilidad" (Marrades, 2000).

En la obra de John Neubauer se explica cómo se produjo dicha transformación en la expresión musical:

La música del XVII era todavía incapaz de "penetrar" en los oyentes y engendrar en ellos un sentimiento deseado, porque las emociones representadas eran categorías convencionales basadas en la filosofía natural en vez de en el sutil genio romántico. Como afirma Bukofzer, los compositores barrocos escribieron una música que se correspondía con estados mentales estereotipados y estáticos, teniendo a su disposición "una gran cantidad de figuras musicales que fueron encasilladas, de la misma manera que lo fueron las propias emociones, y que tenían como propósito representar estas pasiones en la música". Esta estandarización verbal de las emociones impidió la emergencia de la autoexpresión musical. (Neubauer, 1992)

Según Neubauer, de manera general -aunque con ciertas excepciones, como la música de Monsieur de Sainte-Colombe-, en la música barroca cada pieza musical o movimiento se dedicaba a un solo afecto o estado anímico, mientras que ya en el siglo XVIII dentro de cada composición existía una "mutación" de los afectos.

Uno de los autores que cuestionan profundamente la relación entre sentimientos y música, fue el musicólogo y crítico musical Eduard Hanslick (1825 - 1904), quien se contrapuso al

idealismo romántico, siendo un personaje importante en la defensa del formalismo plasmado en su obra *Vom Musikalisch-Schönen (De lo bello en la música, 1854)*, donde afirma que “la mera forma, opuesta al sentimiento como pretendido contenido, es precisamente el contenido real de la música, siendo el sentimiento originado en el oyente el resultado efectivo”.

Posteriormente, más allá de las corrientes literarias y filosóficas que se desarrollaron a partir del Romanticismo, el estudio de las emociones humanas fue concentrándose de modo más intenso en el campo de la naciente Psicología<sup>6</sup>.

Lev Vygotski (1896-1934), psicólogo ruso de origen judío, destaca el papel de Spinoza<sup>7</sup> como uno de los personajes de mayor influencia, no sólo en las teorías de las emociones, sino en contribución a la transformación de la psicología de descriptiva a explicativa. Así lo plasma en su obra "Doctrina de las emociones: estudio histórico - psicológico" (1931-1933) cuando menciona que:

Spinoza se opone a toda la psicología descriptiva contemporánea como un adversario intransigente. Fue él quien combatió el dualismo cartesiano, el espiritualismo y el teleologismo que se hacía renacer en esta teoría.

[...] Los adeptos de la nueva tendencia hallan en Spinoza no sólo una nomenclatura y una clasificación de las pasiones, sino también ciertas relaciones fundamentales que atraviesan toda la vida de los sentimientos y las motivaciones. (Vigotsky, 2004)

La teoría evolutiva desarrollada por el naturalista inglés Charles Robert Darwin (1809-1882) consideró que tanto las emociones como la motivación y, en realidad, todas las funciones psicológicas, tienen un papel adaptativo. Sus estudios alcanzan la cuestión musical, desde el punto de vista que "los tonos musicales y los ritmos fueron utilizados por

---

6 La Psicología como ciencia surge con Wilhelm Wundt (1838–1920) considerado el “padre de la Psicología Científica”, él se definió a sí mismo como "psicólogo" y fundó un Laboratorio en Leipzig, Alemania, en 1879 donde surgió la psicología experimental.

7 Spinoza define tres pasiones primarias (deseo, alegría y tristeza) y a partir de ellas elabora su completa teoría. Según él, la pasión de la alegría produce placer y regocijo, mientras que la tristeza produce dolor o melancolía. Las pasiones secundarias son grandes en número y son las que se originan de las pasiones primarias, pero el mismo Spinoza reconoce dotadas de una gran importancia al amor y al odio. Define al amor como “alegría acompañada por la idea de una causa exterior”; y al odio como “tristeza acompañada de la idea de una causa exterior”. Por lo tanto, el amor nace de la alegría y el odio de la tristeza.

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

nuestros ancestros medio-humanos durante la época del cortejo sexual, cuando los animales de todo tipo están excitados no solo por el amor, sino por las pasiones poderosas de los celos, la rivalidad y el triunfo. Según el principio firmemente establecido de las asociaciones hereditarias, los tonos musicales serían capaces de evocar de modo vago e indeterminado las emociones intensas de un tiempo pasado remoto." (Menninghaus, 2013).

Según Menninghaus, la teoría de Darwin de la música cultural afirma que la música genera efectos emocionales marcados y opuestos entre sí (relajación y excitación).

De este modo, "notas musicales", "ritmos" y "cadencias" pueden despertar de manera efectiva un gran número de *emociones discretas*. En el análisis de Darwin, el espectro de las emociones causadas por la música es amplio, pero está clasificado detalladamente. Más allá de la pura variedad de emociones, resalta la división antitética del campo de emociones musicales.

Carl Stumpf (1848-1936), filósofo y psicólogo alemán, también contribuyó a la psicología de la emoción aplicada a la música, como lo menciona Pastor et al. (1999) en un artículo que realza las aportaciones de Stumpf en este ámbito:

Como estudiante de Musicología Comparada y Psicología del Sonido, aportó a la investigación sobre esta temática conocimientos especiales y también un interés especial. Para él la Musicología y la Psicología del Sonido estaban estrechamente relacionadas con la Psicología de la Emoción.

En el siglo XX, los estudios acerca de las emociones y la música toman diversas perspectivas en la Psicología, desde los aspectos biológicos hasta neurales y sociológicos. En una revisión sobre las emociones negativas de ira y agresión, Averill (1983) hace una observación acerca de cómo fue el desarrollo de las teorías sobre emociones en ese siglo:

Alrededor de 1910, las teorías sobre la emoción eran de tipo biológico, en los años treinta triunfaban las explicaciones conductistas, en los cincuenta los modelos mediacionales y de variables intervinientes, y, a partir de los setenta, el campo ha sido dominado por las teorías de orientación cognitiva.

### **Estudio de las emociones desde la perspectiva de la psicología musical**

A partir de los estudios realizados en Psicología, surgieron dos vertientes que, hasta ahora, influyen en el desarrollo de las investigaciones en el área de la psicología musical. Por un lado, la corriente discreta señala que existen emociones básicas o primarias, como alegría, tristeza, miedo, disgusto, ira, sorpresa y que pueden ser universalmente comprendidas (Ekman, 1992). La corriente dimensional señala que las emociones son descritas en términos de *valencia* y *activación* (Steidl, 2009). La *valencia*, también llamada *placer*, describe qué tan negativa o positiva es una emoción específica. La *activación*, también llamada *intensidad*, describe la excitación interna de un individuo y va desde estar muy tranquilo hasta estar muy activo. En este modelo bidimensional se emplea una escala cartesiana, la cual se conoce como el modelo circunflejo de la emoción o afecto (Polzehl et al, 2009).

Muchos investigadores coinciden en que la experiencia afectiva se constituye a partir de tres componentes principales: una activación fisiológica, una conducta expresiva y una sensación subjetiva. Sin embargo, difieren en cuanto al orden temporal de cada componente, cuándo inicia y cuándo se termina una emoción, así como cuántas emociones podemos distinguir (Scherer, 1993).

Lang menciona que las emociones se pueden describir a través de tres niveles de respuesta: de cognición, fisiológico y motor, pero que al evaluar una misma emoción en dichos niveles la correlación que suele encontrarse es escasa (Lang, 1995).

Según Berenson (1998), la producción personal de emociones obedece a una respuesta individual al hecho estético. Entraríamos ahora en la cuestión del significado musical y del contenido de la propia música, lo que nos apartaría del tema principal de este escrito. En este sentido, Juslin (2011) advierte de la necesidad de no confundir las emociones que induce la música en el oyente con las emociones que expresa la propia música.

Klaus Scherer (1995) en su trabajo de investigación sobre la capacidad de la música para inducir emociones, midió las reacciones emocionales de sujetos a la música por medio de un listado de emociones básicas, como el miedo, la ira, la alegría y el asco. Las respuestas se limitaron generalmente a sólo cuatro o cinco emociones básicas, que según Scherer son utilitarias, en el sentido de contar con importantes funciones en la adaptación

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

y el ajuste de los individuos a los eventos que tienen consecuencias importantes para su bienestar mediante la elaboración de tendencias a la acción (lucha o huida), la recuperación y la reorientación (dolor o trabajo), la motivación y mejora (alegría u orgullo), las obligaciones sociales (la reparación), entre otros. Él sostiene que las emociones que se experimentan cuando se escucha música son "emociones estéticas" más afines a las experimentadas cuando se observa una gran obra de arte. En lugar de emociones básicas como la lucha o la huida, la música incita a una multiplicidad de emociones y estados de ánimo más sutiles. Scherer concluyó que un nuevo método de estudio de la inducción de emociones por la música se debe desarrollar para diferenciar con mayor precisión estos matices sutiles de las emociones. Sloboda (1992) añade que gran parte de nuestra respuesta emocional a la música proviene de nuestras experiencias pasadas y que se experimentan emociones que se proyectan a través de la música incluso cuando no somos conscientes de que es así.

A pesar de las afirmaciones de Spencer, en los inicios del siglo XX, acerca de la música y las emociones: "la música sirve a la continuación del perfeccionamiento cultural de nuestras posibilidades de expresar cada vez emociones más complejas" (Rodríguez, 1988), en cuanto a las emociones proyectadas en la música del siglo XX, Enrico Fubini sostiene en uno de sus ensayos:

Ciertamente no es una novedad afirmar que nuestro tiempo se caracteriza por el fin de las ideologías. Y también en la música se produce el mismo fenómeno. [...] El resultado ha sido sorprendente y, en ciertos aspectos, aterrador: desde esta óptica la música se ha mostrado a veces como una rueda enloquecida, proyectada en un universo vacío, sin trayectoria y sin meta, en un espacio sideral carente de puntos de apoyo y de referencia. Música sin tiempo, música sin emociones. (Fubini, 2004)

Con el desarrollo de las tecnologías computacionales, los estudios acerca de la música y las emociones tomaron un enfoque más experimental, y por supuesto, más especializado en los distintos campos de la investigación musical.

Hacia finales del siglo XX y principios del XXI, surgieron investigaciones que propusieron analizar el *performance*<sup>8</sup> musical en cuanto a su contenido expresivo, mediante la creación

---

<sup>8</sup> El *performance* musical es el acto de interpretar, estructurar y físicamente realizar una pieza de música en una

de modelos computacionales: por ejemplo, el modelo del *performance* basado en reglas desarrollado en KHT(Sundberg et al., 1983, 1989; Friberg & Sundberg, 1987; Friberg, 1991, 1995a) e implementado en el sistema "Director Musical"; el modelo del "nivel estructural de tempo y dinámica", llamado el modelo Todd, debido a su creador Neil Todd (1985, 1989a, 1992); el modelo matemático de "estructura musical y expresión" desarrollado por Guerino Mazzola (Mazzola, 1990; Mazzola & Zahorka, 1994a; Mazzola et al., 1995; Mazzola, 2002; Mazzola & Göller, 2002) y un modelo desarrollado por Widmer donde combina patrones con reglas a "nivel nota" y reglas a "nivel estructura" y que es automatizado (Widmer, 2002; Widmer & Tobudic, 2003; "the Machine Learning Model").

Juslin, Friberg y Bresin generaron un modelo computacional de expresividad en el *performance* musical y lo publicaron en el año 2002. El modelo es llamado GERM y sus objetivos principales fueron describir las principales fuentes de la variabilidad en el *performance* musical; enfatizar la necesidad de integrar diferentes aspectos del *performance* en un modelo común; y proveer algunas "semillas" para un modelo computacional que simule diferentes aspectos. Implementaron una versión preliminar del modelo a partir de síntesis de *performances* musicales, para ello tomaron en cuenta aspectos principales de investigaciones anteriores, tales como: 1) Reglas, que funcionan para generar una estructura musical (Clarke, 1988; Sundberg, 1988); 2) La expresión emocional que es determinada por la intención expresiva del *performance* (Juslin, 1997); 3) Variaciones aleatorias que determinan disparidad en el tiempo de inicio y ejecución (Gilden, 2001; Wing and Kristofferson, 1973); y 4) Principios del movimiento, que determinan que ciertas características del *performance* estén de acuerdo con el ritmo biológico (Shove and Repp, 1995). Los *performance* sintetizados fueron evaluados por participantes entrenados musicalmente y los resultados arrojaron un soporte para el uso del modelo GERM.

El Modelo de Proceso Componente (CPM) propuesto por Scherer (1985 y 2009) genera varias predicciones específicas de los efectos de componentes de emoción diferentes según expresiones vocales, a partir de la teoría de que la valoración del acontecimiento

---

compleja actividad humana que contiene varias facetas: física, acústica, fisiológica, psicológica, social y artística. Definición dada en Widmer and Goelb, 2004.

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

genera tendencias de acción y sus perfiles de respuesta fisiológicos. El modelo toma en cuenta que el habla y sus manifestaciones emocionales están bajo la influencia de normas socioculturalmente decididas así como de factores fisiológicamente instigados.

Poco después, en el año 2000, Scherer publica un estudio donde define a las emociones como:

Episodios de cambios coordinados en varios componentes (incluyendo al menos activación neuropsicológica, expresión motriz, y sentimientos subjetivos pero posiblemente también tendencias a la acción y procesos cognitivos) en respuesta a eventos externos o internos de mayor significancia para el organismo.

En el año 2001, Scherer y Zentner trasladaron el modelo CPM a la explicación del contenido emocional de la música y describen un modelo pentafactorial cuyas características estructurales son de dos tipos: 'segmento' y 'súper-segmeneto'. Las características de 'segmento' (segmental features), consisten básicamente en los elementos acústicos de la música, como pueden ser los tonos, acordes, intervalos. Estos elementos pueden recibir un análisis cuantitativo en términos de duración, energía, tono o estructura armónica, y se consideran relativamente universales y *transculturales*. Las características de 'súper-segmeneto', son más complejas porque implican la articulación en el tiempo de las características de 'segmento'. La melodía, el *tempo*, el ritmo o la armonía son ejemplos típicos. En este caso, se toma en consideración que el contenido emocional de las características de 'super-segmeneto', es menos universal y depende de una codificación simbólica, es decir, de todo un proceso individual de desarrollo a lo largo del cual se han adquirido convenciones musicales comunes a un mismo ámbito socio-cultural.

En el año 2003, Juslin y Laukka publicaron una exhaustiva revisión de 104 estudios acerca de la expresión vocal y 41 estudios sobre el *performance* musical, para verificar la relación entre la expresión vocal de emociones y la expresión musical de emociones. Después de realizar comparaciones y determinar el "estado del arte" hasta ese momento en dichas áreas, revelaron similitudes entre ellas, tales como: 1) la exactitud con la cual las emociones distintas se comunicaron a oyentes y, 2) el uso de patrones específicos de señales acústicas para comunicar cada emoción. Los patrones son consecuentes con las predicciones teóricas establecidas por Scherer en 1986. Sus resultados pueden explicar

por qué la música se percibe como expresiva de la emoción, y son consecuentes con una perspectiva evolutiva de la expresión vocal de emociones.

En otra investigación publicada por Juslin en el año 2000, se describe la utilización de parámetros acústicos en la comunicación de emociones a los oyentes, en el *performance* musical de tres melodías cortas por parte de tres guitarristas profesionales. Ellos debían comunicar enojo, tristeza, felicidad y miedo. Los parámetros acústicos que fueron analizados (tiempo, frecuencias espectrales, nivel sonoro, articulación y variabilidad en la articulación a lo largo del *performance*) se sometieron a la opinión de 30 jueces oyentes para su clasificación. Posteriormente se hizo un análisis de regresión múltiple de los resultados y se concluyó que la intención expresiva del ejecutante tuvo efectos considerables en las señales acústicas de los *performances* y que dichas señales tuvieron efectos considerables en los juicios del oyente acerca de la expresión emocional.

Pfeuty y Peretz (2010), han abordado las aportaciones de los parámetros musicales de *tempo y modo*, comprobando que los sujetos agrupan los fragmentos en cuatro categorías: 1) la combinación modo mayor y tempo rápido se percibe alegre; 2) la combinación modo menor y tempo rápido se percibe como ira o temor; 3) la combinación de modo menor y tempo lento se percibe como triste y 4) la combinación modo mayor y tempo lento se percibe como tranquilidad.

Fritz afirma que el reconocimiento de expresiones emocionales básicas en la música es culturalmente universal, incluso al escuchar música de diferentes tradiciones o culturas (Fritz et al, 2009).

Krueger (2014), sostiene que la música es un poderoso recurso ambiental para la comunicación de emociones, así como para intensificar nuestras experiencias sociales. Otros investigadores coinciden con dicha afirmación, ya que el ser humano escucha música principalmente para regular sus emociones y su conducta y cuando otros están presentes (Balkwill y Thompson, 1999; Krumhansl, 2002).

Algunos estudios de los procesos neurales sugieren que las reacciones en las estructuras cerebrales que produce la música, también participan en la iniciación, generación, detección, mantenimiento y regulación de las emociones (Overy & Molnar-Szakacs, 2009; Koelsch, 2010 y 2014). Muchos investigadores han tratado de explicar cómo la emoción



## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

musical emerge de la activación inicial de regiones cerebrales directamente involucradas en la percepción musical y de la activación subsecuente de sistemas emocionales ligados a la percepción sensorial (Diaz, 2010). Categorizar un estado emocional, involucra la actividad de estructuras corticales como el lóbulo prefrontal medial y su interacción con otras regiones límbicas como la amígdala (Damasio, 1996). Por lo tanto, "la respuesta perceptual de la emoción, se refiere a la categorización verbal o gráfica, que involucra distintos procesos cognitivos, como la memoria, la atención y el lenguaje". De esa manera, la percepción de las emociones es un fenómeno subjetivo, ya que "es el resultado de la interacción de diferentes procesos cognitivos que permiten a un individuo responder a un evento emocional". (Chóliz, 2005).

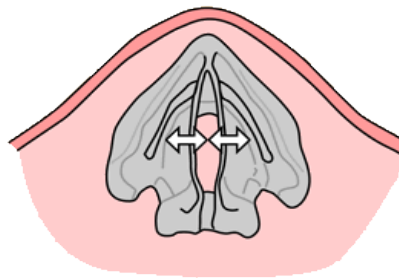
Juslin (2008) propuso el modelo BRECVEM (ahora BRECVEMA) para explicar de una forma más amplia los mecanismos que intervienen en el proceso de inducción de emociones musicales. Destaca siete mecanismos: *Brain stem reflexes* (reflejos producidos en el tronco encefálico), *Rhythmic entrainment* (consonancia rítmica entre cerebelo y las regiones sensomotoras), *Evaluative conditioning* (condicionamiento evaluativo), *Contagion* (contagio o mimesis), *Visual imagery* (imágenes visuales), *Episodic memory* (memoria episódica) y *Music expectancy* (expectación musical). Dichos mecanismos se desarrollan en diferentes períodos del crecimiento, que van desde antes del nacimiento hasta los 11 años. Más tarde, en el año 2013, Juslin añade un octavo mecanismo llamado *Aesthetic judgment* (juicio estético), que se refiere a la evaluación subjetiva de una pieza musical como arte basado en un conjunto individual de criterios subjetivos. La incorporación de este mecanismo se justifica por la necesidad de distinguir las emociones estéticas de aquellas que no tienen que ver con el hecho musical. Esta es la clave, según Juslin, para comprender por qué las emociones que induce la música son distintas, ya que, si los mecanismos que actúan en el individuo no son específicos para las emociones musicales, entonces son generales y pueden producir diferentes emociones.

## 1.2 Acústica y recursos expresivos de la voz cantante

### Acústica de la voz cantante

El principio fundamental en la producción de la voz es la vibración de las cuerdas vocales, debido a un acoplamiento y modulación del flujo de aire que pasa a través de ellas generando su movimiento, pasando por un proceso de conversión de energía aerodinámica -la cual es generada en el tórax, el diafragma y la musculatura abdominal-, a una energía acústica originada en la glotis y posteriormente modificada por la resonancia de las estructuras supraglóticas.

A medida que el aire de los pulmones pasa a través de las cuerdas vocales, el efecto Bernoulli determina cierta vibración. La frecuencia de vibración depende principalmente de la tensión muscular aplicada a las cuerdas. Al cantar, dicha tensión sufre variaciones. Una buena voz cantante, normalmente puede abarcar unas dos octavas variando la tensión de las cuerdas vocales (Lindblom & Sundberg, 2007).



*Fig. 1. Tensión variable de las cuerdas vocales*

Los impulsos sonoros que emanan de los pliegues glotales son filtrados por el tracto vocal que, según su forma, amplifica ciertas frecuencias de resonancia y amortigua otras frecuencias. Las frecuencias que se enfatizan reciben el nombre de *formantes*, que se presentan como "picos" en la envolvente espectral (Benade, 1990).

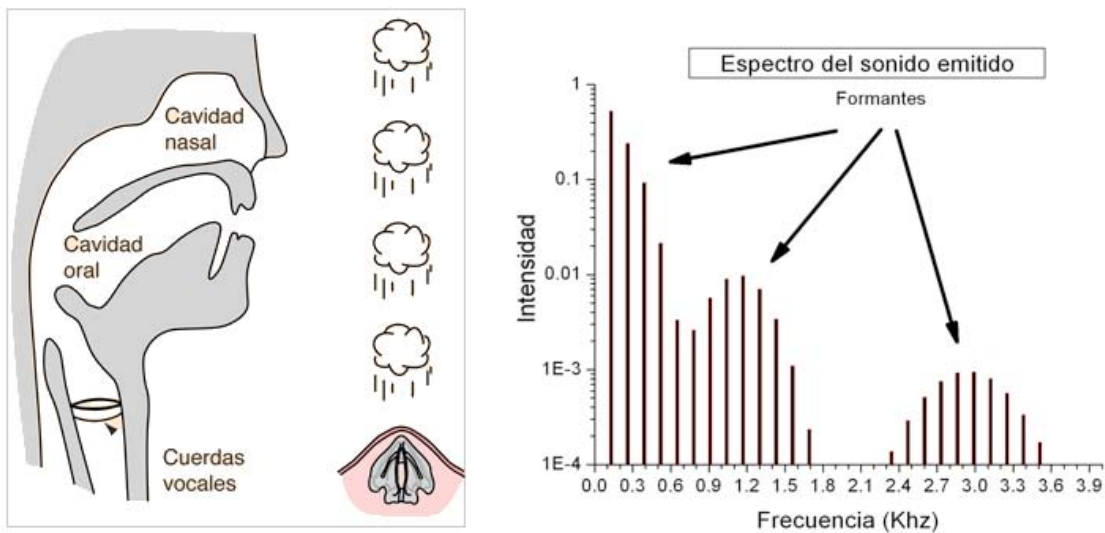
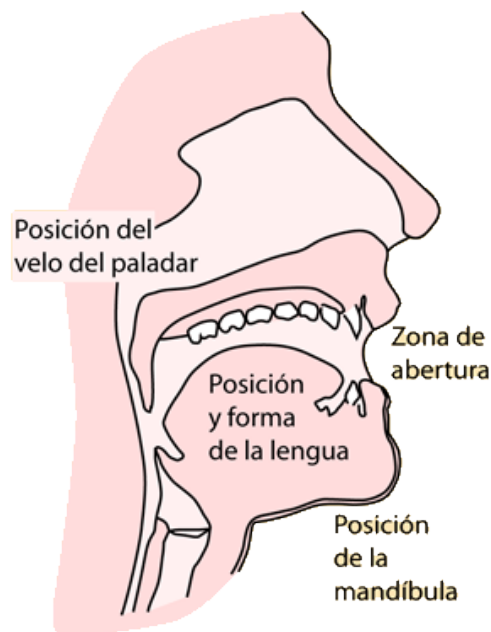


Fig. 2. Tracto vocal, impulsos sonoros y frecuencias formantes.

Las frecuencias formantes más significativas del tracto vocal, en cuanto a la acústica de la voz cantada, son las primeras cinco (F1, F2, F3, F4 y F5) ya que, dependiendo de la relación que se establezca entre ellas, es que se percibe un determinado timbre de voz o calidad vocal. El cantante tiene un control parcial sobre estas variables, que se amplía con el entrenamiento. La frecuencia F0, que corresponde a la frecuencia fundamental de la voz, no se asocia con una formante, ya que no se origina como una resonancia del tracto vocal (Stanley, 1958).

Los estudios indican que el ángulo de la mandíbula y los labios controlan principalmente la primera formante, mientras que la posición y el tamaño de la constricción entre la lengua y el techo boca determina principalmente el control de la segunda formante, y el velo (paladar blando) puede adicionar otra resonancia a alrededor de 1000 Hz. Sin embargo, en la articulación, como en la fonación, con frecuencia es posible lograr el mismo resultado acústico mediante el empleo de diferentes medios y, por lo tanto, no es posible decidir el estado de los articuladores y la configuración de la laringe sobre la base de un único parámetro acústico (Kappas et al, 1991).



*Fig. 3. Articuladores que controlan las primeras formantes.*

La frecuencia fundamental  $F_0$  de la voz, representa la periodicidad con la que los pliegues vocales se abren y cierran a través de la glotis. Acústicamente,  $F_0$  se define como el componente de ciclo periódico más bajo de la forma de onda acústica, y se extrae por algoritmos de seguimiento computarizados (Scherer, 1982), se mide en *hertz* (Hz) que es el número de oscilaciones o ciclos por segundo. La periodicidad de la oscilación de la forma de onda está determinada por el período del armónico fundamental. Los armónicos son múltiplos de la frecuencia fundamental y contribuyen a la percepción auditiva de la calidad de sonido o timbre.

Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

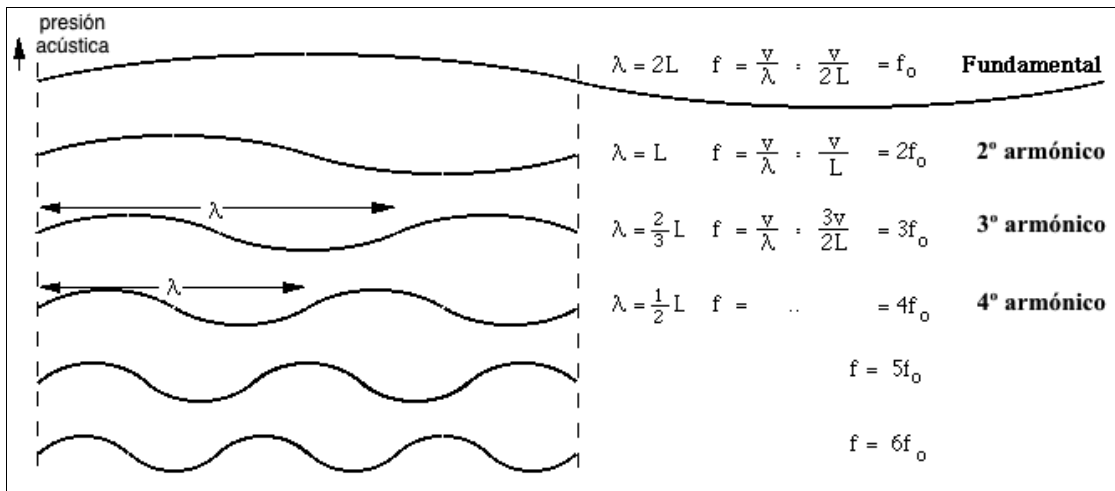


Fig. 4. Frecuencia fundamental y armónicos.

La altura es la propiedad de un sonido por la que puede compararse con otro, de acuerdo a su frecuencia. Se puede distinguir entre el nivel macro de tono en piezas musicales y la micro-entonación en el *performance* o desempeño del cantante. El primero se mide en unidades de semitonos, y el último en términos de desviaciones de las frecuencias macro, por ejemplo, en *cents* (Sundberg, 1991).

Los *cents* son una unidad de medición del tono basada en la octava de temperamento igual. Un semitono del temperamento igual corresponde a 100 *cents*. Por ello, una octava contiene 1200 *cents*. Para calcular la diferencia, en *cents* entre dos frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , se toma en cuenta que:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{\text{cents}/1200}$$

Fórmula 1. Relación exponencial de frecuencias en cents

Por lo tanto,

$$\ln\left[\frac{f_2}{f_1}\right] = \frac{\text{cents}}{1200} \ln 2 \quad \text{y} \quad \text{cents} = 1200 \frac{\ln\left[\frac{f_2}{f_1}\right]}{\ln 2}$$

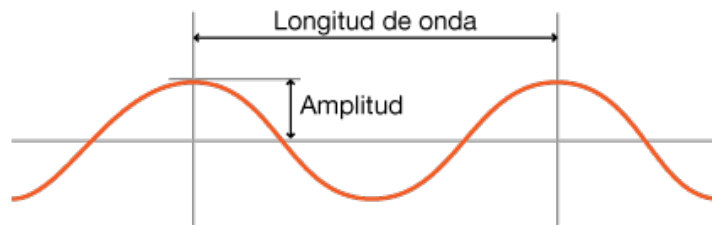
Fórmula 2. Cálculo de la diferencia en cents entre dos frecuencias.

Utilizando logaritmos decimales (base 10), la diferencia en *cents* entre las dos frecuencias, es:

$$cents = 3986 \log_{10} \left[ \frac{f_2}{f_1} \right]$$

*Fórmula 3. Diferencia en cents, con logaritmo decimal.*

La intensidad es una medida de la energía contenida en la señal acústica. Se mide a partir de la amplitud de la forma de onda. La amplitud es el valor máximo absoluto de la variación de presión, positiva o negativa, de la onda sonora.



*Fig. 5. Longitud y amplitud de una onda sonora.*

A mayor amplitud, mayor intensidad. La unidad estándar para cuantificar intensidad es el decibelio (dB). El nivel de intensidad acústica en decibelios se define como:

$$\text{Nivel de Intensidad (dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

*Fórmula 4. Nivel de intensidad acústica en decibelios.*

$I$  es la magnitud de la intensidad;  $I_0$  es una magnitud de referencia, para la que normalmente se utiliza el umbral de audición, que para el oído humano es de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  y equivale a 0 dB.

El vibrato representa cambios periódicos en la frecuencia fundamental de la voz cantante. Posee dos índices importantes: *ritmo* y *extensión*, los cuales se pueden medir desde el

trazo de la curva de la frecuencia fundamental F0 (Metfessel, 1932).

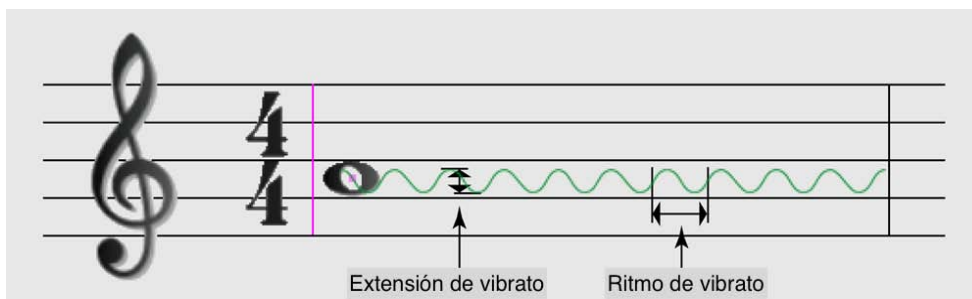


Fig. 6. Representación esquemática de la extensión y ritmo de vibrato.

El *ritmo* del vibrato corresponde a la frecuencia en *hertz* (ciclos por segundo) sobre la que se produce la variación de la frecuencia fundamental. La *extensión* del vibrato es la distancia máxima entre el incremento y el descenso de la frecuencia durante un ciclo o periodo de vibrato. El rango de aceptación general para las medidas de vibrato en su extensión va de un tercio de un tono hasta un semitono, aunque Vennard afirma que puede ser de hasta un tono (Vennard, 1967).

El mecanismo primario del vibrato es la modulación<sup>9</sup> de la frecuencia, y de forma secundaria se ve afectada la amplitud. La frecuencia fundamental y sus armónicos varían cíclicamente, mientras que las formantes no experimentan cambios. La variación sincrónica con F0, hace que los armónicos se acerquen o alejen de las formantes, viéndose más o menos reforzados, de forma que la modulación en amplitud sobreviene pasivamente cuando coinciden con las zonas de resonancia de la función de transferencia del tracto vocal (Seashore, 1932).

Una voz cantante bien entrenada, posee una tendencia natural de producir un vibrato cuya frecuencia se encuentra entre 5 y 7 Hz (Sundberg, 2000; Titze et al., 2002). Sheashore establece como medida óptima de extensión de vibrato alrededor de un cuarto de tono y el ritmo de entre 4 y 7 Hz, siendo entre 5 y 6 Hz lo más común (Sheashore, 1967).

El cantante debe controlar el tono, manteniendo constantes la masa, la longitud y la tensión de las cuerdas vocales (Hirano, 1977). Por lo tanto, el cantante que no canta con el soporte adecuado no puede controlar la velocidad o el ritmo del vibrato (Appelman,

<sup>9</sup> Es decir, la variación que genera las alteraciones de la señal acústica.

1967). Si la variación de la frecuencia fundamental es producida únicamente en la glotis, el vibrato tendrá un ritmo menor a 5 Hz, que en inglés se denomina *bleat*; es común que sea producido por cantantes sin entrenamiento o por cantantes jóvenes en los primeros años de su formación. También es posible que el vibrato se genere desde el diafragma -por falta de control o tono muscular- y que tenga un ritmo entre 6.5 y 8.0 Hz. Este tipo de vibrato frecuentemente afecta la claridad del canto y es uno de los defectos en voces envejecidas; en inglés, se denomina *wobble*. Un vibrato con un ritmo entre 8 Hz y 12 Hz es considerado también un defecto, y se le denomina *trémolo* (Metfessel, 1932; Brodnitz, 1953; Vennard, 1967, Large & Iwata, 1976; Bunch, 1993).

### **Estudios sobre los recursos expresivos de la voz cantante**

En la voz del cantante óperístico, en la interpretación, concurren los elementos de la partitura musical y el mensaje afectivo del canto, junto con la potencia emocional de una trama dramática y de personalidad del personaje actuado. Por lo tanto, los cantantes necesitan utilizar diferentes estrategias para transmitir sus expresiones emocionales a la audiencia. Este transporte acústico de las emociones ha sido investigado entre otros factores mediante el análisis de las emociones del personaje retratado, y también mediante la investigación del estado psicofisiológico del cantante en su desempeño (Scherer, 1995).

De acuerdo a Scherer, hay muy pocos estudios que analizan el papel del intérprete, el cantante, en su proyección vocal del estado afectivo codificada en el escenario operístico. Esto se debe a la gran cantidad de factores involucrados en el proceso: la música en sí misma, la interpretación psicológica tanto de la acción y de los personajes por el director, el tiempo que marca el director, así como la intuición del cantante o su empatía con la caracterización y la atmósfera creada por la audiencia.

Varios investigadores han aprovechado la relación lingüística entre la palabra hablada y el canto para explicar el fenómeno de expresividad, sobre todo cuando en el canto interviene un texto como en el caso de la ópera, donde generalmente la música y el texto van estrechamente ligados para comunicar ideas y emociones.

En el año de 1986, Scherer publicó una investigación donde explica que el estado de



## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

tensión de los músculos de la laringe es afectado directamente por las respuestas emocionales que derivan de los acontecimientos del individuo. Estos estados de tensión aparecen en el sujeto independientemente si decide hablar o no. Si el habla se produce, los cambios dinámicos de músculos de la laringe son sobrepuestos en los estados de tensión general. También menciona que los parámetros de articulación vocal se pueden clasificar en aquellos que son obligatorios para la producción del habla inteligible (p.ej., aquellos que determinan las formantes) y aquellos que podrían reflejar factores extralingüísticos como las expresiones faciales.

En el 2011, Scherer y Sundberg colaboraron para publicar un trabajo que demuestra cómo las características de la fuente de voz influyen en la expresión de emociones (Patel, Scherer, Björkner y Sundberg, 2011). Para ello analizaron acústicamente señales de la vocal /a/ producidas por 10 actores profesionales en cinco emociones diferentes, según variaciones fisiológicas en la fonación. Su análisis reveló tres componentes que explican variaciones acústicas de la fuente de voz debido a la emoción, que son "tensión", "perturbación", y "frecuencia." Sugieren que el trabajo futuro se puede beneficiar del desarrollo de esta teoría de parámetros para medir diferencias en los mecanismos fisiológicos de producción de la voz en la expresión vocal de emociones.

En el artículo "Emotive transforms" publicado por Johan Sundberg en el año 2000, se menciona que las similitudes entre los medios de expresividad utilizados en el habla y el canto son sorprendentes; que tanto en el *performance* instrumental como en el canto y de igual manera en el habla, se cumplen determinadas reglas de agrupamiento y diferenciación (en frases y subfrases), que tienen que ver con la velocidad del inicio y final de cada frase. Su estudio se realizó con interpretaciones de *performance* musical por un barítono, en dos tipos de carácter: expresivo y neutral. Entre sus observaciones, Sundberg menciona que el artista como cantante y actor al mismo tiempo depende de su experiencia y competencia en saber detectar el carácter emocional de un texto y poder demostrarlo a los oyentes; según él, se puede observar que "la mayoría de indicaciones en la partitura corresponden a insinuaciones de tiempo [por ejemplo: *rallentando*, *accelerando*, etc.], lo cual hace suponer que los compositores suelen dejar la mayor parte de la interpretación emocional a los intérpretes".

Más evidencia proviene de estudios que examinaron las consecuencias emocionales de la manipulación de parámetros acústicos. Ilie y Thompson (2006) reportaron que las manipulaciones en la altura de tono, la intensidad y la velocidad (*tempo*) en el habla y la música dieron puntuaciones similares en las emociones de los oyentes. Las comparaciones de las características emocionales entre los dominios del habla y el canto han tendido a centrarse en variables tales como cambios en la intensidad, duración, timbre y tono (Gabrielsson y Lindström, 2010; Juslin y Timmers, 2010).

En la voz hablada, los tres parámetros determinantes y que más se han estudiado son la frecuencia fundamental F0, la intensidad y la duración. Estos tres aspectos juntos conforman la prosodia, es decir, los patrones de acentuación en el habla.

Existen varias similitudes en la forma en que la emoción se expresa por la prosodia del habla y la música (Sundberg, 1998). Los cantantes, así como los oradores transmiten emoción a través de parámetros como el tiempo, la intensidad y la entonación. Según Scherer (1995), las razones de esta similitud se deben también a las limitaciones vocales compartidas entre hablar y cantar.

Sin embargo, toda la gama de señales emocionales, y su grado de solapamiento entre la prosodia del habla y la música, aún no se ha determinado por completo. La comparación de atributos emocionales de la música y el habla ha sido un reto porque no siempre existen análogos directos (Quinto, Thompson & Keating, 2013).

Está bien establecido que la media, el rango y la variabilidad de F0 se eleva para las emociones llamadas "activas", como la ira, el miedo o la alegría, mientras que presentan descensos para emociones "pasivas" como la tristeza. También la intensidad de voz aumenta en la ira y disminuye en la tristeza, y la velocidad de la voz es más elevada para la ira, el miedo o la alegría, y más lenta en la tristeza o melancolía (revisiones de Cowie et al., 2001; Johnstone y Scherer, 2000).

El control del cantante en la expresión emocional se concentra también en la propia calidad de voz, no sólo en las características prosódicas. Esto tiene una influencia sobre los parámetros acústicos, por lo tanto puede ser estudiado cuantitativamente.

En 1977, Scherer y Oschinsky estudiaron la importancia de la modulación de amplitud, el tiempo, el contenido armónico, la tonalidad, el ritmo, el contorno melódico y la variación del

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

tono en la atribución de emociones en secuencias de sonido parecidas a una oración y pequeñas melodías. Según sus resultados, las medidas más importantes para atribuir un contenido emotivo son el *tempo* y el contenido armónico.

Sundberg también explica que existe una relación estrecha entre la expresión de las emociones en la voz y los ademanes o gestos (Sundberg, 1982 y 1987). En concordancia con estudios de Clynes (1977) y Fónagy (1976) Sundberg afirma que la forma en que se utilizan los órganos vocales (articulatorios y fonatorios) determinan el contenido emocional de la voz, y que esto se debe a que las personas tenemos "patrones" de movimientos corporales que influyen también en los órganos productores de la voz. En el caso de la voz en el canto, Sundberg aclara que el contenido principal de emoción es dado por características musicales que fueron determinadas previamente por el compositor, tales como la entonación, la cual está presente a un nivel "macro" en la obra musical; sin embargo, el cantante añade su contenido emocional a la voz cantada a un nivel "micro", es decir, en pequeños detalles que se manifiestan en el contorno de la frecuencia de fonación y que pueden ser estudiados acústicamente.

También sucede de forma inversa, la emoción produce alteraciones fisiológicas involuntarias en el sistema nervioso autónomo y alteraciones somáticas que cambian las características vocales. Estos efectos fisiológicos se reflejan en el tono muscular de las vías respiratorias, del tracto vocal, y los pliegues vocales que conducen a cambios percibidos en la calidad vocal (Guzman et al, 2012).

En cuanto al vibrato como recurso expresivo, según la opinión de los expertos en canto operístico, se produce naturalmente cuando la voz se emite con libertad y buena técnica, por lo tanto "se considera que refleja el sentimiento genuino del cantante, y que dicho sentimiento hace que el vibrato pueda variar, ya sea consciente o inconscientemente, como resultado de expresar el contenido emocional de una canción." (Howes et al, 2004).

Se ha comprobado que el tono o frecuencia fundamental y la intensidad influyen en la magnitud de la extensión del vibrato pero hay una marcada variabilidad entre individuos. Seidner observó que la intención de variar el vibrato en relación con la expresividad se basa fundamentalmente en los cambios en la extensión del vibrato. En su estudio concluye que la existencia de diferencias significativas entre el vibrato normal y el menos

expresivo, y la ausencia de diferencia estadística entre vibrato normal y el más expresivo se debe a que el vibrato normal y el artístico (más expresivo) están próximos a su máxima extensión (Seidner et al, 1993).

Howes (2004), junto con sus colaboradores, estudió la relación entre los datos acústicos y la percepción de vibrato lírico en grabaciones comerciales. Su trabajo sugiere que la percepción del vibrato en las cantantes sopranos no siempre coincide con las mediciones acústicas y que, posiblemente, la preferencia por un tipo de vibrato se asocia con la emoción inherente a la música y producida por la cantante en una actuación.

### **1.3 Métodos de análisis acústico-emocional del canto operístico**

#### **a) Método de *modos y categorías*.**

En 1996, Eliezer Rapoport<sup>10</sup> publica un artículo donde describe un método para analizar el contenido expresivo en grabaciones de arias de ópera y *Lieder* de distintos compositores (Schubert, Verdi, Mozart, entre otros), en distintos idiomas e interpretados por cantantes de las diferentes clasificaciones vocales (sopranos, altos, barítonos, bajos).

En su artículo, Rapoport indica que en el canto, la expresión emocional se encuentra plasmada en tres niveles: el texto, la partitura y el *performance*; su trabajo se enfoca en el tercer nivel, es decir, en el *performance* o la interpretación por parte del artista. Explica que los cantantes poseen la capacidad de moldear la estructura temporal de los tonos individuales y así crear una gran variedad de matices que incluyen las transiciones entre notas. Esto constituye la "micro-entonación", es decir, una micro-escala dentro del tono individual. En analogía con el habla, la entonación del discurso es equivalente a la línea melódica en el canto, sólo que ésta última es determinada por el compositor; más allá de la partitura escrita, el cantante utiliza la micro-entonación como un medio de expresión emocional adicional.

---

<sup>10</sup> Investigador en la Universidad Bar-Ilan, Ramat-Gan, Israel.

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

Es posible establecer que el método que emplea Rapoport se desarrolla en las siguientes etapas:

1. Observación del espectro de la señal de audio. *El examen de un espectrograma FFT, o partes de él, se llevó a cabo simultáneamente con la escucha a fin de encontrar la correspondencia entre la aparición espectral y los contenidos musicales.* Mediante la observación empírica, pero meticulosa, de los espectrogramas FFT, sus diferencias y semejanzas, Rapoport establece que existen siete mecanismos fisiológicos que los cantantes pueden activar voluntariamente (controlados por el cerebro) con el propósito de la expresión emocional y que se reflejan en el espectro de la señal de audio. Dichos mecanismos son:

- **Fonación.** Rapoport emplea este término para referirse a la producción de sonido en los formantes inferiores (F1, F2 ó F3).

- **Excitación de altos armónicos o parciales.** Se refiere a la "formante del cantante", una alta concentración de energía en formantes superiores (F4 Y F5); en voz masculina se presenta alrededor de 2-3 kHz, y en voces femeninas alrededor de 3-4 kHz (Sundberg, 1987).

- **Vibrato.** Es la modulación periódica de la frecuencia fundamental, acompañada por una modulación de amplitud de la misma frecuencia, en fase, en oposición de fase, o de frecuencia doble, dependiendo de si el armónico más fuerte está más bajo, más alto, o exactamente en el formante más fuerte, respectivamente (Sundberg 1987). De acuerdo a Rapoport, debe tenerse en cuenta que la modulación de frecuencia se origina en las cuerdas vocales, mientras que la modulación de amplitud se origina en las cavidades de resonancia. Un mecanismo adicional: el trémolo, constituye un vibrato irregular que refleja patetismo o sentimientos de horror.

- **Transición.** Se refiere a un aumento gradual de la frecuencia fundamental, desde el inicio del tono y hasta el estado sostenido.

- **Esforzando.** Es un aumento abrupto de la frecuencia fundamental en el inicio de tono, que tiene una duración de 50 a 80 ms.

- **Cambio de tono en el tono individual.** Cuando se presenta un cambio gradual de la

frecuencia fundamental, ya sea creciente, decreciente u ondulante (no vibrato).

- **Unidad de pulso o *beat elemental***. Corresponde al "ritmo neurofisiológico", que es la medida de un pulso de vibrato (entre 120 y 150 ms). Por pulso vibrato se entiende un periodo entre dos mínimos sucesivos en la línea de vibrato en el espectrograma FFT. "Esta unidad no es absolutamente constante, tal como un latido del corazón, que varía de acuerdo con el estado emocional y de un cantante a otro. Su elección representa algún tipo de normalización."

A partir de dichos mecanismos y su observación en el espectro, Rapoport hizo una clasificación comparativa y observó estructuras comunes, a las que denomina "modos" de canto.

2. Determinación de los "modos" de canto. Rapoport nombra "modos" a las *estructuras temporales de tonos vocales*, observadas en el espectrograma FFT, que son controladas por los siete mecanismos antes descritos. Encontró que para cada tipo de emoción existen agrupaciones típicas de los "modos", ya que estos "modos" *se relacionan con la forma en que el cantante expresa las distintas emociones del texto literario y la partitura musical*.

Un examen más detallado del contexto en el que los diversos modos aparecieron, reveló una clara separación de los modos en grupos de acuerdo con el contexto emocional de la música y el texto - de tal manera que un grupo determinado (o categoría) de modos que aparecen en un determinado contexto emocional, como la rabia, definitivamente no aparece en un contexto emocional contrario como la felicidad o la alegría.

Rapoport identificó más de 50 tipos de "modos" y los agrupó en diferentes categorías de expresividad emocional. Visualmente existe una clara diferenciación entre modos "salientes" o más pronunciados (más largos, más altos o acentuados) y otros modos que consisten de tonos cortos, no acentuados o en notas de ornamentación.

3. Determinación de "categorías" de expresión emocional. Después de analizar los "modos" y su origen musical y emocional, Rapoport estableció un sistema jerárquico donde agrupó a los "modos" en ocho categorías:

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

- **Neutro o Suave.** Aquí se incluyen los "modos" relacionados con los sentimientos más suaves - a veces en la frontera de la neutralidad-, que aparecen en los tonos ornamentales o en el inicio de los *recitativos*. No revelan ninguna característica excepcional. La frecuencia fundamental y los armónicos se presentan con alguna variación leve en el tiempo y corresponden muy bien al tono nominal (nota musical).
- **Calmado.** A esta categoría pertenecen los "modos" que aparecen en música de carácter relajado, templado o triste. Aparecen tonos de larga duración (de 0.6 a 2.0 s).
- **Expresivo.** Se determina mediante la acción de los mecanismos de fonación, vibrato y excitación. En esta categoría existen varias subclasificaciones, de acuerdo a diversas combinaciones que aparecen de dichos mecanismos.
- **Intermedio.** Esta categoría incluye una variedad de evoluciones tonales que se encuentran entre los modos *Expresivo* y *Exitado*. Contienen una etapa pre-vibrato corta, o decrementos de frecuencia en el inicio de tono.
- **De Transición o Multi-grado.** Aquí se agrupan los cambios graduales de tono o frecuencia fundamental. Se encontraron dos tipos de transición: cóncava y convexa, dependiendo de si aumenta o disminuye la pendiente en el tiempo. Se establecieron subdivisiones de esta categoría, de acuerdo a medidas en *cents* o semitonos del cambio de frecuencia y la duración.
- **Corto.** Estos modos tienen una estructura ondulada de fluctuación denominada *jitter*, un precursor de vibrato, y por lo tanto ocupan una posición intermedia entre la fluctuación en los modos neutrales y los modos con vibrato. Aparecen en tonos acentuados en frases de carácter emocionado, o en pasajes rápidos con notas en *cuartos*, *octavos* y *dieciseisavos* y en el *staccatto*.
- **Excitado.** A esta categoría pertenecen los "modos" que aparecen en el canto de frases musicales con gran emoción (ira, tensión, grito triunfal), cuando los cantantes cantan de una manera acentuada en la parte superior de su voz. No son sólo el resultado de la sonoridad, sino también de un aumento de la tensión en la expresión vocal o en el texto.
- **Virtuoso.** Se integra una concentración de energía en sólo tres o cuatro parciales, con la frecuencia fundamental marcadamente perfecta, sin desviaciones, sin vibrato, y no hay complejidades en las estructurales temporales. Representa la perfección técnica pura y la

maestría artística. No se transmite ninguna emoción extramusical, ya que denota el deseo explícito de parte del compositor de dar al artista la oportunidad de exhibir su virtuosismo. Esta categoría se encuentra en papeles de *soprano de coloratura*.

En las Figuras 7 y 8 se observan dos ejemplos de los modos **Calmado** y **Virtuoso**, presentados en la publicación de Rapoport.

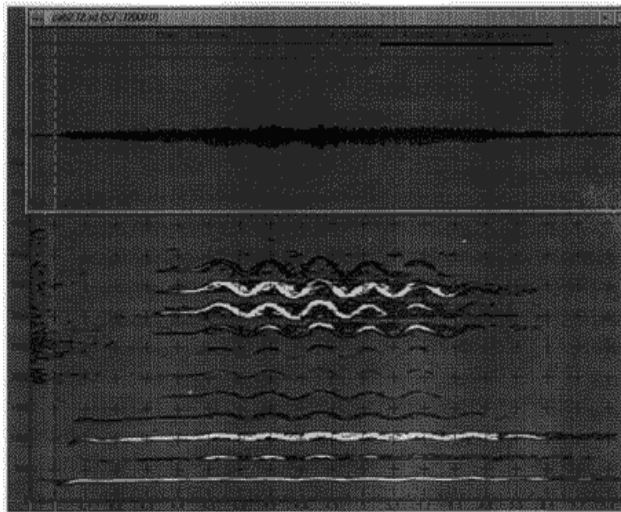
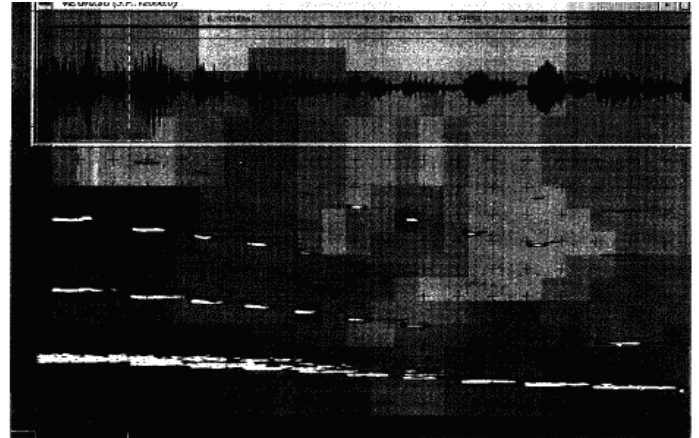


Fig. 4. C mode, ("cia" from "Fran-cia", Verdi Don Carlos, Elisabetta's aria "Tu che le Vanita", sung by Monserrat Caballe).

Fig. 7. Ejemplo de "modo" Calmado.



No. 10. Scene and Legend of the Pariah's Daughter

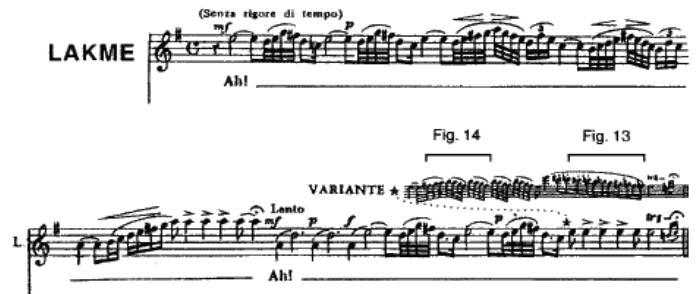


Fig. 13. Ten staccato Vr mode tones (Delibes Lakmé Bell Song, sung by Edita Gruberova).

Fig. 8. Ejemplo de "modo" Virtuoso.

4. Notación y creación de la "partitura del performance". Rapoport creó una notación específica utilizando letras y signos.

Para cada "categoría" de expresividad utiliza una letra diferente:

- Neutro o Suave: N
- Calmado: C



## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

- Expresivo: R
- Intermedio: I
- De Transición o Multi-grado: T, subcategorías G
- Corto: S, subcategorías A y M
- Excitado: X
- Virtuoso: V

En la Tabla 1 se pueden observar algunas letras y signos de la notación que Rapoport utiliza, de acuerdo a los mecanismos de fonación, vibrato y excitación empleados por los cantantes.

Notación	Significado
p, P	Fonación en bajas formantes de baja y alta intensidad, respectivamente
p*	Fonación de sólo la frecuencia fundamental.
e, E	Excitación de formante del cantante; baja y alta, respectivamente.
v, V	Vibrato; extensión (amplitud) y en estado sostenido, respectivamente.
i	Incremento gradual. P.ej. <i>iv</i> incremento gradual de la extensión de vibrato.
t, T	Transición de pequeña y grande extensión, respectivamente.
k, K	Incremento gradual de la frec. fund. con forma convexa.
j, J	<i>Jitter</i> , pequeño y grande, respectivamente.
s	Prefijo para "pequeño". P.ej. <i>sv</i> pequeña extensión de vibrato.
w	Tono sinuoso de excesivo <i>jitter</i> .
;	Terminación de un estado de transición.
-	Estado sostenido de un tono.
d, D	Disminución de la frecuencia fundamental, pequeña y grande, respectivamente.
o	Comienzo de vibrato.
F	Terminación de tono en una consonante fricativa, o terminación fonética.
L	Ligado ( <i>legato</i> ) entre dos tonos.
[, ]	Comienzo y fin de tono.
B	<i>Beat neurofisiológico</i>
a, A, m, M	Se utilizan como subcategorías de tonos en "modo" Corto ( <i>Short</i> ).
!, +	Fonación cortada o alargada, respetivamente.

*Tabla 1. Notación de Rapoport.*

Por lo tanto, a través de su método, Rapoport desarrolló un nuevo lenguaje, donde la notación constituye el alfabeto, los diferentes modos son el vocabulario, y las categorías y su uso en la frase melódica constituyen las reglas gramaticales y la sintaxis. Todo ello como una forma de proporcionar herramientas útiles para la creación de la "partitura del *performance*". Según su estudio, la "partitura del *performance*" se crearía de la siguiente manera: por encima de cada nota en la partitura vocal-musical, se anota la categoría (observando el espectrograma FFT y los patrones dibujados) del modo de canto al que pertenece. La correspondencia entre los modos de canto y las notas en la partitura, el texto y los roles de la orquesta o piano con su estructura armónica pueden ser analizados y comparados. De esta manera se pueden comparar *performances* de artistas diferentes en la misma partitura.

Maria Callas:  $!m \textcircled{G_2} sm \text{RTRD R } m3t \text{R}$

Margaret Price:  $N \textcircled{R} N C_5 N N N C NC$

Amelia: *can dolore*  
Mor-ro, ma prima in gra-zia  
Be-fore my death, I pray — thee,

Amelia:  $a' \textcircled{G_2} R sa R R R R R R R m R C - \textcircled{G_2} M m R m t$   
 $C C_5 N R N N w_3 C N N R m \textcircled{G_2} t R - \textcircled{1x} m \textcircled{2G_2} m j$

Amelia: *deh! mi consen-ti al-me-no l'u-ni-co fi-glio mi-o, l'unico fi-glio*  
grant me this one fa-vour on-ly- Once more to see my son, the son I — bore thee,

Amelia:  $R R m_3 m_3 R R R C_5$   
 $C N m N C_5 N N N$

Amelia: *morendo*  
mio av-vin-cere al mio se-no.  
once more to my heart to hold him!

Fig. 9. Partitura del *performance*, de Rapoport.

En la Fig. 9 se observa un ejemplo de "partitura del *performance*" donde se comparan las interpretaciones de las sopranos Maria Callas y Margaret Price, de la frase "Morro, ma prima in grazia..." del aria de Amelia, del tercer acto de la ópera *Un Ballo in Maschera* de Verdi. Al respecto de esta comparación, el análisis de Rapoport establece:

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

Margaret Price expresa con su canto profundo pesar y tristeza, aceptando con resignación su trágico destino. Comienza con una combinación C-N [...] En la segunda frase, como la tensión aumenta, los modos N se sustituyen por los modos w4 y w3. La tercera frase, tiene R, I, I y X, y zG2 como salientes y m en ornamentos. En la quinta frase vuelve a la resignación en la combinación C-N. Maria Callas expresa más patetismo e incluso protesta, ya que ella no acepta que ella tiene que morir. Su canto se caracteriza por los modos G2 y R para los salientes y m para los ornamentos - un nivel mucho más alto de expresividad y tensión.

En un artículo posterior, (2008) Rapoport presenta otro trabajo sobre este tema donde amplió su notación agregando más símbolos, letras y números, y realizó "partituras del *performance*" de otras obras analizadas.

### **b) Método de *codificación y relaciones*.**

El estudio de Timmers<sup>11</sup> publicado en el 2007, fue desarrollado para investigar la relación entre la expresión vocal, la estructura musical y la emoción; además de verificar cómo dichas relaciones han cambiado durante el siglo XX, específicamente en el *performance* de tres canciones de Schubert. Para ello, utilizó grabaciones que abarcan el periodo de 1907-1977, con énfasis en el período entre 1920 y 1950, su colección incluye cantantes famosos de distintas generaciones que, en algunos casos, interpretan más de una de las canciones seleccionadas.

En su investigación, Timmers analiza los cambios emocionales en pasajes musicales a nivel del compás musical.

El método de Timmers se divide en cuatro etapas:

1. Caracterización de la actividad, la valencia y la tensión emocionales. Timmers asigna números de acuerdo a la actividad emocional del pasaje analizado de la canción. Si la actividad es alta, asigna un "3", si es media, un "2", y si es baja un "1". Para llevar a cabo

---

<sup>11</sup> Actualmente es investigadora en la Universidad de Sheffield, Reino Unido.

esta caracterización, Timmers toma en cuenta las características melódicas y rítmicas del pasaje musical analizado. Pasajes activos con una melodía *triádica* y un rango melódico mayor a una cuarta se distinguen de pasajes tranquilos con notas más largas y movimiento melódico por grados conjuntos. Esta distinción entre pasajes continúa a través de la pieza musical y se acompaña de sus relaciones con el texto.

De la misma forma, si la valencia emocional es positiva, Timmers asigna un número "1", y si es negativa, le asigna un "0". Para determinarlo, se basa en el texto (en relación con los *estados de ánimo* del personaje) y en la armonía (acordes y tonalidades musicales).

La tensión es calificada con un "0" si es baja, o con un "1" si existe un punto alto, de acuerdo a los acentos rítmicos y melódicos del pasaje musical.

2. Codificación de la estructura musical. En esta etapa, Timmers, utilizando la partitura, analiza el contorno melódico (altura tonal en semitonos), la densidad rítmica (número de notas en cada compás musical), determina si existen finales de frase en cada compás y puntos "altos" en la melodía. Todos los cálculos o asignaciones numéricas se realizan por compás musical.

3. Medición de la expresión vocal. En esta etapa, se realizan medidas de duración en cada compás, la amplitud o nivel sonoro promedio de cada compás, la frecuencia y extensión del vibrato en notas largas y el número de aumentos o incrementos (variaciones) de la frecuencia fundamental por compás.

Para realizar estas mediciones, Timmers utiliza la visualización del espectrograma FFT en un programa de cómputo denominado PRAAT. La ubicación de inicios y finales de compás se determina manualmente utilizando una herramienta de anotación y marcado. Timmers señala que el inicio de tonos vocales es difícil de determinar con exactitud y de forma coherente; así que, como regla general ella utiliza la determinación de que la aparición de un tono de voz coincide con el inicio de la vocal, que es también el inicio de la parte periódica de la señal.

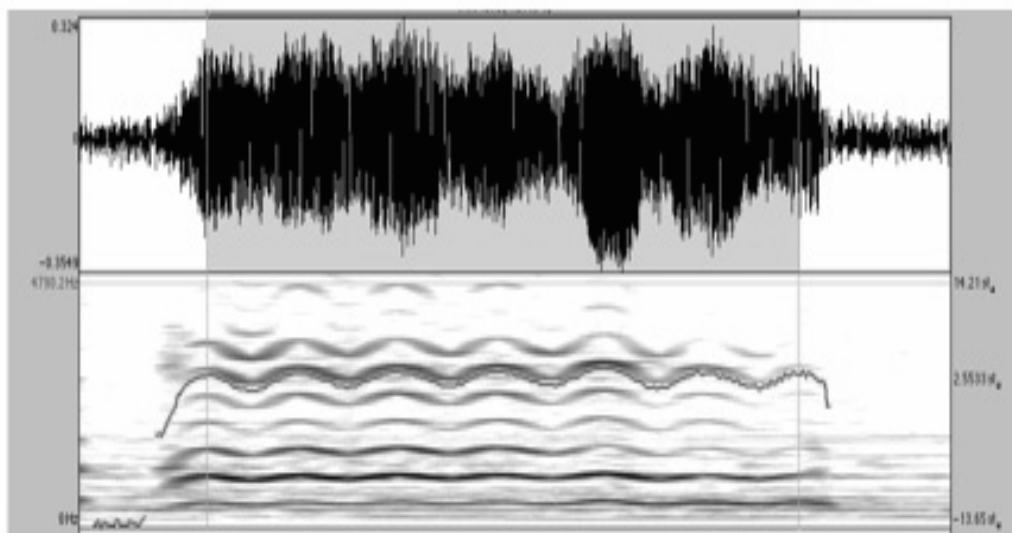
También, Timmers se enfrentó con algunas dificultades en la determinación de la frecuencia fundamental, ya que sólo se podía determinar con exactitud cuando la señal de

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

voz se presentara considerablemente más fuerte que el acompañamiento. Menciona que:

la detección de la frecuencia fundamental es generalmente mejor en las grabaciones más antiguas, donde la voz es mucho más fuerte que el acompañamiento, que en las grabaciones modernas (desde la década de 1960 en adelante), donde el piano y la voz están en igualdad de equilibrio: en estas grabaciones modernas, sólo partes de tonos cantados, a menudo las partes más fuertes, se detectan correctamente y se pueden utilizar para medir la frecuencia fundamental.

Para determinar las medidas del vibrato, Timmers localiza visualmente en el espectrograma FFT las notas largas representativas de cada compás y determina manualmente los picos o depresiones de la onda de vibrato en dicha nota; mide los valores máximos y mínimos en semitonos. Para calcular la frecuencia del vibrato, verifica la duración de la nota y la divide entre el número de ciclos de vibrato contados visualmente. En la Figura 10 se puede observar el ejemplo que Timmers provee en su artículo, donde las líneas verticales en gris claro indican la distancia en tiempo entre dos picos de vibrato en la nota larga correspondiente.



*Fig. 10. Determinación del vibrato, por Timmers.*

Para determinar el número de *variaciones* de la frecuencia fundamental, por compás, Timmers utiliza el análisis visual apoyado por la audición de la grabación; hace una distinción entre *variaciones* de la frecuencia fundamental grandes y pequeños, que se dan en voz más intensa y menos intensa, respectivamente.

4. Correlaciones entre medidas y codificaciones. Una vez que Timmers concentra sus codificaciones y mediciones en tablas y gráficas, emplea fórmulas de análisis de regresión múltiple para relacionar las medidas obtenidas en las codificaciones y la expresión emocional. Timmers no proporciona una explicación detallada de esta etapa en su artículo y prosigue con la descripción de sus resultados.

En los resultados de su investigación, Timmers presenta las características generales de los *performances* analizados, las similitudes en la expresión entre *performances* y las relaciones entre la expresión, la estructura y la emoción. Timmers encontró claras semejanzas en las estrategias de *performance* adoptadas por cantantes diferentes para expresar características emocionales. Estas semejanzas ocurrieron a pesar de diferencias en los estilos del *performance*. También encontró algunas diferencias de desarrollo de los *performances* en lo histórico, tales como el aumento en el ritmo de vibrato y el decremento de la extensión del vibrato de los cantantes a lo largo del siglo XX.



---

## Capítulo 2. PLAN Y MÉTODO DE ANÁLISIS

---

En el capítulo anterior, se establecieron los antecedentes teóricos sobre los cuales se fundamenta este trabajo. A partir del estudio de los métodos de Rapoport y Timmers, en este capítulo se realiza la propuesta de un nuevo método de análisis de las relaciones acústico-expresivas y se explica el procedimiento del que está compuesto, es decir, la metodología. También se explican los procesos de desarrollo y evaluación propuestos para este método.





## 2.1 Planteamiento de un método de acústica y percepción

El método que aquí se propone, es utilizado para la identificación de factores acústicos que intervienen en la percepción de la expresividad emocional en el canto operístico. Consiste en la creación de un método automatizado, mediante el cual se extrae la información de parámetros acústicos a partir de una señal digital de audio, proveniente de una grabación.

Los métodos explicados de manera general en el capítulo anterior (Rapoport, 1996 y Timmers, 2007) sirven como referentes y fundamento del planteamiento expuesto aquí para un nuevo método. En la Tabla 2 se presenta una comparativa de las características metodológicas de cada uno de los métodos tratados y el que se propone, en el nivel de análisis acústico.

Característica metodológica	Método		
	De modos y categorías (Rapoport, 1996)	De codificación y relaciones (Timmers, 2007)	De acústica y percepción (este trabajo)
Análisis espectral	Visual y asistido	Visual y asistido	Automatizado
Parámetros acústicos analizados	Energía espectral, Vibrato, Variación en el tiempo de F0, Formantes, Intensidad.	Amplitud, Variación de F0, Vibrato.	Variación de F0, Variación de la intensidad, Vibrato, Extensión de vibrato.
Unidad de análisis	Sílaba cantada	Compás musical	Unidad de tiempo

*Tabla 2. Comparativa de características metodológicas del análisis acústico.*

En los métodos expuestos existen similitudes en cuanto al análisis de parámetros acústicos con base en la visualización de los espectrogramas de las señales de audio de las grabaciones utilizadas, y la obtención de los parámetros de manera asistida. En el método que aquí se plantea, se pone énfasis en hacer de dicho análisis un proceso automatizado que tiene ciertas ventajas, tales como ahorrar tiempo de análisis, evitar errores en cálculos matemáticos y la posibilidad de analizar grandes cantidades de información.

## Capítulo 2. PLAN Y MÉTODO DE ANÁLISIS

Algunos de los parámetros acústicos analizados en el método de modos y categorías (Rapoport, 1996), proporcionan información que es más relevante en el caso de aspectos tímbricos de la voz cantada (energía espectral y formantes); esto se debe a que, en sus análisis, utilizó grabaciones de ópera de todo tipo de clasificación vocal de cantantes. En el caso del método de codificación y relaciones (Timmers, 2007), como en el propuesto de acústica y percepción, no se toman en cuenta dichos aspectos porque el análisis se refiere a voces de cantantes femeninas clasificadas como soprano.

Las unidades de análisis que se utilizan en los métodos anteriores al propuesto aquí, son difíciles de crear a nivel computacional, debido a que las sílabas cantadas y los compases musicales no son distinguibles como elementos inherentes al espectro de la señal de audio; debido a ello, en el método propuesto, la unidad de análisis se establece como una medida de ventana de tiempo, que se puede variar de acuerdo al propósito de la investigación.

Por otra parte, en los métodos anteriores, la utilización de grabaciones de ópera como soporte de análisis es común, debido a que el uso de música grabada en un contexto de investigación ofrece el poder acceder a las interpretaciones tantas veces como sea necesario y facilita la medición de diversas características que se dan en ellas, lo que permite encontrar las diferencias entre intérpretes para valorar sus singularidades de una forma más objetiva y práctica para el investigador.

Sin embargo, en ninguno de los dos métodos anteriores al propuesto aquí, se plantea un análisis del contenido emocional mediante la aplicación de pruebas perceptuales. En dichos métodos, la explicación del contenido emocional se traduce en las supuestas emociones que el compositor quiso dejar plasmadas en la partitura y el texto; mientras que la valoración de la interpretación expresiva por parte del cantante se limita a la apreciación individual de los autores de los estudios mostrados.

Las pruebas perceptuales son métodos subjetivos de evaluación de audio, fundamentados en la teoría estadística y en las puntuaciones obtenidas de un grupo de participantes o sujetos de prueba, donde se trata de reproducir en laboratorio las condiciones de escucha más realistas posibles pero de una manera controlada.

Por lo tanto, para el desarrollo y la evaluación del método propuesto, como una manera de

verificar la funcionalidad y proporcionarle validez, se integran tres etapas esenciales, que son: la selección de grabaciones de canto operístico, la automatización del procedimiento de análisis acústico y la aplicación de pruebas perceptuales subjetivas.

## **2.2 Procesos de desarrollo y evaluación**

### **a) Criterios de selección de grabaciones**

La selección del material grabado se realiza de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Grabaciones de ópera comerciales y digitalizadas en discos compactos, lo que permite la obtención y procesamiento de la señal de audio mediante el uso de la computadora; asimismo ofrece un soporte estable y de fácil consulta.
2. Una misma pieza cantada por diferentes intérpretes, para poder realizar comparaciones más precisas en un mismo tipo de voz.
3. Cantantes profesionales, de igual o similar nivel de ejecución técnica. De este modo se restringe el estudio sobre las variables que son del interés de este trabajo y se minimiza la consideración del nivel de uso de recursos técnicos en base a la experiencia interpretativa, que pudiese influir en los análisis perceptuales o acústicos.
4. Frases cantadas con contenidos emocionales contrastantes, y de preferencia donde el acompañamiento instrumental u orquestal ejerza poca o ninguna influencia.

### **b) Automatización del análisis acústico**

Se utiliza el programa PRAAT<sup>12</sup> (Boersma y Weeneck, 2010) y su lenguaje de programación de *scripts* para hacer del análisis acústico un proceso automático llevado a cabo de manera computacional. Las funciones principales de PRAAT están orientadas al análisis fonético del habla. Los *scripts* son programas que se ejecutan dentro de PRAAT, se trata de archivos de texto que contienen una serie de instrucciones. Los *scripts* permiten realizar acciones repetidas automáticamente, es decir, sin la intervención del usuario.

---

<sup>12</sup> **PRAAT** (del holandés "hablar") es un software gratuito para el análisis científico del habla. Fue diseñado y continúa siendo desarrollado por Paul Boersma y David Weenink de la Universidad de Ámsterdam.

## Capítulo 2. PLAN Y MÉTODO DE ANÁLISIS

El procedimiento de análisis acústico que se ha diseñado en este trabajo, consta de las siguientes etapas:

1. Etiquetado de las frases musicales a analizar. Consiste en establecer marcas o *etiquetas* para separar y diferenciar trozos o tonos musicales en el espectrograma de la señal de audio.

En primera instancia, se obtiene el espectrograma FFT de la señal de audio en PRAAT, a partir de una grabación digitalizada y se crea un archivo de tipo *TextGrid*, asociado o enlazado, que contiene la información de las marcas o etiquetas sobre el archivo de audio. En este caso, el etiquetado de los archivos de audio se realiza de manera automática por medio de un procedimiento estipulado en el *script*, donde se fragmenta cada archivo de audio en marcas de igual longitud o tamaño de *ventana* de tiempo. Posteriormente pueden calcularse las medidas referentes a cualquier tipo de datos que contiene el espectrograma del archivo de audio.

2. Determinación de las curvas espectrales de frecuencia fundamental, intensidad y vibrato. En otro procedimiento del *script*, por medio de las funciones de PRAAT, se obtienen los valores del espectrograma dados en el tiempo -lo que se denomina "curva"- de los parámetros de frecuencia fundamental e intensidad y, después, se realiza un post-procesamiento de la curva de frecuencia fundamental para obtener la curva de vibrato.

**Frecuencia fundamental F0.** El algoritmo de Praat para el cálculo de la curva de valores de frecuencia fundamental es el descrito por Boersma (1993) y optimizado para voz, basado en un método de correlación y que se ejecuta por medio de la instrucción "To Pitch". La representación de la curva melódica aparece como una línea azul en la parte inferior de la ventana de análisis y edición de PRAAT, como se presenta en la Figura 11.

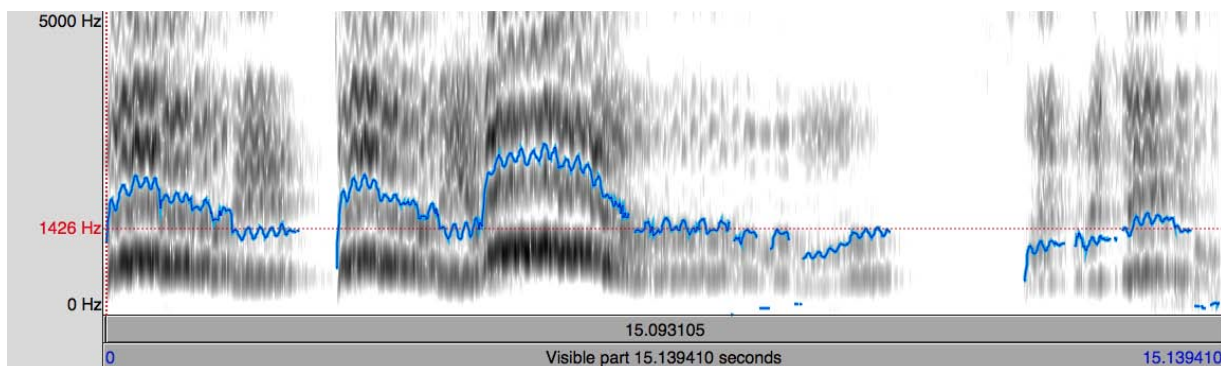


Fig. 11: Curva de la frecuencia fundamental F0 en PRAAT

**Intensidad.** El algoritmo que se utiliza en Praat para determinar los valores de intensidad se ejecuta mediante la instrucción "To Intensity". La curva de intensidad es representada por una línea de color amarillo en la ventana del análisis y edición de PRAAT, como puede observarse en la Figura 12.

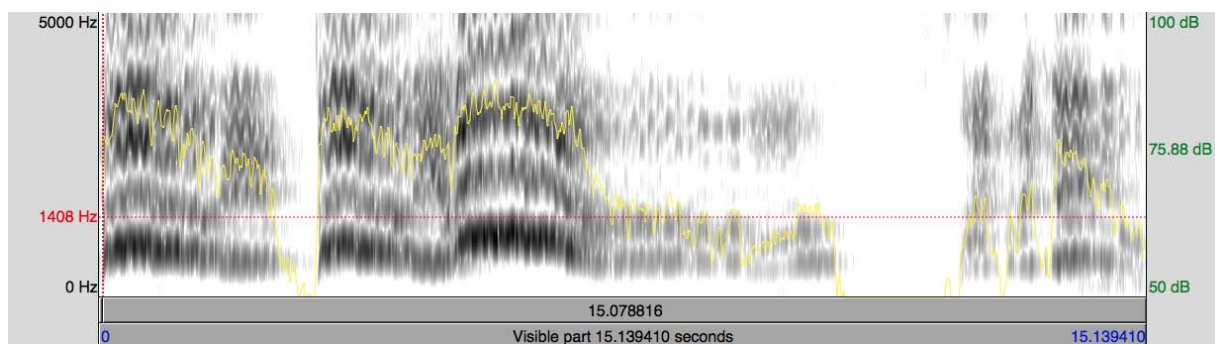


Fig. 12: Curva de intensidad en PRAAT

**Vibrato (ritmo y extensión).** Los valores de la curva de vibrato se calculan por medio de un post-procesamiento de la curva de frecuencia fundamental F0. En la Figura 13 se observan como puntos en color rojo algunos valores obtenidos de la curva de vibrato para una frase cantada. Dichos valores equivalen al ritmo o frecuencia del vibrato en hertz. A partir de esos valores se calcula en el *script* la distancia entre los valores mínimos y máximos en *cents* para indicar la medida promedio de extensión o amplitud del vibrato.



La ordenada al origen  $b$ , corresponde a:

$$b = y_p - m \cdot x_p$$

*Fórmula 6. Ordenada al origen.*

donde  $x_p$ ,  $y_p$ , son los valores promedio:

$$y_p = \frac{1}{n} \sum y_i, \quad x_p = \frac{1}{n} \sum x_i$$

*Fórmula 7. Valores promedio  $x_p$ ,  $y_p$ .*

A partir del cálculo de la pendiente  $m$  y de la ordenada al origen  $b$  de la línea recta que mejor se aproxima a la curva correspondiente, también se obtienen en el *script* los valores inicial A y final B de cada uno de los parámetros acústicos estudiados. Los valores A y B se calculan por medio de las siguientes ecuaciones:

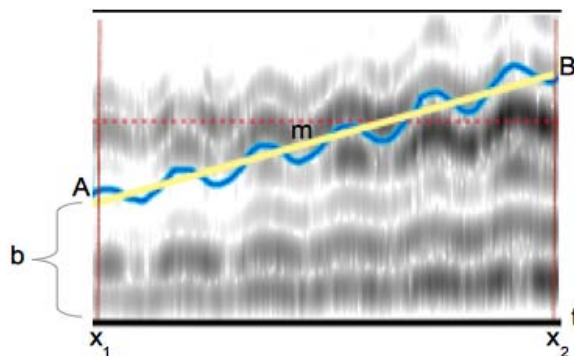
$$A = mx_1 + b$$

*Fórmula 8: Valor inicial A al tiempo  $x_1$  de cada parámetro acústico.*

$$B = mx_2 + b$$

*Fórmula 9: Valor final B al tiempo  $x_2$  de cada parámetro acústico.*

Gráficamente, puede observarse la pendiente  $m$  obtenida -en color amarillo- aproximada a la curva de frecuencia fundamental -azul- en la Figura 14, en un fragmento espectral.



*Fig. 14: Curva espectrográfica de frecuencia fundamental  $F_0$  (azul) y ajuste a una línea recta (amarillo) con pendiente  $m$ , ordenada al origen  $b$ , valor inicial  $F_0=A$  al tiempo  $x_1$  y valor final  $F_0=B$  al tiempo  $x_2$ .*



## Capítulo 2. PLAN Y MÉTODO DE ANÁLISIS

El resultado de aplicar la fórmula de la pendiente  $m$ , indica el aumento o disminución gradual de cada parámetro acústico determinado. Si el resultado es positivo significa un aumento, y si es negativo significa una disminución.

**Error de la pendiente.** Es una estimación de la incertidumbre para el valor calculado de cambio en el tiempo. Su magnitud es el intervalo entre cierto valor medido  $y_i$  y el valor de la función  $y$  en ese punto para el valor de  $x$ . Ese valor  $y$  se puede calcular a partir del valor correspondiente de  $x$  como  $mx_i + b$ . La diferencia es el valor  $\delta y_i$ . Por lo tanto, el error se determina con la desviación estándar de la distribución de valores  $\delta y_i$  alrededor de la mejor recta. Esto es, con la siguiente fórmula<sup>13</sup>:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_i (\delta y_i)^2}{N - 2}}$$

*Fórmula 10: Error de la pendiente*

### c) Diseño de pruebas perceptuales

Las pruebas subjetivas de percepción realizadas en este trabajo, se diseñaron a través de un programa de cómputo llamado MushraJS, desarrollado en HTML y en lenguaje de programación JavaScript por Sebastián Kraft en el año 2007, bajo licencia GNU (General Public License). Dicho programa fue realizado originalmente como un tipo de prueba MUSHRA<sup>14</sup>, que es uno de los métodos existentes para la evaluación subjetiva de la calidad de audio; debido a ello, la interfaz gráfica fue modificada para adaptarla al propósito de evaluar la expresividad en el canto.

La principal ventaja de la prueba MUSHRA sobre el *Mean Opinion Score* (MOS) generalmente utilizado para los mismos objetivos, es que requiere un número menor de participantes para obtener resultados estadísticamente satisfactorios, lo que se debe al hecho de que todas las comparaciones son *pareadas* y que la mayor escala de valoración (0 a 100) facilita la evaluación de diferencias muy pequeñas.

---

<sup>13</sup> El divisor N-2 en esta fórmula proviene de aplicar la definición de "desviación estándar" a la posición de una recta.

<sup>14</sup> MUSHRA son las siglas de "Multi Stimulus with Hidden Reference and Anchor". Se describe en: Recomendación ITU-R BS.1534-1 (<http://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1116-1-199710-I/e>).

En la prueba MUSHRA, se le presenta al oyente junto con la referencia (señalándola como tal), un cierto número de muestras de audio, una versión oculta de la referencia (esta vez sin indicar como tal) y una o más anclas (muestras de audio claramente buenas o malas). Se enumeran a continuación las características principales del funcionamiento de este tipo de prueba:

- No hay un material universal, debe determinarse explícitamente para cada sistema y cada experimento.
- El material debe estar debidamente caracterizado.
- Deben medirse los niveles de ruido natural e introducido.
- Debe establecerse un ambiente confortable para el oyente.
- Se restringe mucho más el tipo de altavoces y auriculares a emplear.
- Se limita la máxima variación de volumen que cada oyente puede efectuar.
- Los participantes se eligen al azar, pero no deben haber participado en ninguna prueba subjetiva recientemente.
- No es necesario equilibrar la proporción de participantes masculinos y femeninos.
- Se recomienda el empleo de oyentes experimentados para obtener resultados más fiables.
- Los oyentes son sometidos a un proceso de entrenamiento con el material de la prueba.
- Los oyentes puntúan cada secuencia escuchada en una escala continua.
- Todas las secuencias se puntúan a la vez para permitir comparaciones directas entre ellas.
- Se presenta al participante un máximo de 15 señales.
- Las señales no deben superar los 20 s de duración.
- El sujeto puede pasar a voluntad de una señal a otra.
- Es importante que el sujeto pueda comparar directamente las señales, las puntuaciones se pueden asignar y modificar en cualquier parte de la prueba.

Como puede observarse, las características de la prueba MUSHRA son adaptables al contexto de una evaluación subjetiva de contenido emocional.



---

## Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

---

Después de haber explicado la metodología propuesta, en el capítulo anterior, en este capítulo se describen los procesos de desarrollo y evaluación del nuevo método, mediante un trabajo experimental. Primero se presenta con detalle el material seleccionado de grabaciones de ópera, haciendo un breve análisis de sus características musicales y el contenido emocional. Posteriormente, se tratan los análisis acústico y perceptual, cada uno por su parte, a los que fue sometido el material elegido.



### 3.1 Material

Se eligieron frases cantadas en voz de soprano del aria final del Acto I de la ópera *La Traviata*<sup>15</sup> de Giuseppe Verdi. Se trata de una obra repleta de música admirable por su belleza, su inspiración y su emoción. En palabras de Edgardo Pellegrini también es “quizá la obra de más rica penetración psicológica de todo el teatro lírico romántico”.

Acerca del contenido emocional de *La Traviata*, a continuación dos citas de críticos musicales importantes:

Renzo Rossellini<sup>16</sup>: "La Traviata es la ópera mas representada en los teatros del mundo y cada vez que reaparece suscita las mismas emociones, los mismos sentimientos, el mismo entusiasmo. Gusta a los aficionados a la ópera de todas las edades. No ha conocido el desgaste del tiempo ni ha pasado nunca a un segundo plano. Para esta ópera nunca han contado las variaciones de la moda ni de los gustos, ni los profundos cambios que se han verificado en el lenguaje musical."

Ángel Carrascosa Almazán<sup>17</sup>: "La verdadera razón de la vigencia –con seguridad que eterna, mientras el arte sea apreciado– de *La Traviata*, con uno de los argumentos más conmovedores de entre todos los suyos, está en cómo emociona, hasta el llanto, a un amplísimo sector del público. De la capacidad de comunicación de Verdi para transmitir sentimientos no a unos pocos “expertos”, sino a multitudes, nadie duda, y alcanza en *La Traviata* uno de los puntos más altos –acaso el que más– de toda su producción, y ello a

15 *La Traviata* (título original en italiano) es una ópera en tres actos con música de Giuseppe Verdi y libreto en italiano de Francesco Maria Piave, basado en la novela de Alexandre Dumas (hijo) *La dama de las camelias* (1852), aunque no directamente sino a través de una adaptación teatral. A su vez, está basada en la vida de una cortesana parisiense: Alphonsine Plessis. Ver el Anexo A.

16 Compositor y crítico musical italiano (1908 - 1982). Estudió composición con Giacomo Staccioli y dirección de orquesta con Bernardino Molinari en la Academia Santa Cecilia de Roma. Dirigió el Liceo Musical Pergolesi de Varese entre 1934 y 1935. Impartió clases de composición en el Conservatorio de Pésaro desde 1940 a 1942 y fue director artístico de la Ópera de Montecarlo entre 1972 y 1976. Desarrolló su labor como crítico musical en el periódico romano *Messaggero*.

17 Licenciado en Filosofía y Letras (Filología Alemana). Crítico Musical español para Ritmo, Reseña, ABC, El País y RNE. Autor del catálogo discográfico “Polcar”. Ha sido Jefe de producto de los sellos discográficos Deutsche Grammophon, Decca y Philips. Premio Nacional de crítica discográfica (años 1980, 1981, 1989). Editor del Teatro Real. Traductor de libretos de óperas y textos varios sobre música. Conferenciante y divulgador de la música clásica impartiendo multitud de cursos.

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

través de un lenguaje de gran sencillez e inmediatez, más accesible a la mayoría que el de otras óperas verdianas no menos magistrales, como Don Carlo u Otello."

Toda la escena final del Acto I, con la protagonista sola –Violetta- consta de cuatro partes: recitativo ("È strano"), cavatina ("Ah, fors'è lui"), recitativo ("Follie!") y cabaletta ("Sempre libera"); es un perfecto retrato psicológico del personaje y a la vez una extensa exposición, de más de diez minutos de duración, de lucimiento vocal e interpretativo, que se considera toda una hazaña para cualquier soprano.

En el drama operístico de este final de Acto, Verdi nos muestra una batalla en el interior de la protagonista: amor contra libertad. Batalla que es librada consigo misma, cuando después de una gran fiesta y de haber recibido la declaración de amor de *Alfredo* -el co-protagonista-, se encuentra sola y reflexionando sobre si él será el hombre a quien debe entregar su amor; sin embargo trata de convencerse de que su destino es vivir entregada al placer.

Las frases que fueron seleccionadas para este trabajo, pertenecen a momentos claves dentro del aria, cuyo propósito musical es resaltar el pensar y el sentir de la protagonista. Debido a que todas las frases son interpretadas *a capella* (la voz se escucha sin acompañamiento orquestal), poseen una libertad interpretativa -casi- al gusto de la soprano, donde el *tempo* y los adornos musicales tienen distintas variaciones entre las diferentes cantantes.

#### **a) Frases cantadas y contenido emocional.**

Las frases seleccionadas se presentan en la Tabla 3, donde también se observa el contenido emocional que les fue adjudicado de acuerdo al momento dramático que se desarrolla en el aria, sugerido por el texto cantado<sup>18</sup>.

---

18 La utilidad de establecer el contenido emocional, responde a la necesidad de atribuir emociones determinadas a cada frase, con la finalidad de simplificar y enfocar la tarea de los oyentes a la evaluación de la expresividad únicamente, en las pruebas perceptuales. Por lo tanto, se consideró establecer dichas atribuciones emocionales bajo una hipótesis de trabajo que resulta plausible al tomar en consideración la intención del libretista y del compositor como los "expertos" en este caso, y a semejanza de los métodos anteriores, en los cuales no se consultó a otros expertos.

Frase cantada en italiano	Traducción al español	Contenido emocional	
		Emoción	Significado <sup>19</sup>
<i>O gioia Ch'io non conobbi, essere amata amando!</i>	¡Oh júbilo que no he conocido, amar y ser amada!	Melancolía	Resignación ante la falta del objeto amado.
<i>...del viver mio?</i>	... de mi vida?	Tristeza	Sentimiento de dolor en el ánimo.
<i>Croce e delizia al cor.</i>	Cruz y delicia para el corazón.	Amor	Vivo afecto o inclinación hacia una persona o cosa.
<i>Che spero or più? Che far degg'io! Gioire, di voluttà nei vortici perire.</i>	¿Qué más puedo esperar? ¿Qué hacer? ¡Vivir en los torbellinos de la voluptuosidad, y morir de placer!	Coraje	Impetuosa decisión y esfuerzo del ánimo.
<i>Gioir, gioir! Ah!</i>	¡Placer! ¡Placer! ¡Ah!	Gozo	Complacencia al poseer o recordar algo apetecible.
<i>Gioir, gioir! Sempre libera...!</i>	¡Placer! ¡Placer! ¡Siempre libre...!	Pasión	Afición vehemente hacia algo.

Tabla 3. Frases cantadas seleccionadas y su contenido emocional.

De manera general, los momentos álgidos del aria, están indicados en la partitura de la siguiente manera. Después del *recitativo* de apertura (pasaje cantado en los ritmos del habla), la *cavatina* continúa en un compás de 3/8. Es una reminiscencia del dúo anterior de Violetta con Alfredo, y es un *Andantino* en la primera tonalidad menor en la ópera, su rítmica en corcheas se establece más proféticamente como una marcha fúnebre que como un vals. La *cavatina* se mueve desde la tonalidad de Fa menor, lo que da la impresión de un estado de ánimo dubitativo, a la tonalidad de Fa Mayor, que es más expresiva de esperanza y exuberancia. En la partitura, dicha transición se indica mediante una *fermata* (pausa) y un *crescendo* (aumento de intensidad) para ir de menor a mayor mediante el uso de un *portamento* (transporte ininterrumpido del tono). La melodía que continua está marcada con *espanzione* (a realizarse expansiva) y expresa más vivamente la repentina decisión de Violetta de abandonar el amor romántico. Esta melodía expansiva requiere un

<sup>19</sup> De acuerdo a: *Diccionario de la lengua española (DRAE)* 22.<sup>a</sup> edición electrónica, 2012, <http://www.rae.es/>. Y "Qué es, Significado y Concepto" <http://definicion.de/>.



### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

completo y casi dramático timbre de la soprano; posteriormente se traslada a una cadencia adornada con *floritura* (ornamento de notas seguidas con interpretación libre). Después de la Cavatina, en un *recitativo stromentato* (recitación con acompañamiento orquestal) Violetta repudia de repente sus ensoñaciones románticas exclamando 'Follie!', así comienza la *cabaletta* en *Allegro brillante* y utiliza un compás de 6/8. Violetta entonces persigue desafiante su negación del amor romántico en *Sempre libera* (en La bemol mayor, el tono relativo de Fa menor). En un momento se escucha la voz de Alfredo como serenata, en un *Andantino* (a ritmo ligeramente más rápido que el ritmo de caminar, pero más lento que en el apartado anterior) en un compás de 3/8; aquí canta las palabras de su dúo anterior. Pero Violetta comienza la palabra 'Follie!' ('locura') En un disonante bemol, enfrentándose con la nota C de Alfredo en la palabra 'delizia' ('delicia') para interrumpirlo y rechazar su serenata. Entonces una serie de cadencias en *Allegro* en un compás de 4/4, llegan hasta dos octavas arriba del C Medio, para establecerse en el D con un *allargando* (cada vez más lento y más lleno en el tono) donde Violetta reestablece su determinación imprudente: 'Gioir!' ('¡Placer!').

En las frases seleccionadas, se presentan diferentes *florituras* y *coloraturas de forma melismática* (cuando la vocal de una sílaba se extiende a varias notas seguidas), cuyos contrastes cromáticos, fueron utilizados por el compositor para otorgar un dramatismo significativo.

A continuación, se exponen cada una de las frases. Dentro del texto traducido al español, cada frase se presenta en negritas.

Frase 1. *O gioia Ch'io non conobbi, essere amata amando!*

En la primera parte del recitativo, *Violetta* recuerda las palabras de *Alfredo* y reconoce que no ha tenido la dicha de vivir un amor verdadero, por eso se le adjudicó a esta frase una expresión de *melancolía*.

¡Extraño, es muy extraño!

¡Sus palabras han quedado grabadas en mi corazón!

¿Sería por desgracia un amor verdadero?  
 Turbada alma mía ¿qué respondes?  
 Ningún hombre te ha inspirado todavía  
**¡Cuán grande debe ser esa alegría  
 que nunca he conocido: amar y ser amada!**

Musicalmente, la frase 1 está dividida en dos momentos distintos, separados por una breve pausa concedida por un silencio de semicorchea. El primer momento es de mayor intensidad emocional, remarcado por una nota aguda, seguida de una *apoggiatura* en escala descendente, acercando de este modo la frase a una suavidad melancólica que se establece en el segundo momento (Figura 15).



Fig. 15. Frase 1.

Frase 2. ...del viver mio?

La frase 2 es más bien un final de frase y el final del primer recitativo de esta aria. *Violetta* sigue refiriéndose a esa dicha desconocida, se reprende a sí misma y luego evoca con tristeza su modo de vivir como cortesana:

Ciega de mí! ¿Y pude despreciarla  
 por las turbulentas y estériles locuras  
**de mi vivir?**

La emoción que se resalta en este final de frase es la *tristeza*. Musicalmente, Verdi utiliza una tonalidad menor, y alarga el final de frase con un melisma lento (Figura 16).



Fig. 16. Frase 2.

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

#### Frase 3. (Croce e) delizia al cor<sup>20</sup>.

Esta frase pertenece al final del aria "Ah, fors'è lui", donde la melodía lenta y con descansos intercalados sugieren la naturaleza absorta de los pensamientos de *Violetta* en el amor de *Alfredo*.

... "de ese amor que es espíritu  
y vida del universo,  
amor misterioso, altivo,  
**cruz y delicia del corazón**".

Las palabras de *Alfredo* han conmovido profundamente su frío corazón. Ella las recuerda y recurre al tema interpretado por él en la escena anterior, en su tonalidad original (Fa Mayor). Con este suceso enmarcado en suaves coloraturas, Verdi evidencia que el amor de *Alfredo* ha afectado profundamente a *Violetta*. La emoción expresada es más bien el sentimiento del *amor* (Figura 17).



Fig. 17. Frase 3.

#### Frase 4. Che spero or più? Che far degg'io! Gioire, di voluttà nei vortici perire.

Después de que termina el *adagio*, *Violetta* permanecía fija en sus pensamientos, pero de repente exclama: "Follie, follie!" (¡*Locuras, locuras!*), ya que ella no puede creer sus propias fantasías. Enterada de su enfermedad y de que morirá pronto, se auto-compadece y decide -con mucha determinación- volver a su cotidianidad:

¡Locuras!. Esto es un vano delirio.  
Pobre mujer sola, abandonada en este

<sup>20</sup> Antes de este final de frase, ya se ha dicho repetidas veces "croce e delizia al cor", por lo que algunas sopranos cantan la frase completa, mientras que otras sólo dicen la última parte.

desierto poblado llamado París.

¿Qué más puedo esperar? ¿Qué hacer?

¡Vivir en los torbellinos de la  
voluptuosidad, y morir de placer!

La emoción expresada en esta decisión es el *coraje*. Un cambio abrupto en la orquesta acompaña al alejamiento del *adagio* en Fa Mayor con un acorde en La Mayor, que es la tonalidad de una escena anterior (de fiesta). De este modo, Verdi sugiere la decisión de Violetta de regresar a su estilo de vida anterior, cuando no conocía a *Alfredo*. Posteriormente, la cadencia que implica la frase 4 se desarrolla en la tonalidad de Mi bemol Mayor (Figura 18), que funciona como nota dominante que guiará hacia el La bemol Mayor en la *caballetta* "*Sempre libera*".

che spero or più? che far deg - gi - o? gio - i - re di

vo - lut - tà ne' vor - - - - - ti -

*con forza*

ci, di vo - lut - tà pe - rir!

Fig. 18. Frase 4.

Frase 5. *Gioir, gioir! Ah!*

Esta frase es la introducción a la *cabaletta* y constituye una evocación al placer sensual que gobierna la vida de la protagonista. Contrariamente a la incertidumbre manifestada en el *adagio*, *Violetta* parece estar bastante segura de no querer ceder al amor:

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

**¡Placer! ¡Placer!**

*Violetta* manifiesta su emoción intensa y placentera causada por algo que le gusta mucho, y eso es la definición de *gozo*, por eso se le adjudicó dicha expresión a la frase cantada. Musicalmente, el final de la frase está envuelto en una sugestiva *coloratura* (Figura 19).

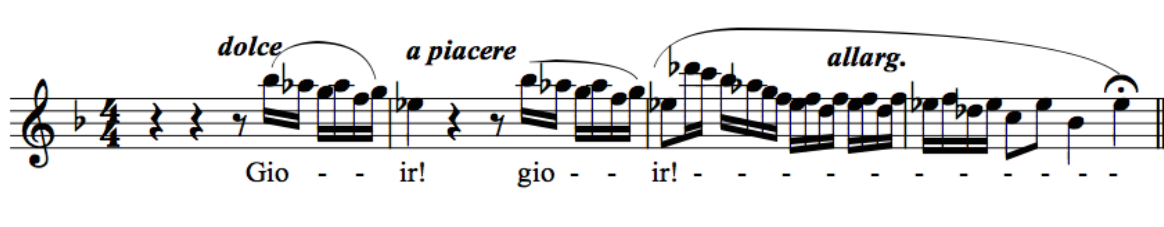


Fig. 19. Frase 5.

#### Frase 6. Gioir, gioir! Sempre libera...!

Una vez que *Violetta* evoca al placer, se declara libre de las ataduras del amor y expresa su vehemente deseo de gozar de los placeres mundanos. Sin embargo, la voz de *Alfredo* la interrumpe (indicado en la partitura como "bajo el balcón"), cantando su tema de amor una vez más, aunque no en el habitual *fa mayor*, sino en la tonalidad de la *cabaletta* de *Violetta*: *La bemol Mayor*. Pero de nuevo ella se muestra decidida a entregarse al placer, así que repite la invocación:

**¡Placer! ¡Placer!**

**Siempre libre**

debo gozar de fiesta en fiesta.

Como se trata de una repetición, cuya función es reiterar el deseo de *Violetta* de seguir en su estilo de vida, la emoción expresa debería ser más intensa, por ello se le adjudicó a esta frase la *pasión*. Esta vez la orquesta no interviene al final de la invocación al placer, sino que la cantante prosigue con la declaración "¡Sempre libera!" ("¡Siempre libre!") (Figura 20). Con una serie de *coloraturas* de rápida sucesión -y, tradicionalmente con una penúltima nota *sobre-aguda* (Mi bemol), aunque no escrita en la partitura original- termina la *cabaletta* dando fin también al primer Acto de esta obra.

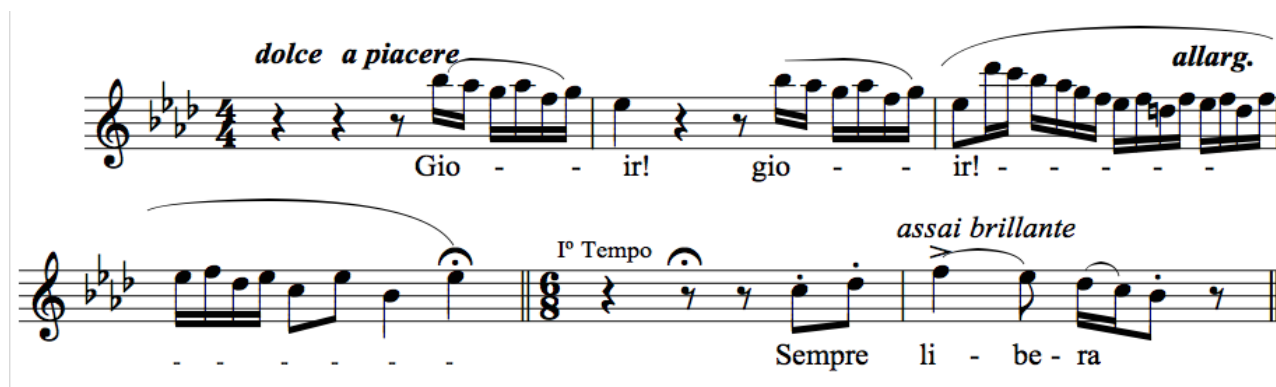


Fig. 20. Frase 6.

## b) Cantantes

Dentro de una recopilación de 30 grabaciones y 26 sopranos distintas, de entre los años 1950 y 2013, de la Ópera *La Traviata*, se hizo una selección de acuerdo a las características de las cantantes: trayectoria profesional destacada, nacionalidad (permitiendo variedad de países) y edad similar al momento de la grabación. En la Tabla 4 se presentan las 5 cantantes y grabaciones seleccionadas.

Para esta selección también se tomó en consideración que la grabación digitalizada fuese audiblemente aceptable, afectada con los menos ruidos ajenos posibles, pues la mayoría fueron realizadas en presentaciones en vivo.

Cantante	Nacionalidad	Edad en años	Año de grabación	Año de digitalización
1. Renata Tebaldi	Italiana	32	1954	2003
2. Montserrat Caballé	Española	34	1967	2005
3. Joan Sutherland	Australiana	43	1979	1991
4. Cheryl Studer	Norteamericana	37	1991	1992
5. Ana Netrebko	Rusa-austríaca	34	2005	

Tabla 4: Cantantes y grabaciones seleccionadas

En el *Anexo B* de esta Tesis se presenta una breve reseña de cada cantante, así como los detalles de las grabaciones utilizadas en este trabajo.

### 3.2 Caracterización acústica

La caracterización acústica se realiza de manera automática y conjunta para 30 archivos de audio, correspondientes a 6 frases cantadas de 5 cantantes diferentes.

#### a) Etiquetado de frases

Las etiquetas del archivo de audio se producen de manera automatizada, con un tamaño de ventana de análisis en tiempo, de 500 ms.

En la Figura 21 se muestra el etiquetado del archivo de audio *Caballe\_1*, que corresponde a la tercera parte inferior con barras en color azul. Cada barra es un etiqueta. Como se observa, se ha fragmentado el archivo de audio en 28 etiquetas de 500 ms de duración cada una.

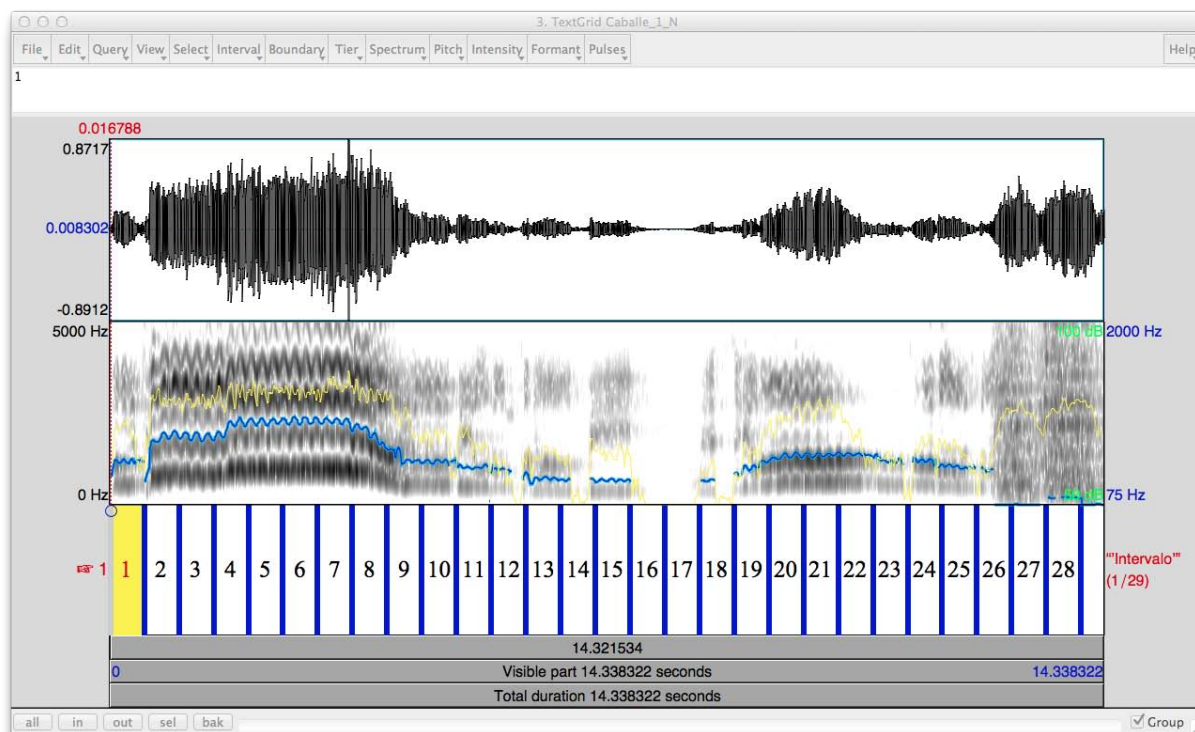


Fig. 21: Etiquetado en intervalos de 500 ms

Cabe aclarar que se realizaron algunas pruebas preliminares en el *script* con otros tamaños de etiquetas o ventanas de análisis: 200 ms y 1 s. Con la ventana de 200 ms se obtiene una gran cantidad de datos, lo que es difícil de manipular posteriormente. Mientras

que con la ventana de 1 s, se pierden algunas medidas importantes como las referentes a los parámetros de vibrato. Por ello se estableció como más adecuado el tamaño intermedio de 500 ms de ventana de análisis. Además se observó en algunos casos cierta coincidencia de este tamaño de ventana con la duración de los tonos cantados.

### b) Obtención de parámetros

Los parámetros que se obtienen por medio del *script* en PRAAT, se almacenan en un archivo de texto separados por comas ",". Ese archivo de texto es una tabla general de resultados donde los valores numéricos se guardan sin ninguna alteración.

Una segunda fase a partir de la obtención de los parámetros acústicos descriptivos, se realiza en hojas de cálculo para obtener los valores promediados de cada parámetro. Para calcular los promedios en la variación en el tiempo de los parámetros de frecuencia fundamental ( $\Delta F0/\Delta t$ ), intensidad ( $\Delta I/\Delta t$ ) y ritmo de vibrato ( $\Delta Rvib/\Delta t$ ), se utiliza una fórmula matemática en dos versiones, una para los valores obtenidos con signo positivo y negativo que describen los cambios ascendentes y descendentes, respectivamente; y otra fórmula matemática donde se promedian los valores absolutos de dichos cambios.

Las fórmulas para el cálculo del promedio de variación con signo ( $\Delta F0/\Delta t$ ) y de la variación absoluta de la frecuencia fundamental en el tiempo ( $|\Delta F0/\Delta t|$ ) son:

$$prom \Delta F0/\Delta t = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta F0/\Delta t$$

*Fórmula 11. Promedio de la variación con signo de la frecuencia fundamental F0.*

$$prom |\Delta F0/\Delta t| = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |\Delta F0/\Delta t|$$

*Fórmula 12. Promedio de la variación absoluta de la frecuencia fundamental F0.*

Las mismas fórmulas se aplican en el caso de la variación de la intensidad en el tiempo ( $\Delta I/\Delta t$ ), y para la variación en el tiempo del ritmo de vibrato ( $\Delta Rvib/\Delta t$ ).



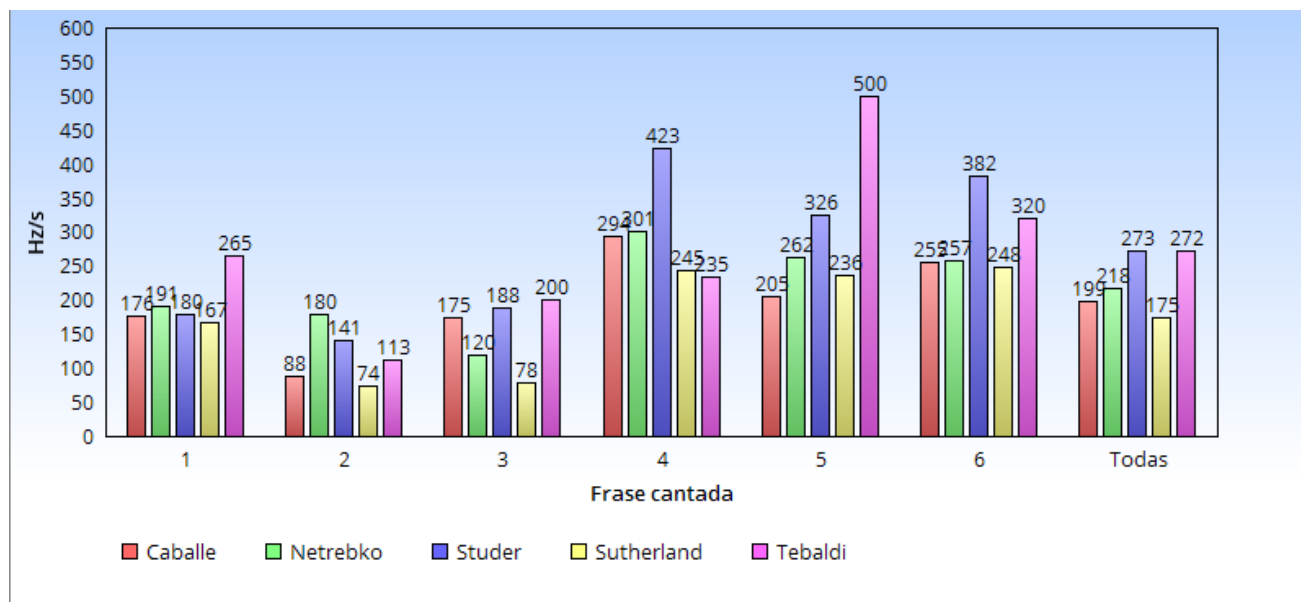
### c) Resultados

Se obtienen los valores promediados de las medidas de variación absoluta de la frecuencia fundamental ( $|\Delta F_0/\Delta t|$ ) y variación absoluta de la intensidad ( $|\Delta I/\Delta t|$ ), asimismo la variación con signo de dichos parámetros ( $\Delta F_0/\Delta t$  y  $\Delta I/\Delta t$ ), el ritmo de vibrato (Rvib), la variación del ritmo de vibrato ( $|\Delta Rvib/\Delta t|$  y  $\Delta Rvib/\Delta t$ ) y la extensión de vibrato (Evib). Para cada parámetro se realizó una tabla de promedios por frase cantada y por cantante, cuya fila inferior representa los promedios de todas las frases para cada cantante, la última columna contiene los promedios de todas las cantantes para cada frase, y el último valor (esquina inferior derecha) es el promedio general. Para cada tabla se presenta una gráfica asociada donde es más factible observar las características relevantes.

**Variación de la frecuencia fundamental en el tiempo ( $\Delta F_0/\Delta t$ ).** Los resultados se presentan en Hz/s e indican la tendencia de cambios en la frecuencia fundamental  $F_0$ . Dichos cambios de frecuencia son "variaciones" e indican en lenguaje musical lo que equivale al *glissando*. En la Tabla 5 y la Gráfica 1 se presenta el valor absoluto de dicha variación ( $|\Delta F_0/\Delta t|$ ). Se observa que en las frases 4 y 6 la cantante Studer tiene la mayor variación de frecuencia fundamental, en comparación con las demás cantantes; la frase 5 de Tebaldi es la que posee la mayor variación de frecuencia a nivel general, seguida por la frase 4 de Studer; en todas las frases, la cantante Sutherland es quien menos presenta variaciones en la frecuencia fundamental; y, las cantantes Caballé y Netrebko presentan variaciones similares sobre todo en las frases 1, 4 y 6.

Tabla 5. Variación absoluta de la frecuencia fundamental  $F_0$  en el tiempo, en Hz/s

FRASE	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	PROMEDIO
1	176	191	180	167	265	196
2	88	180	141	74	113	119
3	175	120	188	78	200	152
4	294	301	423	245	235	300
5	205	262	326	236	500	306
6	255	257	382	248	320	293
PROMEDIO	199	218	273	175	272	227



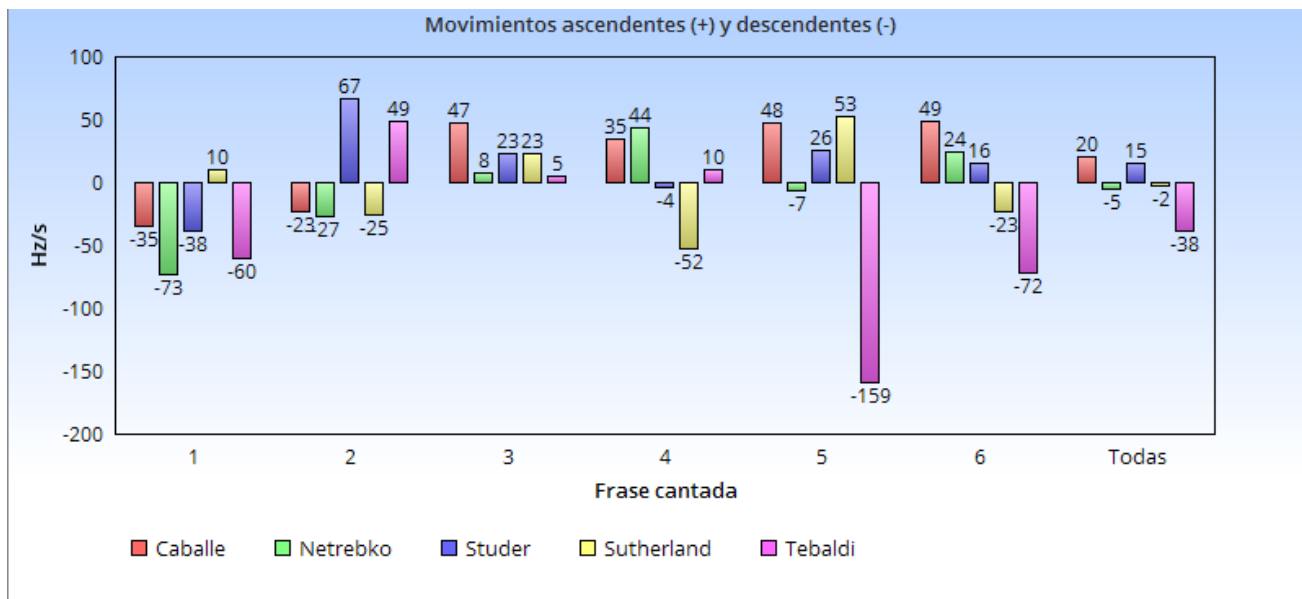
Gráfica 1. Variación absoluta de la frecuencia fundamental F0 en el tiempo.

En la Tabla 6 y Gráfica 2 se muestra la variación con signo, es decir, los movimientos ascendentes y descendentes de la variación de la frecuencia fundamental F0. En estos resultados se observa que la cantante Tebaldi presenta la mayor variación de la frecuencia fundamental en forma descendente en la frase 5, que supera en mucho a los cambios presentados por las demás cantantes; las cantantes Sutherland y Netrebko son quienes menos presentan cambios en la variación de la frecuencia fundamental; y la cantante Caballé muestra cambios equilibrados en el conjunto de frases cantadas.

Tabla 6. Variación con signo de la frecuencia fundamental F0 en el tiempo, en Hz/s

FRASE	Movimientos ascendentes (+) y descendentes (-)					PROMEDIO
	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	
1	-35	-73	-38	+10	-60	-39
2	-23	-27	+67	-25	+49	+8
3	+47	+8	+23	+23	+5	+21
4	+35	+44	-4	-52	+10	+7
5	+48	-7	+26	+53	-159	-8
6	+49	+24	+16	-23	-72	-1
PROMEDIO	+20	-5	+15	-2	-38	-2

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA



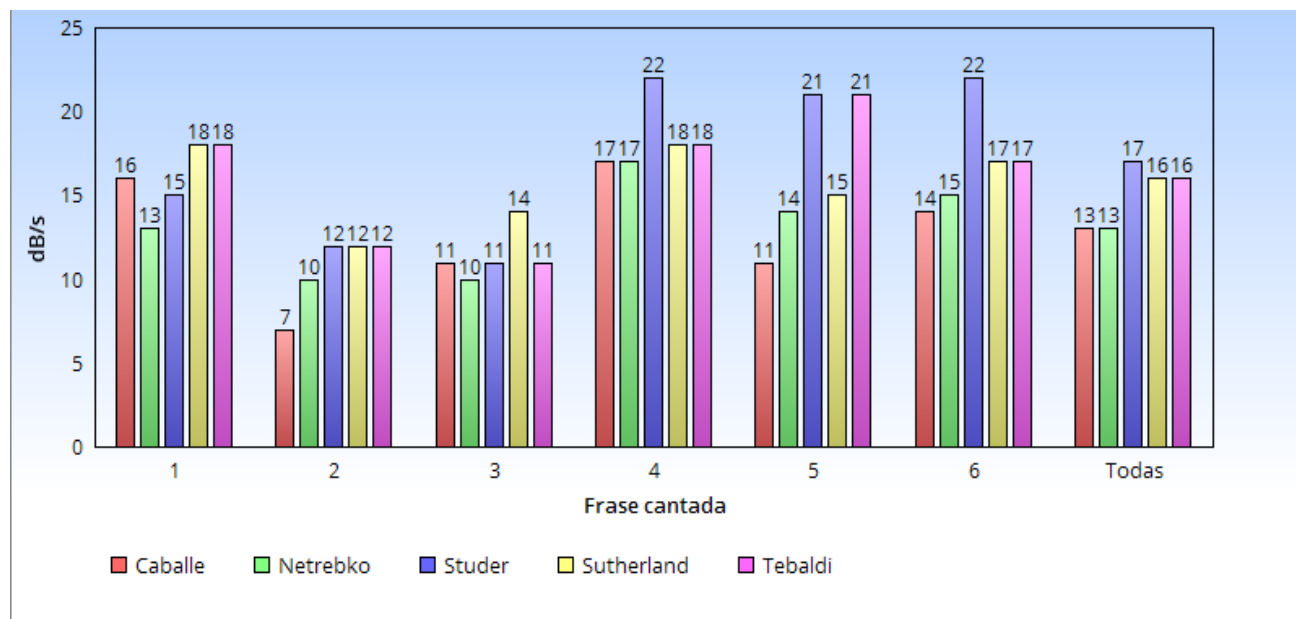
Gráfica 2: Variación con signo de la frecuencia fundamental F0 en el tiempo.

**Variación de la intensidad en el tiempo ( $\Delta I/\Delta t$ ).** Los resultados se presentan en dB/s.

En la Tabla 7 y la Gráfica 3 se observa la tendencia de cambios (valor absoluto  $|\Delta I/\Delta t|$ ), de donde se deriva que las variaciones en la intensidad que presentan las cantantes se muestran muy parecidas en casi todas las frases y que la variación menos intensa es de la cantante Caballé en la frase 2, mientras que la más intensa es de la cantante Studer en las frases 4 y 6.

Tabla 7: Variación absoluta de la intensidad en el tiempo, en dB/s

FRASE	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	PROMEDIO
1	16	13	15	18	18	16
2	7	10	12	12	12	11
3	11	10	11	14	11	11
4	17	17	22	18	18	18
5	11	14	21	15	21	16
6	14	15	22	17	17	17
PROMEDIO	13	13	17	16	16	15



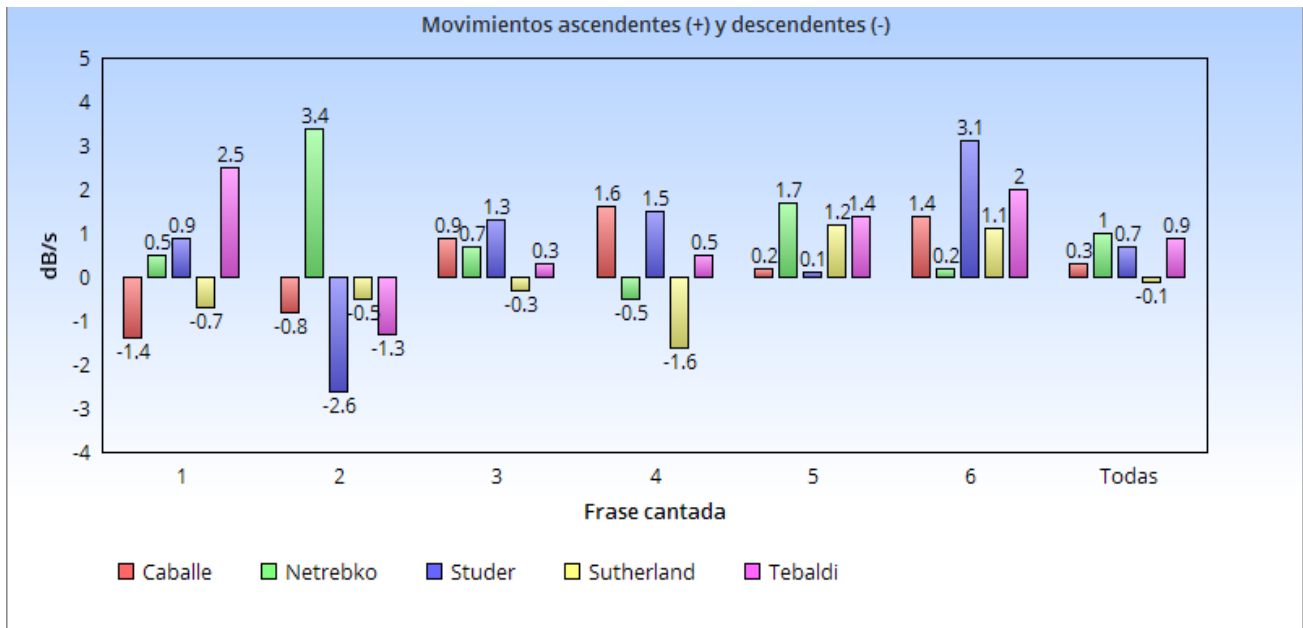
Gráfica 3: Variación absoluta de la intensidad en el tiempo.

En la Tabla 8 y la Gráfica 4 se puede observar la variación con signo de la intensidad, lo que indica los movimientos ascendentes y descendentes en dicho parámetro, de acuerdo a cada frase de cada cantante. La mayoría de cambios presentados son pequeños, pero sobresale el aumento de intensidad de Netrebko en la frase 2, seguida por Studer en la frase 6, así como el incremento en la intensidad de la cantante Studer en la frase 2.

Tabla 8: Variación con signo de la intensidad en el tiempo, en dB/s

FRASE	Movimientos ascendentes (+) y descendentes (-)					PROMEDIO
	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	
1	-1.4	+0.5	+0.9	-0.7	+2.5	+0.4
2	-0.8	+3.4	-2.6	-0.5	-1.3	-0.4
3	+0.9	+0.7	+1.3	-0.3	+0.3	+0.6
4	+1.6	-0.5	+1.5	-1.6	+0.5	+0.3
5	+0.2	+1.7	+0.1	+1.2	+1.4	+0.9
6	+1.4	+0.2	+3.1	+1.1	+2.0	+1.6
PROMEDIO	+0.3	+1.0	+0.7	-0.1	+0.9	+0.6

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

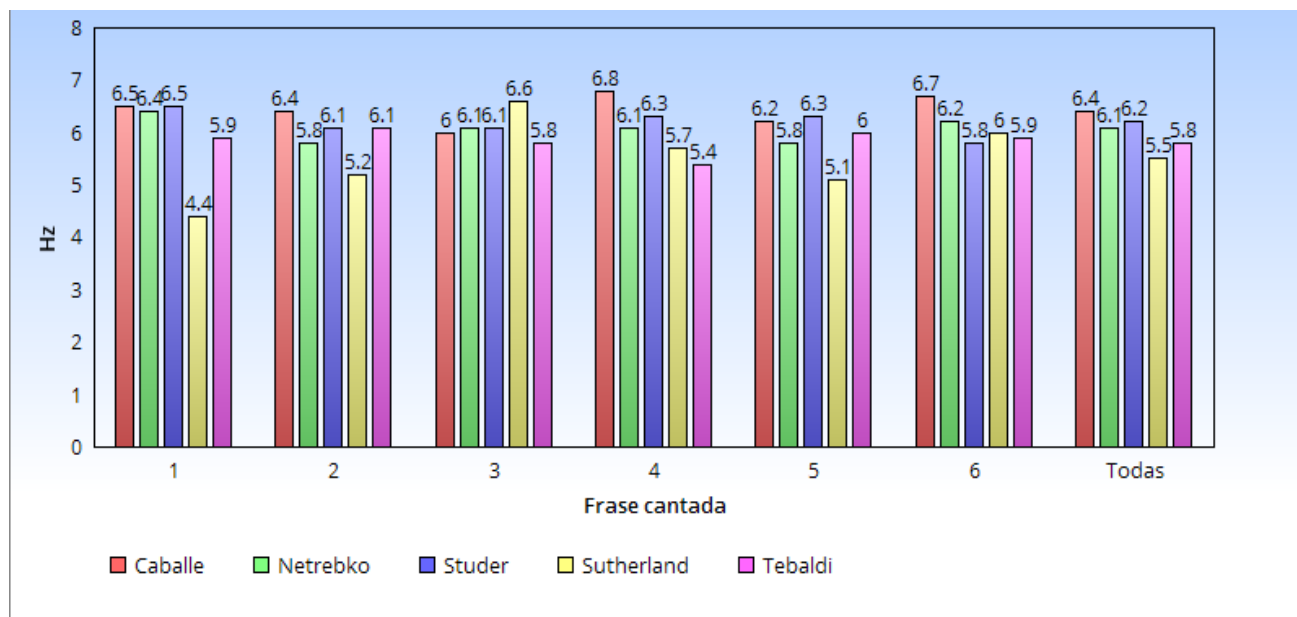


Gráfica 4: Variación con signo de la intensidad en el tiempo.

**Ritmo de vibrato (Rvib).** En la Tabla 9 y en la Gráfica 5 se muestran los resultados obtenidos para el ritmo de vibrato promedio en cada frase y para cada una de las cantantes, así como los promedios totales, en hertz. El ritmo de vibrato oscila alrededor de 6 Hz para todas las cantantes, exceptuando a Sutherland en la frase 1 que presenta un promedio de 4.4 Hz. La medida de ritmo de vibrato más alta encontrada (6.8 Hz) se presenta en la frase 4 de la cantante Caballé.

Tabla 9: Ritmo de vibrato en Hz

FRASE	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	PROMEDIO
1	6.5	6.4	6.5	4.4	5.9	5.9
2	6.4	5.8	6.1	5.2	6.1	5.9
3	6.0	6.1	6.1	6.6	5.8	6.1
4	6.8	6.1	6.3	5.7	5.4	6.0
5	6.2	5.8	6.3	5.1	6.0	5.9
6	6.7	6.2	5.8	6.0	5.9	6.1
PROMEDIO	6.4	6.1	6.2	5.5	5.8	6.0



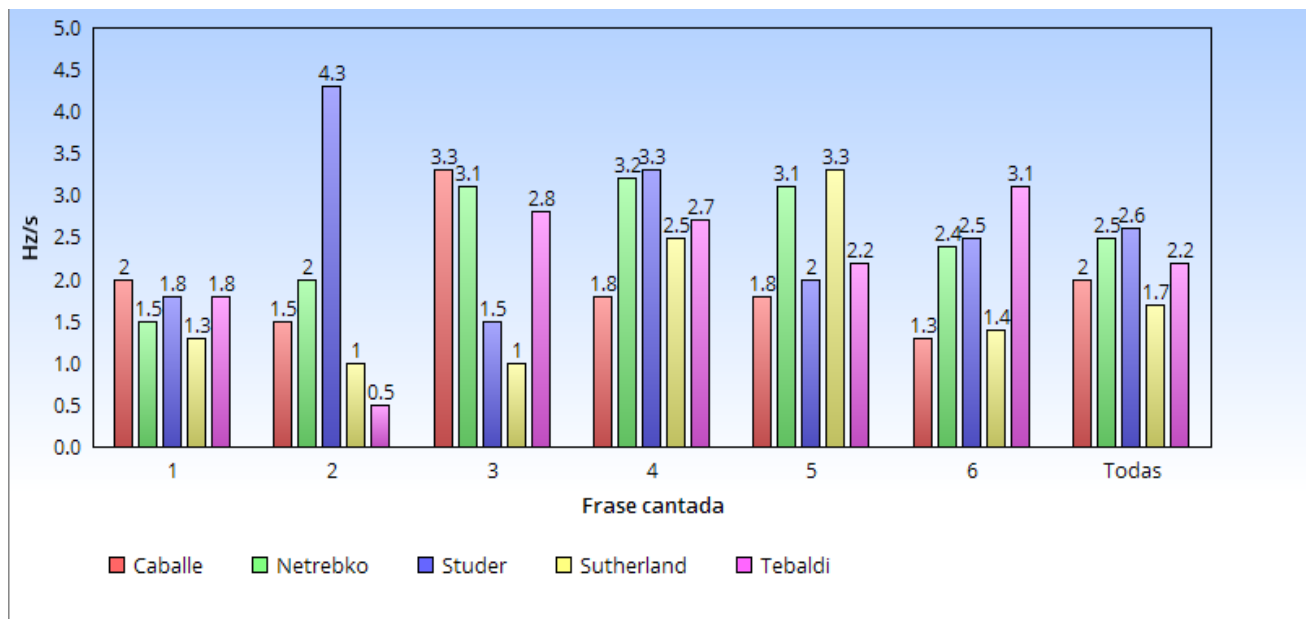
Gráfica 5: Ritmo de vibrato

En la Tabla 10 y su respectiva Gráfica 6 se presentan las tendencias de cambio del ritmo de vibrato en cada frase cantada, es decir, el promedio en valor absoluto de aumentos y decrementos ( $|\Delta R_{vib}/\Delta t|$ ). En la frase 2 de la cantante Studer se observa una mayor variación del ritmo de vibrato, mientras que en la frase 2 de Tebaldi se observa la menor variación a lo largo de toda la frase musical.

Tabla 10: Variación absoluta del ritmo de vibrato en el tiempo, en Hz/s

FRASE	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	PROMEDIO
1	2.0	1.5	1.8	1.3	1.8	1.7
2	1.5	2.0	4.3	1.0	0.5	1.9
3	3.3	3.1	1.5	1.0	2.8	2.3
4	1.8	3.2	3.3	2.5	2.7	2.7
5	1.8	3.1	2.0	3.3	2.2	2.5
6	1.3	2.4	2.5	1.4	3.1	2.1
PROMEDIO	2.0	2.5	2.6	1.7	2.2	2.2

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

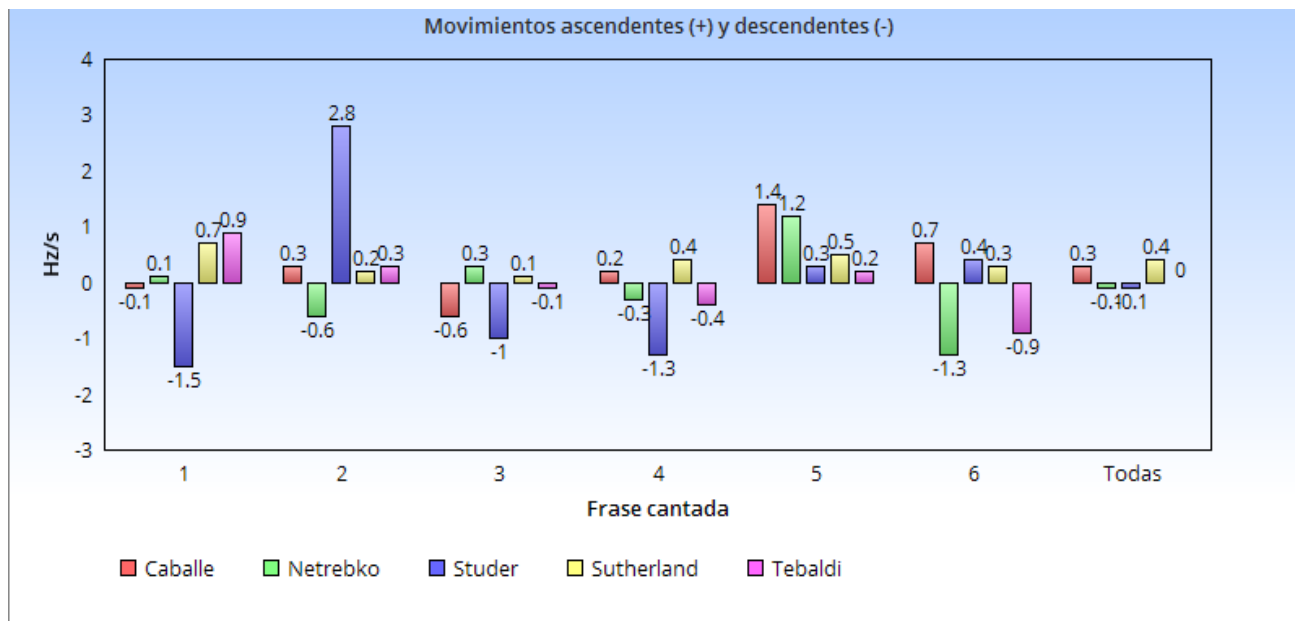


Gráfica 6: Variación absoluta del ritmo de vibrato en el tiempo.

La variación con signo de la variación del ritmo de vibrato ( $\Delta R_{vib}/\Delta t$ ) se presenta en la Tabla 11 y la Gráfica 7. En ellas se puede observar que existe una predominancia de cambios en el ritmo de vibrato hacia el ascenso en todas las frases cantadas, y el mayor valor es el de la frase 2 de la cantante Studer, quien también posee los mayores valores de cambio descendente en las frases 1, 3 y 4, en comparación con las demás cantantes. Además, los cambios de variación del ritmo de vibrato son muy pequeños en general.

Tabla 11: Variación con signo del ritmo de vibrato en el tiempo, en Hz/s

FRASE	Movimientos ascendentes (+) y descendentes (-)					PROMEDIO
	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	
1	-0.1	+0.1	-1.5	+0.7	+0.9	0.0
2	+0.3	-0.6	+2.8	+0.2	+0.3	+0.6
3	-0.6	+0.3	-1.0	+0.1	-0.1	-0.3
4	+0.2	-0.3	-1.3	+0.4	-0.4	-0.3
5	+1.4	+1.2	+0.3	+0.5	+0.2	+0.7
6	+0.7	-1.3	+0.4	+0.3	-0.9	-0.1
PROMEDIO	+0.3	-0.1	-0.1	+0.4	0.0	+0.1



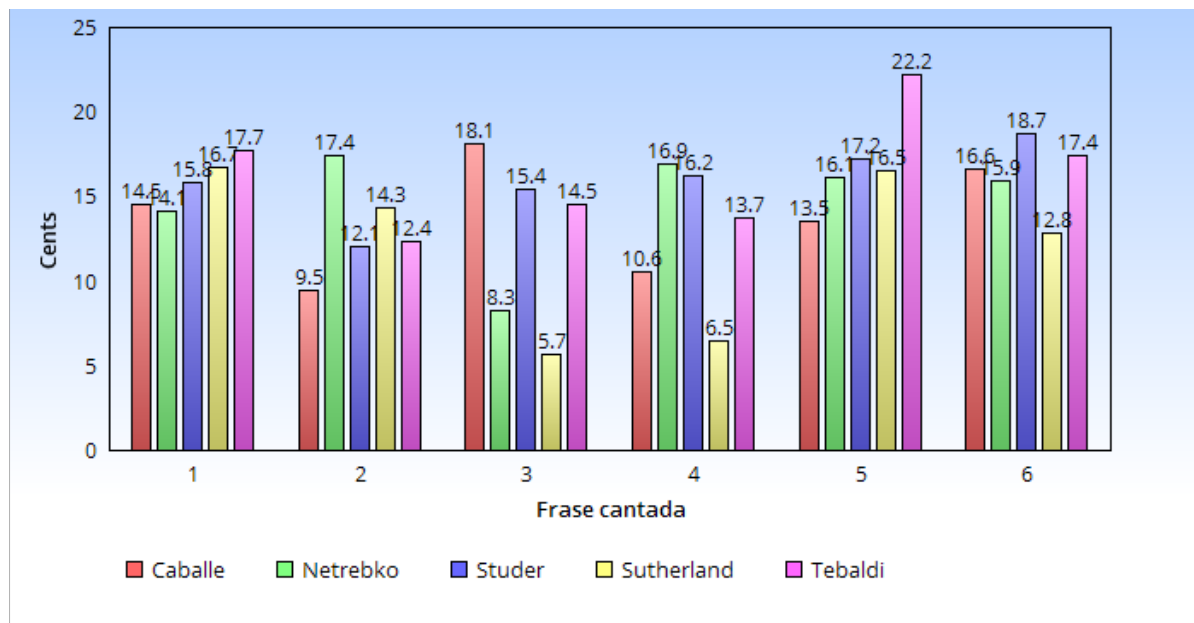
Gráfica 7: Variación con signo del ritmo de vibrato en el tiempo.

**Extensión del vibrato (Evib).** En la Tabla 12 y en la Gráfica 8 se presentan los promedios obtenidos para las medidas de extensión del vibrato. Se observa que la extensión mínima de vibrato es de la cantante Sutherland en la frase 3, mientras que la mayor extensión de vibrato aparece en la frase 5 de la cantante Tebaldi.

Tabla 12. Extensión de vibrato en cents

FRASE	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	PROMEDIO
1	14.5	14.1	15.8	16.7	17.7	15.7
2	9.5	17.4	12.1	14.3	12.4	13.2
3	18.1	8.3	15.4	5.7	14.5	12.4
4	10.6	16.9	16.2	6.5	13.7	12.8
5	13.5	16.1	17.2	16.5	22.2	17.1
6	16.6	15.9	18.7	12.8	17.4	16.3
PROMEDIO	13.8	14.8	15.9	12.1	16.3	14.6





Gráfica 8. Extensión de vibrato

### 3.3 Caracterización perceptual

#### a) Muestra poblacional

Las pruebas perceptuales se aplicaron a un total de 33 oyentes, clasificados en tres grupos de acuerdo al nivel de experiencia en relación con el género de la Ópera: "No expertos", "Intermedio" y "Expertos". Cada grupo conformado por 11 personas, de edades desde menores de 30 años hasta mayores de 50 años.

El grupo de "No expertos" se integró por personas que no tienen experiencia en calificar ni en escuchar Ópera, ni conocimientos acerca de la técnica de canto empleado en la Ópera. El grupo de nivel "Intermedio" fue conformado por oyentes que tienen alguna relación con la técnica del canto empleada en la Ópera, que son alumnos de canto profesional, en diferentes grados de su carrera, o profesores de Música de nivel medio superior.

En el grupo de "Expertos" se integraron los profesores de Música y Canto, así como alumnos graduados, sobresalientes o en los últimos años de la carrera profesional de Canto, y que tienen experiencia directa con el género de la Ópera, o que incluso conocían la Ópera objeto de este estudio (*La Traviata* de G. Verdi).

### c) Preparaciones técnicas

#### Audiometrías

Se aplicaron audiometrías al mayor número de oyentes posible de los que participaron en las pruebas perceptuales. Dichos exámenes se realizaron en la Cámara de Transmisiones del Laboratorio de Acústica del CCADET-UNAM con audiómetros marca B&K, Type 1800. Las audiometrías consistieron en la escucha de tonos puros, en bandas de frecuencia de 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 y 8000 Hz, en los oídos izquierdo y derecho. Se realizaron con la finalidad de constatar que los participantes en las pruebas perceptuales presentan un estado saludable de audición.

A continuación, en la Tabla 13 se muestra la cantidad de audiometrías realizadas por grupo, y el registro de pérdidas auditivas localizadas mayores de 20 dB.

GRUPO	Audiometrías realizadas	Oyentes con pérdidas auditivas mayores que 20 dB	Banda de frecuencia de la pérdida localizada
No expertos	8	2	8 kHz
Intermedio	8	1	6 kHz
Expertos	4	0	

*Tabla 13. Resultados de audiometrías.*

La International Standard Organization recomienda evaluar la pérdida de audición a las frecuencias normalizadas de 500, 1000 y 2000 Hz y estima que la capacidad del oído está deteriorada cuando el umbral de audición sobrepasa los 25 dB comparado con un oído normal (norma ISO-1999:90). También, la mayoría de los sonidos por encima de los 5 kHz, utilizados en la música, tienen componentes que aparecen en forma de parciales y no como frecuencias fundamentales. Por ello, las pérdidas de audición localizadas en tres oyentes no se consideran relevantes para el propósito de esta investigación, ya que se encuentran en bandas de audición de más de 6,000 Hz, así que no se descartaron las pruebas perceptuales realizadas por dichas personas.

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

#### Normalización de las frases cantadas

La intensidad de las muestras de audio seleccionadas se homogeneizó de acuerdo al valor máximo de la medida RMS (Root Mean Square) de cada grupo de frases cantadas (6 grupos de 5 sopranos cada uno).

Se obtuvo el valor RMS de la intensidad de cada frase con el programa Praat, se determinó matemáticamente el valor máximo de cada grupo, y con el programa Audacity se obtuvo el valor más alto posible de amplificación de la señal sin que llegara a saturar en volumen y se aplicó el efecto de Amplificación. Con este proceso se niveló la medida de intensidad de la señal digital en las muestras de cada frase cantada, con el objetivo de presentarlas en las pruebas perceptuales y evitar que las diferencias en niveles de intensidad de la señal digital pudieran afectar el juicio de expresividad de los participantes. En la Tabla 14 se presentan las medidas de intensidad "original" de cada archivo de audio y la medida que se obtuvo ya "normalizado".

ARCHIVO DE AUDIO	RMS (en dB)		ARCHIVO DE AUDIO	RMS (en dB)	
	original	normalizado		original	normalizado
Caballe_1	67.43	74.33	Caballe_4	68.97	74.97
Netrebko_1	72.49	74.39	Netrebko_4	73.4	74.9
Studer_1	69.88	74.38	Studer_4	70.9	74.79
Sutherland_1	70.23	74.33	Sutherland_4	73.53	75.03
Tebaldi_1	74.35	74.35	Tebaldi_4	75.02	75.02
Caballe_2	64.56	69.56	Caballe_5	64.23	74.23
Netrebko_2	67.64	69.54	Netrebko_5	74.36	74.36
Studer_2	61.17	69.57	Studer_5	70.91	74.41
Sutherland_2	69.57	69.57	Sutherland_5	72.93	74.36
Tebaldi_2	64.9	69.59	Tebaldi_5	74.05	74.38
Caballe_3	63.94	69.74	Caballe_6	68.52	74.12
Netrebko_3	65.02	69.72	Netrebko_6	71.84	74.14
Studer_3	67.29	69.79	Studer_6	69.19	74.19
Sutherland_3	66.72	69.72	Sutherland_6	72.17	74.17
Tebaldi_3	69.78	69.78	Tebaldi_6	75.05	74.15

Tabla 14. Valores RMS de la Intensidad de las frases cantadas.

Las muestras se normalizaron de tal manera que, las medidas de intensidad obtenidas presentan diferencias poco significativas entre las muestras de cada frase. Es decir, la diferencia entre el valor mínimo y máximo correspondiente a la frase 1 es de 0.06 dB, a la frase 2 de 0.03 dB, a la frase 3 de 0.07 dB, a la frase 4 de 0.24 dB, a la frase 5 de 0.18 dB y a la frase 6 de 0.07 dB; todas son menores a 0.5 dB, por lo que se consideran no perceptibles, de acuerdo al umbral diferencial de sonoridad.<sup>21</sup>

La diferencia mínima perceptible expresada como nivel de presión sonora varía de manera no lineal de acuerdo a la frecuencia del sonido, como se muestra en la Figura 22 (Gráfica tomada de Lengronne, F., 2006-2015). Se puede observar que una medida de 0.5 dB en el cambio de intensidad es prácticamente imperceptible en intensidades menores de 80 dB.

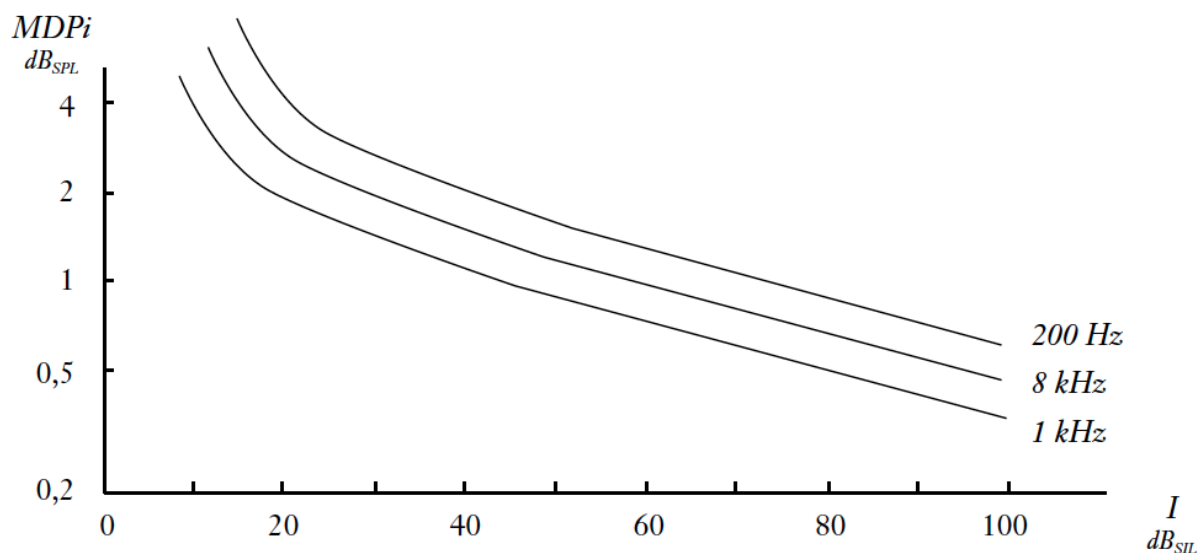


Fig. 22. Mínima diferencia perceptible de intensidad (MDPi).

### Nivel de audio

Se obtuvieron las medidas del nivel de audio reproducido en los audífonos y se hizo un reajuste de la intensidad en la interfaz de audio del sistema de pruebas perceptuales, para que su valor sea más cercano a la sonoridad percibida por los seres humanos y sin que sobrepase un rango de 70 - 80 dB.

<sup>21</sup> La diferencia mínima perceptible, expresada como nivel de presión sonora, es la medida a partir de la cual la percepción humana es consciente de un cambio en la intensidad.

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

Se utilizó un simulador acústico de cabeza y torso, conocido como HATS por sus siglas en inglés (Head and Torso Simulators), lo que proporciona una reproducción realista de las propiedades acústicas de la cabeza y el torso de un adulto promedio (Figura 23). El HATS cuenta con dos orejas artificiales (Figura 24), que reciben el sonido por medio de dos micrófonos internos, uno para cada oreja. Dichos micrófonos poseen una sensibilidad calibrada a  $20 \mu\text{P}$  (0 dB) de nivel de presión sonora, que corresponde al umbral de audición para la media de las personas<sup>22</sup>. Por medio de este sistema, se emula la percepción del sonido que llega al tímpano desde los audífonos.

Se utilizaron audífonos profesionales de diadema, marca Sony, modelo MDR-SA1000.

Las mediciones se hicieron con un aparato analizador de señales B&K modelo 2133, para determinar la cantidad de sonido de salida en cada audífono.

El analizador de señales utiliza una interfaz de audio USB modelo GPIB-USB-HS. Y para poder extraer los datos obtenidos se utilizó el programa “B&K2133” elaborado en el laboratorio de Acústica del CCADET, e instalado en una computadora tipo laptop HP-630.



*Fig. 23. Simulador acústico de cabeza y torso (HATS).*

---

<sup>22</sup> El umbral de audición es la mínima presión sonora que se requiere para que el oído se excite. Para el ser humano, está fijado en  $20 \mu\text{Pa}$  (20 micropascales = 0,00002 pascales), o  $0.98 \text{ pW/m}^2$  a 1 atmósfera y  $25^\circ \text{ C}$ . Es aproximadamente el sonido que una persona joven con buena audición puede detectar a 1000 Hz. El umbral de audición es dependiente de la frecuencia y se ha demostrado que la sensibilidad del oído es mejor a frecuencias entre 1 kHz y 5 kHz. (Gelfand, 2004.)



*Fig. 24 Orejas artificiales con canal auditivo cónico.*

En la Tabla 15 se presentan las medidas obtenidas del nivel de intensidad para cada frase cantada, de ambos oídos, con su respectivo promedio ( $I$ ). También se presenta la diferencia del nivel de intensidad de cada muestra por frase ( $\Delta I$ ), que se calculó mediante la fórmula:

$$\Delta I_i = I_i - \left( \frac{\sum_{i=1}^5 I_i}{5} \right)$$

*Fórmula 13. Diferencia del nivel de intensidad de cada frase cantada  $i$ .*

Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

Archivo de audio (Normalizado)	Intensidad en dB			$\Delta I$ (dB)	Archivo de audio (Normalizado)	Intensidad en dB			$\Delta I$ (dB)
	Canal A (izq)	Canal B (der)	Promedio			Canal A (izq)	Canal B (der)	Promedio	
Caballe_1_N	80	80.3	80.2	2	Caballe_4_N	78.4	80.3	79.4	1
Netrebko_1_N	75.7	78.7	77.2	-0.9	Netrebko_4_N	76.9	79.5	78.2	-0.2
Studer_1_N	75.5	78.7	77.1	-1	Studer_4_N	77	79.5	78.3	-0.2
Sutherland_1_N	75.2	78.4	76.8	-1.3	Sutherland_4_N	75.6	78.8	77.2	-1.2
Tebaldi_1_N	78.1	80.5	79.3	1.2	Tebaldi_4_N	77.9	80.1	79	0.6
Caballe_2_N	72.4	75.2	73.8	-0.4	Caballe_5_N	76.5	79	77.8	0.4
Netrebko_2_N	73	75.7	74.4	0.2	Netrebko_5_N	75.6	78.4	77	-0.4
Studer_2_N	73.7	76.1	74.9	0.7	Studer_5_N	75.1	78.3	76.7	-0.7
Sutherland_2_N	69.3	72.8	71.1	-3.1	Sutherland_5_N	75.8	78.6	77.2	-0.2
Tebaldi_2_N	75.8	77.7	76.8	2.6	Tebaldi_5_N	76.9	79.3	78.1	0.8
Caballe_3_N	73.7	75.9	74.8	1.1	Caballe_6_N	77.5	79.6	78.6	0.8
Netrebko_3_N	72.2	75	73.6	-0.1	Netrebko_6_N	76.2	78.9	77.6	-0.3
Studer_3_N	71.7	75	73.4	-0.3	Studer_6_N	75.2	78	76.6	-1.2
Sutherland_3_N	69.8	73.1	71.5	-2.2	Sutherland_6_N	75.7	78.3	77	-0.8
Tebaldi_3_N	74.1	76.4	75.3	1.6	Tebaldi_6_N	78.2	80.4	79.3	1.5

Tabla 15. Intensidad de audio de las frases cantadas para reproducción en audífonos

En la Tabla 15 se observa que en las medidas obtenidas de los audífonos en los oídos artificiales, existe una mayor diferencia del nivel de intensidad  $\Delta I$  en los promedios de las muestras de cada frase, de hasta 3 dB, por lo que podrían llegar a ser claramente perceptibles (de acuerdo a la Figura 16). Sin embargo, todos están en el rango de 70 - 80 dB, lo que garantiza que el nivel de intensidad no sea tan bajo y poder ser afectado por ruido de fondo, ni tan alto que pudiera ser molesto o dañino para el oído de las personas. Estas diferencias obtenidas en el nivel de intensidad se deben a varios factores involucrados en el sistema físico de reproducción y percepción de la señal digital, principalmente la respuesta no-ideal de los audífonos, así como el ajuste de los mismos debido a la forma de las orejas, lo que cambia la distancia y la posición a la que llega el sonido al tímpano, que también puede variar entre individuos. Por ello, se calcularon las

diferencias entre el nivel de intensidad y el promedio de cada frase, como una manera de estandarizar dichas diferencias.

### Lugares y ruido de fondo

De acuerdo a la disponibilidad personal de los participantes, las pruebas perceptuales se aplicaron en seis diferentes lugares (ver el Anexo C). En la Tabla 16 se muestra el número de oyentes a los que se les aplicó la prueba en cada lugar especificado.

Lugar	Oyentes		
	No expertos	Intermedios	Expertos
CCADET	5	2	2
CCRT	3	1	1
EBAT	3	7	2
ENM	0	1	6

Tabla 16. Total de oyentes en lugares de aplicación de la prueba perceptual.

Se midió el nivel de ruido ambiental o ruido de fondo en cada lugar. Para ello, se utilizó un sonómetro marca *Brüel & Kjaer* Type 2226; con dicho instrumento se tomaron 5 muestras con duración de 1 minuto cada una y se promediaron los resultados para cada recinto. Los resultados de las mediciones se presentan en la Tabla 17.

LUGAR	Medidas por minuto (en dB)					Promedio (dB)	SD
	1	2	3	4	5		
CCRT	49.5	48	46.5	48	47.5	48	1.1
EBAT	31	30	28.5	29.5	27	29	1.5
ENM – 1	39	42	40	40	39.5	40	1.1
ENM – 2	42.5	42.5	43	43.5	43	43	0.4
ENM – 3	35	32	32	32.5	34	33	1.3
CCADET	24	20.5	24	22.5	21.5	23	1.5

Tabla 17. Nivel de ruido de fondo en las pruebas perceptuales



### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

La diferencia entre el nivel de audio en los audífonos y el nivel del ruido de fondo en cada lugar donde se aplicó la prueba es mayor de 15 dB, lo que se considera propicio para que no existan efectos de enmascaramiento o que haya una afectación en la escucha de la prueba perceptual, de acuerdo a los niveles indicativos de la Tabla 18.<sup>23</sup>

Personas con buena audición	Relación señal-ruido	Disminuidos auditivos o usuarios de auriculares
-	30 dB	Excelente
-	20 dB	Bueno
Excelente	15 dB	Normal
Bueno	10 dB	Marginal
Normal	5 dB	Escaso
Marginal	0 dB	Ninguna inteligibilidad
Escaso	-5 dB	-
Ninguna inteligibilidad	-10 dB	-

Tabla 18: Niveles indicativos de inteligibilidad en función de la relación señal-ruido.

#### d) Aplicación

El programa MushraSJ adaptado para las pruebas perceptuales, se instaló de manera local en una computadora MacBook Pro. Se conectó a dicha computadora una interfaz de audio marca Edirol, modelo USB Audio Capture UA-25 mediante la cual se reprodujo el sonido hacia auriculares profesionales marca Sony, y finalmente a los oídos de los participantes.

Las pruebas consistieron en determinar el grado de expresividad de una emoción determinada en cada una de seis frases interpretadas por cinco sopranos diferentes (Caballé, Netrebko, Studer, Sutherland y Tebaldi). Las frases corresponden a grabaciones

<sup>23</sup> La **relación señal-ruido** es la medida habitual para evaluar el nivel de inteligibilidad. Expresa la diferencia en decibelios, entre el nivel de voz al hablar y el ruido de fondo (medido desde la posición del oyente). Para garantizar una excelente inteligibilidad, se recomienda que esta diferencia esté situada entre 10 y 15 dB como mínimo para personas con buena audición y, entre 20 y 30 dB para personas con problemas de audición o usuarios de auriculares (medido desde la posición del oyente). (Kenneth, 2001).

del aria final del Acto I de la ópera *La Traviata* de G. Verdi. Los oyentes no tenían información de las identidades de las sopranos, ni de los datos de la ópera, ni la traducción de las frases cantadas; sólo se les ofreció la emoción que debían calificar en cada una. Tenían la posibilidad de escuchar cada frase -por medio de audífonos-, compararla con las diferentes versiones de la misma frase y calificarla dentro de la escala: *Malo, Pobre, Regular, Bueno y Excelente*, de acuerdo al nivel de expresividad subjetivo percibido de la emoción determinada.

Las frases y emociones que se deben calificar en la prueba se muestran en la Tabla 19, en el orden que aparecen en la prueba perceptual.

FRASE	TEXTO (en italiano)	EMOCIÓN
2	... del viver mio?	Tristeza
1	O gioia ch'io non conobbi, essere amata amando!	Melancolía
5	Gioir, gioir! Ah!	Placer
3	Croce e delizia al cor.	Amor
4	Che spero or più? che far degg'io! Gioire, di voluttà nei vortici perire!	Coraje
6	Gioir, gioir! Sempre libera!	Pasión

*Tabla 19: Frases cantadas a calificar en las pruebas perceptuales*

Se aplicaron dos breves cuestionarios a los participantes, uno antes y otro después de la realización de la prueba perceptual (ver *Apéndice C*).

Después, las calificaciones que dieron los sujetos dentro de la escala, fueron convertidas a valores numéricos para trabajar con ellas estadísticamente en una escala del 0 al 100.

#### **d) Resultados**

Los resultados obtenidos de las pruebas perceptuales, ya en números, en escala de 0 a 100, fueron normalizados para todos los sujetos de prueba. Esto se hizo debido a que no todos los sujetos utilizaron la barra de calificación de la misma manera, es decir, algunos la utilizaron de forma parcial y muy pocos de forma completa.

En la Tabla 20 se presenta el uso de la escala de calificación por grupo de prueba, donde se puede observar que el grupo de "No expertos" utilizó la barra de calificación de 14 a 68;

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

el grupo "Intermedio" de 19 a 70; y el grupo "Expertos" de 10 a 84, así, éstos últimos hicieron un uso más amplio de la escala. Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar calculada.

Grupo	Valor mínimo	Frase	Valor máximo	Frase
No expertos	14 (±25)	Tebaldi_2	68 (±33)	Caballe_1
Intermedio	19 (±29)	Tebaldi_2	70 (±40)	Caballe_5
Expertos	10 (±27)	Tebaldi_2	84 (±21)	Netrebko_3

*Tabla 20: Uso de la escala de calificación por grupo de prueba*

Para normalizar la escala de expresividad, dado el conjunto de respuestas  $r_n = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\}$ , el promedio  $P$  corresponde a:

$$P = \frac{1}{N} \sum_n r_n$$

*Fórmula 14. Promedio de respuestas de expresividad.*

Y su desviación estándar corresponde a:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (r_n - P)^2}$$

*Fórmula 15. Desviación estándar del promedio de respuestas.*

Cada respuesta normalizada  $R_n$  corresponde a:

$$R_n = P_n + \frac{S_n}{S} (r_n - P)$$

*Fórmula 16. Respuesta normalizada*

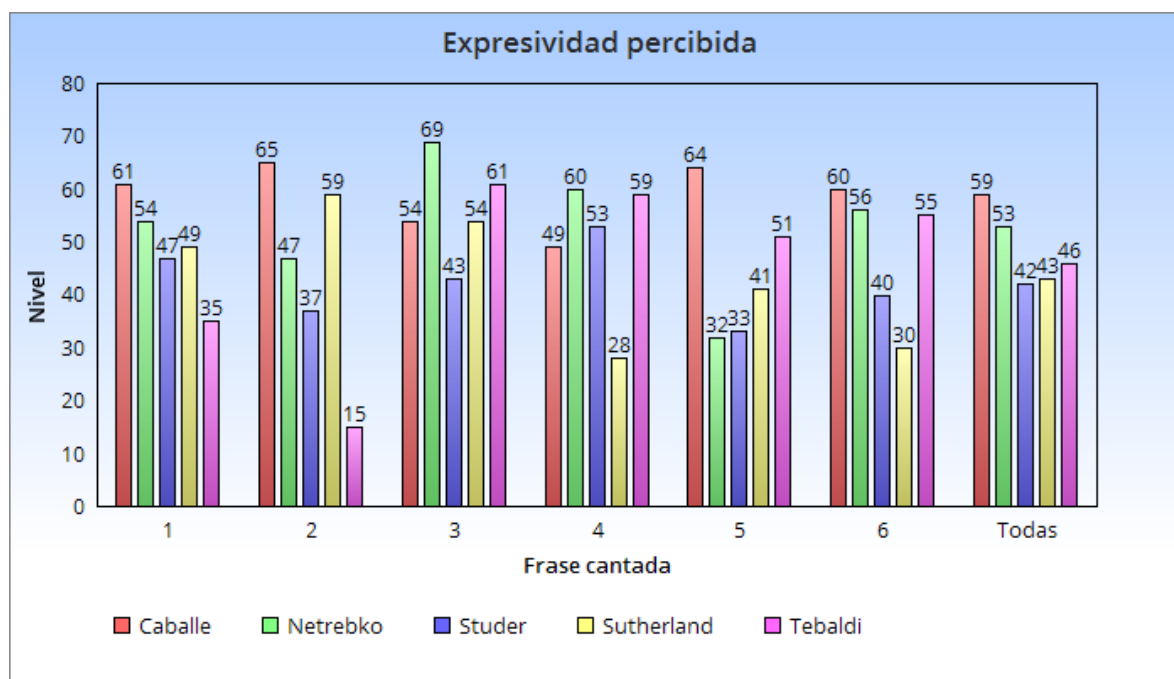
Donde  $P_n$  es el valor normalizado del promedio, y  $S_n$  es la desviación estándar igualada para todas las respuestas. En este caso a  $P_n$  se le adjudicó el valor de 50, es decir, el centro de la escala de calificación (0-100), mientras que la desviación estándar  $S_n$  se normalizó a un valor de 30.

Una vez estandarizados los datos a un mismo promedio y desviación estándar, se obtuvieron las siguientes tablas y gráficas de resultados.

En la Tabla 21 se presentan los resultados de la Expresividad percibida por todos los sujetos de prueba, promediados por frase cantada y por cantante. Los mismos resultados en forma de gráfica y agrupados por frase cantada se presentan en la Gráfica 9.

Tabla 21: Expresividad total percibida

FRASE	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	PROMEDIO
1	61	54	47	49	35	49
2	65	47	37	59	15	44
3	54	69	43	54	61	56
4	49	60	53	28	59	50
5	64	32	33	41	51	44
6	60	56	40	30	55	48
PROMEDIO	59	53	42	43	46	49



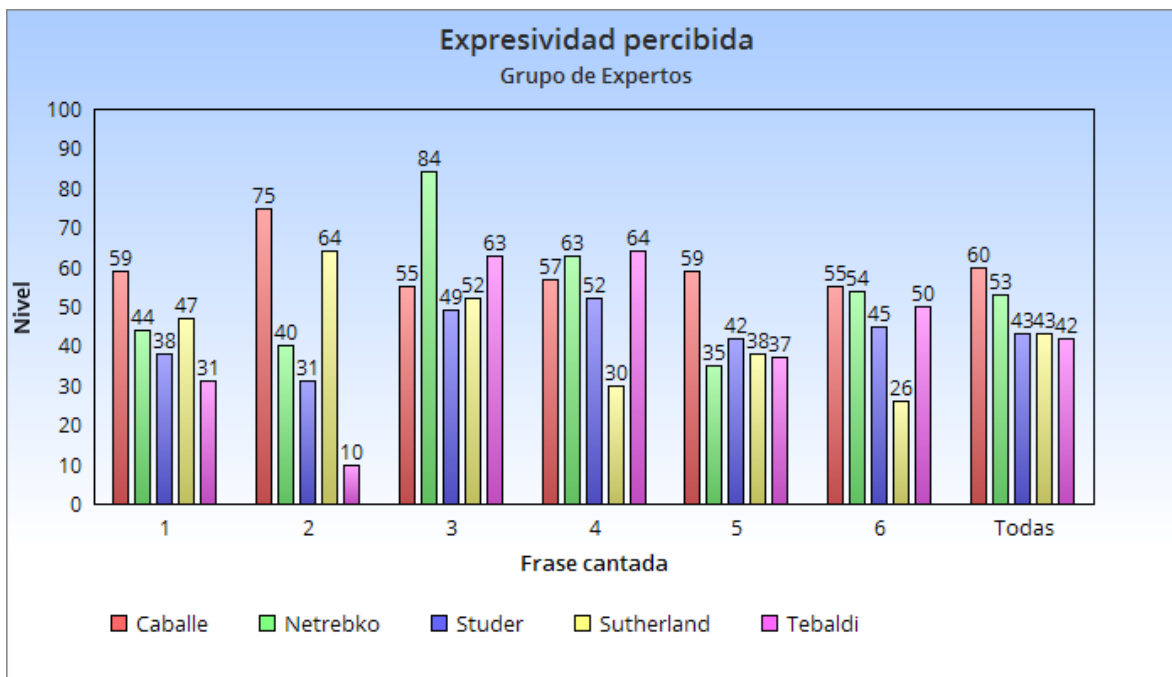
Gráfica 9: Expresividad total percibida

En la Tabla 22, así como en la respectiva Gráfica 10, se muestran los resultados de la Expresividad percibida por el grupo "Expertos".

### Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

Tabla 22: Expresividad percibida por el grupo "Expertos"

FRASE	CABALLE	NETREBKO	STUDER	SUTHERLAND	TEBALDI	PROMEDIO
1	59	44	38	47	31	44
2	75	40	31	64	10	44
3	55	84	49	52	63	61
4	57	63	52	30	64	53
5	59	35	42	38	37	42
6	55	54	45	26	50	46
PROMEDIO	60	53	43	43	42	48



Gráfica 10: Expresividad percibida por el grupo "Expertos"

De acuerdo a los resultados mostrados, se puede destacar que:

- La frase 3 de la cantante Netrebko fue calificada como la frase más expresiva; la frase 2 cantada por Tebaldi está calificada como la menos expresiva.
- Caballé fue calificada como la cantante más expresiva. A nivel general la cantante Tebaldi tiene una calificación más alta que Sutherland y Studer, pero en la opinión del grupo de "Expertos", Tebaldi se encuentra por debajo de ellas y fue calificada como la cantante menos expresiva.

---

## Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

En este capítulo se realiza un análisis estadístico de las interrelaciones de los resultados obtenidos en las caracterizaciones acústica y perceptual. En las dos primeras partes se revisan las correlaciones entre los propios resultados del análisis acústico, así como de las pruebas perceptuales. En la tercera parte, se revisa la influencia de las características técnicas del nivel de audio sobre el juicio de expresividad de los oyentes en las pruebas perceptuales; se establecen las correlaciones entre los parámetros acústicos y el nivel de expresividad percibida; y, por último, se determinan las caracterizaciones acústico-emocionales del material analizado en el trabajo experimental.



### 4.1 Caracterización acústica

Se realizó un análisis de correlación entre los parámetros acústicos. Se obtuvieron coeficientes de correlación significativos entre la variación de la frecuencia fundamental y la variación de la intensidad ( $R = +0.8$ ), y entre la variación de la frecuencia fundamental y la extensión de vibrato ( $R = +0.6$ ). Lo cual significa que estos parámetros tienden a modificarse en forma paralela.

También se aplicó un análisis de componentes principales que determinan la mayor variabilidad de las frases cantadas y su orden de importancia. Es decir, qué parámetros son los que contribuyen más a la varianza de las muestras y que contienen el aspecto más relevante de esa información.

En la Tabla 23 se muestran las primeras cuatro componentes principales encontradas, que explican el 90% del total de la variabilidad, y se resaltan en color anaranjado los coeficientes más significativos, es decir, aquellos cuyo valor absoluto es más cercano a 1.0 y que tienen una mayor correlación con el parámetro acústico correspondiente.

Parámetro ac	PC1 39%	PC2 22%	PC3 17%	PC4 12%
$ \Delta F_0/\Delta t $	0.6	-0.05	0.26	-0.12
$ \Delta I/\Delta t $	0.54	-0.03	0.11	-0.54
Rvib	-0.11	-0.47	0.79	0.13
$ \Delta Rvib/\Delta t $	0.25	0.55	0.32	0.64
Evib	0.5	-0.06	-0.34	0.3
$\Delta I$	0.16	-0.68	-0.27	0.43

Tabla 23. Análisis de componentes principales.

Se observa que la primera componente principal PC1 explica el 39% de la variabilidad total de las muestras, y la segunda componente principal PC2 explica el 22% de la variabilidad total de las muestras; entre las dos explican el 61%. La PC1 tiene una correlación positiva con los tres parámetros acústicos de mayor coeficiente (en ella misma) que son la variación absoluta de la frecuencia fundamental en el tiempo  $|\Delta F_0/\Delta t|$ , la variación absoluta de la intensidad en el tiempo  $|\Delta I/\Delta t|$  y la extensión de vibrato Evib. La



#### Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

PC2 correlaciona negativamente con la diferencia del nivel de intensidad  $\Delta I$  y el ritmo de vibrato  $R_{vib}$ , y positivamente con la variación absoluta del ritmo de vibrato en el tiempo  $|\Delta R_{vib}/\Delta t|$ .

Lo cual quiere decir que las muestras, que son las frases cantadas analizadas, presentan su mayor variabilidad primero en los parámetros acústicos de mayor coeficiente de la PC1, y en segundo lugar en los parámetros acústicos de mayor coeficiente de la PC2.

A raíz de este análisis, se trató de averiguar si dicha variabilidad está determinada según la cantante o según la frase cantada, para lo cual se analizaron en componentes principales las cantantes y las frases por separado.

Se muestran en las siguientes tablas los resultados obtenidos de la primera componente principal (PC1) para cada una de las cantantes (Tabla 24) y para cada una de las frases cantadas (Tabla 25). Los coeficientes significativos  $|c| \geq 0.5$ , se resaltan en color anaranjado. Se presenta el porcentaje de la varianza (y desviación estándar) para cada PC1.

<b>Parámetro acústico</b>	<b>PC1 gral</b> 39% (1.5)	<b>PC1 Caballe</b> 51% (1.6)	<b>PC1 Netreb</b> 50% (1.8)	<b>PC1 Studer</b> 54% (1.7)	<b>PC1 Sutherl</b> 47% (1.8)	<b>PC1 Tebaldi</b> 57% (1.7)
$ \Delta F_0/\Delta t $	0.6	0.47	0.53	0.51	0.44	0.55
$ \Delta I/\Delta t $	0.54	0.47	0.46	0.48	0.41	0.51
$R_{vib}$	-0.11	0.59	-0.09	-0.09	-0.36	-0.09
$ \Delta R_{vib}/t $	0.25	-0.4	0.09	-0.25	0.36	0.31
$E_{vib}$	0.5	-0.19	0.46	0.54	0.29	0.51
$\Delta I$	0.16	-0.01	0.51	0.35	-0.52	-0.22

*Tabla 24. Primera componente principal por cantante.*

Parámetro acústico	PC1 gral 46% (1.5)	PC1 frase1 52% (1.7)	PC1 frase2 42% (1.6)	PC1 frase3 75% (1.9)	PC1 frase4 55% (1.8)	PC1 frase5 58% (1.8)	PC1 frase6 68% (1.9)
$ \Delta F0/\Delta t $	0.6	-0.03	-0.03	-0.43	-0.46	-0.51	-0.48
$ \Delta I/\Delta t $	0.54	-0.39	-0.31	0.45	-0.38	-0.5	-0.41
Rvib	-0.11	0.54	0.51	0.49	-0.08	-0.08	0.41
$ \Delta Rvib/\Delta t $	0.25	0.41	0.33	-0.42	-0.48	0.1	-0.44
Evib	0.5	-0.42	-0.48	-0.4	-0.45	-0.51	-0.36
$\Delta I$	0.16	0.43	-0.53	0.15	-0.43	0.43	-0.28

Tabla 25. Primera componente principal por frase cantada.

Se observa una mayor coincidencia en la Tabla 24 y una mayor discrepancia en la Tabla 25 respecto a la distribución de la PC1 determinada de manera general por el total de los datos.

A partir de este análisis, se puede afirmar que casi la mitad de la variabilidad de los parámetros acústicos establecidos está determinada por la frase cantada y no está influenciada por las cantantes en particular.

## 4.2 Caracterización perceptual

Se encontró una correlación muy alta y directamente proporcional entre los resultados de la expresividad percibida por el total de los oyentes y la expresividad percibida por el grupo "Expertos" ( $R = +0.9$ ).

Los resultados se agruparon en tablas comparativas, donde se presentan las frases en orden de calificación, de mayor a menor y se especifica la cantante mejor calificada y la cantante peor calificada en cada frase.

La Tabla 26 corresponde a los resultados de la expresividad percibida por el total de los oyentes.

## Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Frase	Promedio	Mejor calificación		Peor calificación	
3	56	Netrebko	69	Studer	43
4	50	Netrebko	60	Sutherland	28
1	49	Caballé	61	Tebaldi	35
6	48	Caballé	60	Sutherland	30
2	44	Caballé	65	Tebaldi	15
5	44	Caballé	64	Netrebko	32

Tabla 26. Resumen de resultados de la expresividad percibida.

La Tabla 27 muestra los resultados obtenidos en el grupo de "Expertos".

Frase	Promedio	Mejor calificación		Peor calificación	
3	61	Netrebko	84	Studer	49
4	53	Tebaldi	64	Sutherland	30
6	46	Caballé	55	Sutherland	26
1	44	Caballé	59	Tebaldi	31
2	44	Caballé	75	Tebaldi	10
5	42	Caballé	59	Netrebko	35

Tabla 27. Resumen de resultados de la expresividad percibida por el grupo "Expertos".

En general, la cantante Caballé fue la de mayor calificación en las frases 1, 2, 5 y 6; Netrebko fue la mejor calificada para la frase 3, pero la peor para la frase 5; Studer, Sutherland y Tebaldi se reparten las calificaciones más bajas en las frases 1, 2, 3, 4 y 6. La calificación más baja fue para la cantante Tebaldi en la frase 2.

### 4.3 Correlaciones acústico-perceptuales

#### Nivel de intensidad de audio y expresividad percibida

Se revisaron las correlaciones entre el nivel de intensidad de audio de las frases y la expresividad percibida. Se presentan a continuación los coeficientes de correlación R en la Tabla 28.

	I	$\Delta I$
Expresividad total percibida	-0.09	-0.06
Expresividad percibida grupo "Expertos"	-0.21	-0.15

*Tabla 28. Coeficientes de correlación entre el nivel de intensidad de audio y la expresividad percibida.*

Se observa que, de manera general, la intensidad de la señal de audio de las muestras y las diferencias de intensidad entre ellas, sí tienen un efecto en el juicio de expresividad percibida. Este efecto es relativamente pequeño al considerar a todos los sujetos, pues los coeficientes de correlación son más cercanos a cero (sin correlación) que a uno en valor absoluto (que indicaría correlación máxima). Sin embargo, en el grupo de "Expertos" hay un efecto mayor, aunque todavía moderado, con coeficientes de correlación aún cercanos a cero.

### **Parámetros acústicos y expresividad percibida**

Para determinar si existe correlación entre los resultados obtenidos de los parámetros de frecuencia fundamental  $F_0$ , intensidad y vibrato, y los resultados obtenidos de las pruebas perceptuales, primero se calcularon los coeficientes de correlación o regresión lineal  $R$  entre cada parámetro con la expresividad percibida.

En la Tabla 29 se pueden apreciar los resultados obtenidos. Los parámetros acústicos analizados son: variación absoluta de la frecuencia fundamental en el tiempo  $|\Delta F_0/\Delta t|$ , variación absoluta de la intensidad en el tiempo  $|\Delta I/\Delta t|$ , ritmo de vibrato  $R_{vib}$ , variación absoluta del ritmo de vibrato en el tiempo  $|\Delta R_{vib}/\Delta t|$  y extensión de vibrato  $E_{vib}$ . Los valores promedio que se presentan son los promedios generales de los parámetros, obtenidos en el análisis acústico. El promedio de calificación de la expresividad total percibida es 48.7, y el de la expresividad percibida por el grupo "Expertos" es de 48.3; éstos dos últimos valores pertenecen a la escala de calificación ya normalizada de la prueba perceptual. Los valores presentados entre paréntesis corresponden a las desviaciones estándar de cada promedio.

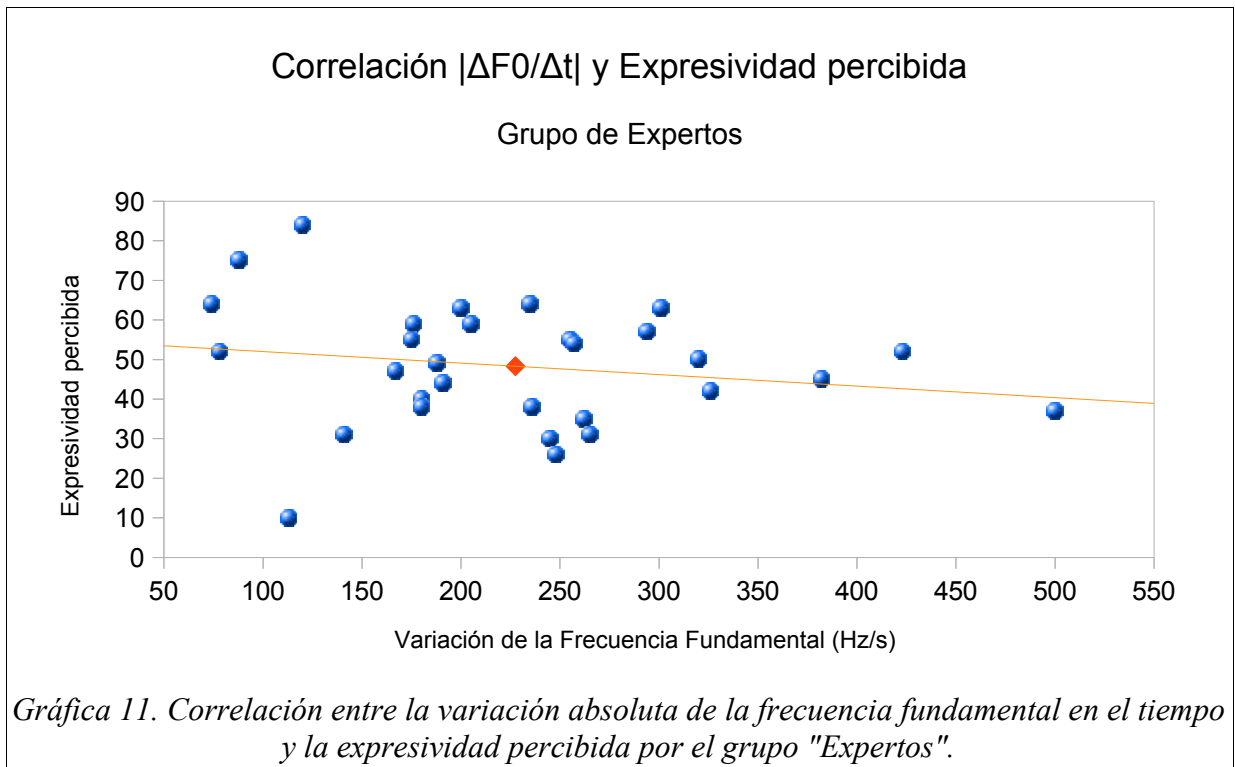
## Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

	$ \Delta F_0/\Delta t $	$ \Delta I/\Delta t $	Rvib	$ \Delta Rvib/\Delta t $	Evib
Expresividad total percibida Promedio: 48.7 ( $\pm 12.9$ )	-0.13	-0.28	0.14	0.11	-0.03
Expresividad percibida Grupo "Expertos" Promedio: 48.3 ( $\pm 15.5$ )	-0.19	-0.29	0.11	0.14	-0.18
Valor promedio (SD)	227.5 Hz/s ( $\pm 99$ )	15 dB/s ( $\pm 3.8$ )	6 Hz ( $\pm 0.5$ )	2.2 Hz/s ( $\pm 0.88$ )	14.6 cents ( $\pm 3.6$ )

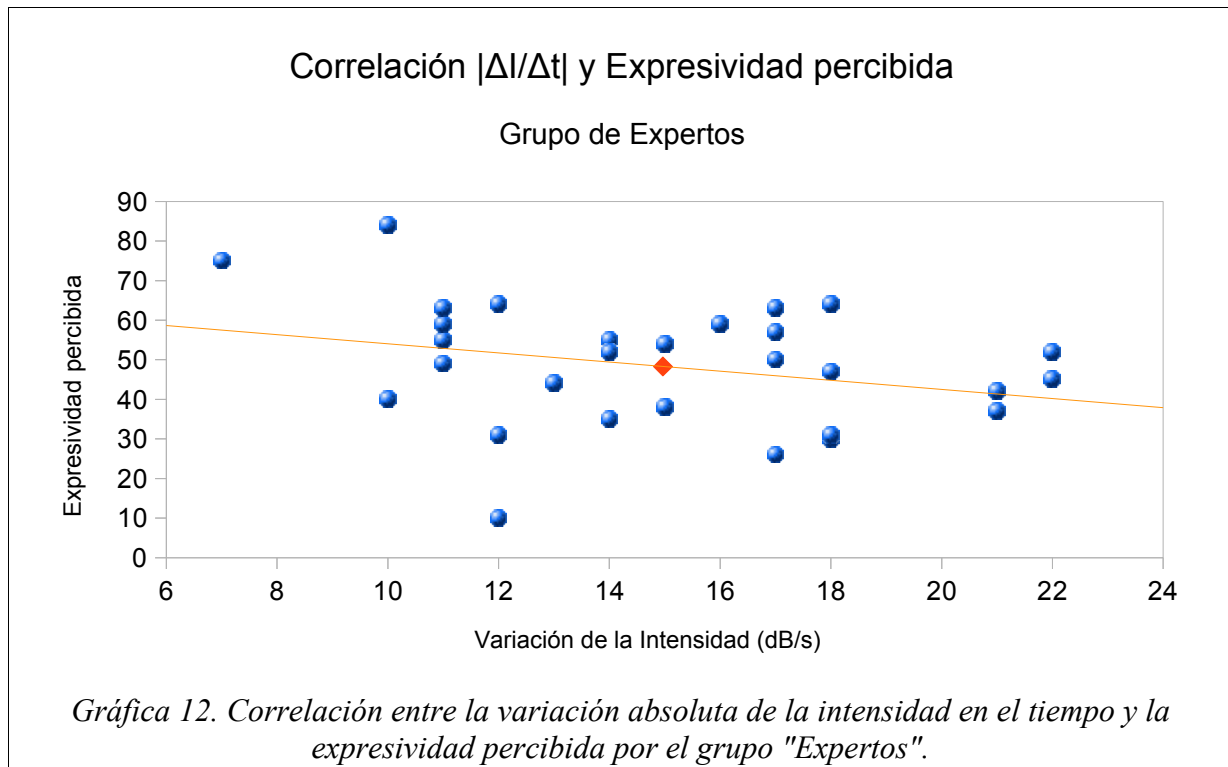
*Tabla 29. Coeficientes de correlación entre los resultados de las pruebas perceptuales y los resultados del análisis acústico.*

Como puede apreciarse en la Tabla 29, los coeficientes de correlación obtenidos son poco significativos, con valores más cercanos a  $R=0$  (sin correlación) que a  $|R|=1$  (correlación máxima).

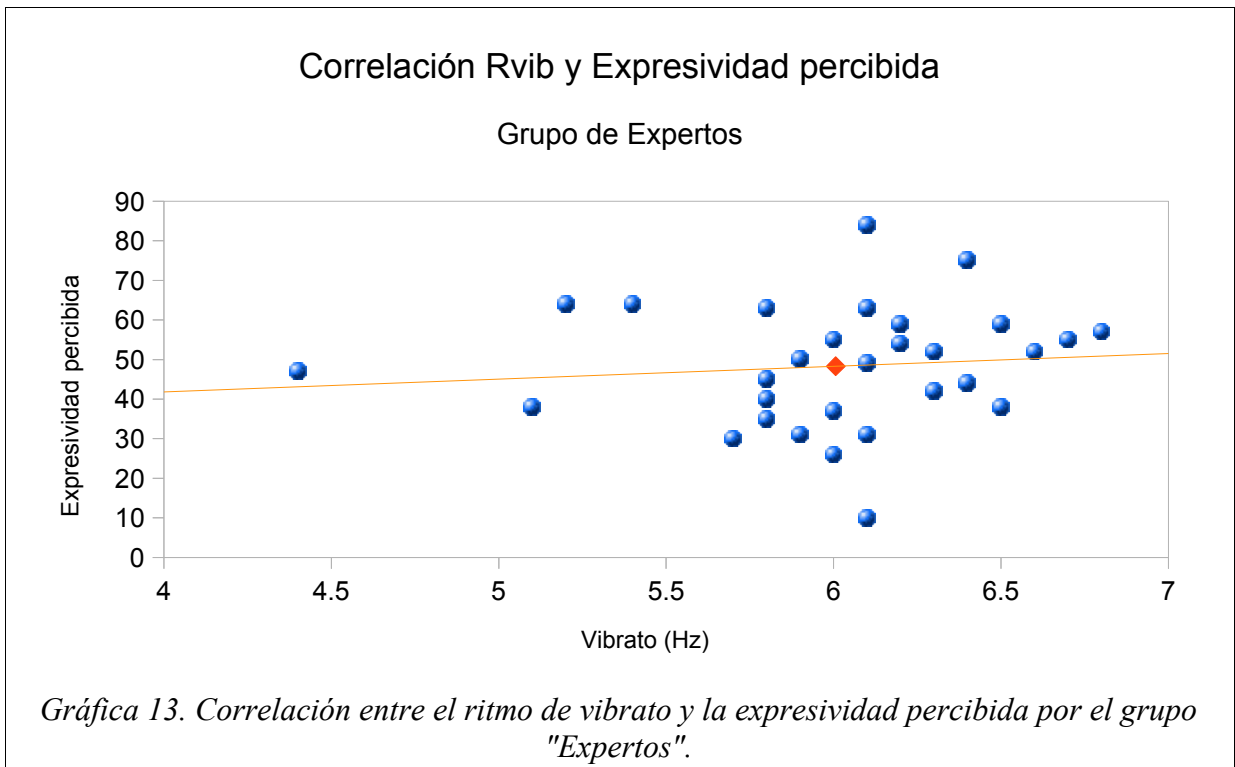
Se presentan a continuación las gráficas de correlación lineal entre cada parámetro acústico y la expresividad percibida. Las líneas en color anaranjado representan la línea de tendencia, que cuando se inclina hacia abajo, de izquierda a derecha, representa una tendencia de correlación negativa, mientras que si la inclinación va hacia arriba, es positiva; y, el diamante en dichas líneas corresponde a la intersección de los valores promedio. Se presentan únicamente las correlaciones de los parámetros acústicos con los resultados del grupo de "Expertos" (Gráficas 11-15).



En la Gráfica 11, la línea de tendencia presenta una correlación negativa entre la variación absoluta de la frecuencia fundamental  $F_0$  en el tiempo y la expresividad percibida. Lo cual quiere decir que cuando los cambios de  $F_0$  aumentan, la expresividad es peor calificada.

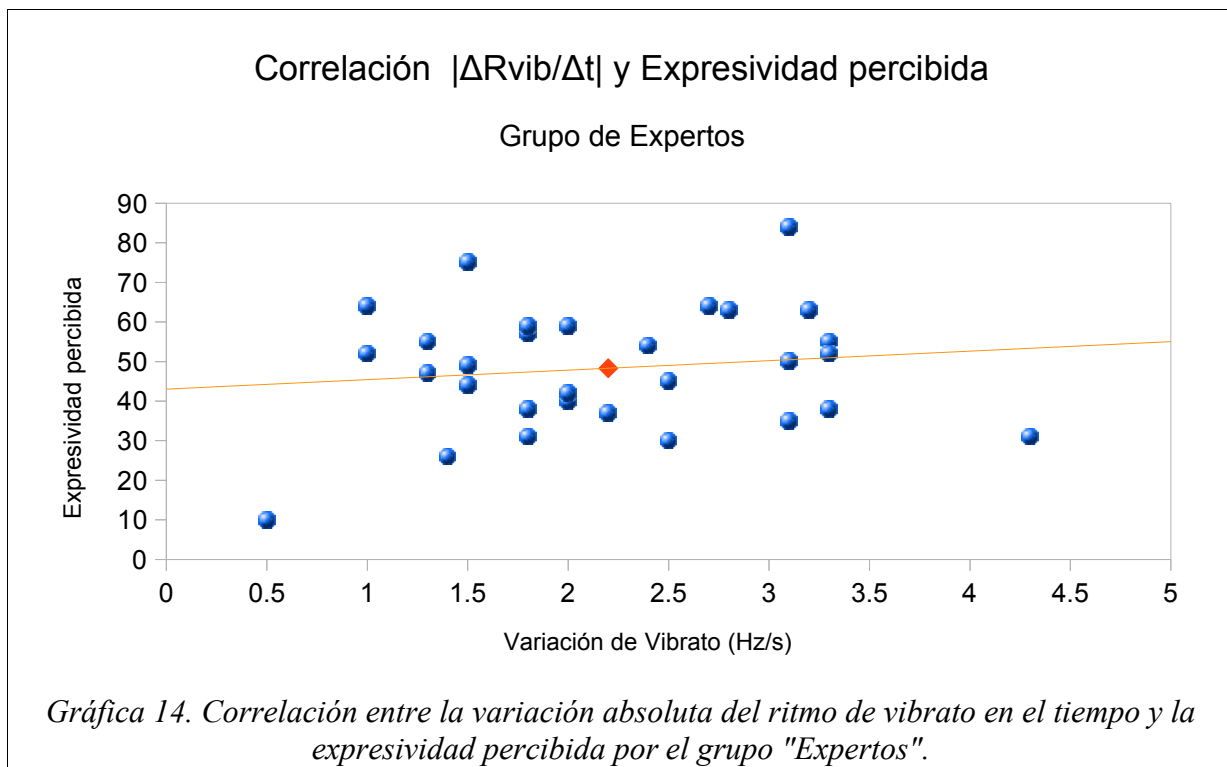


En la Gráfica 12 se aprecia la correlación negativa entre la variación absoluta de la intensidad en el tiempo y la expresividad percibida. Cuando los cambios en la intensidad aumentan, disminuye la expresividad percibida.

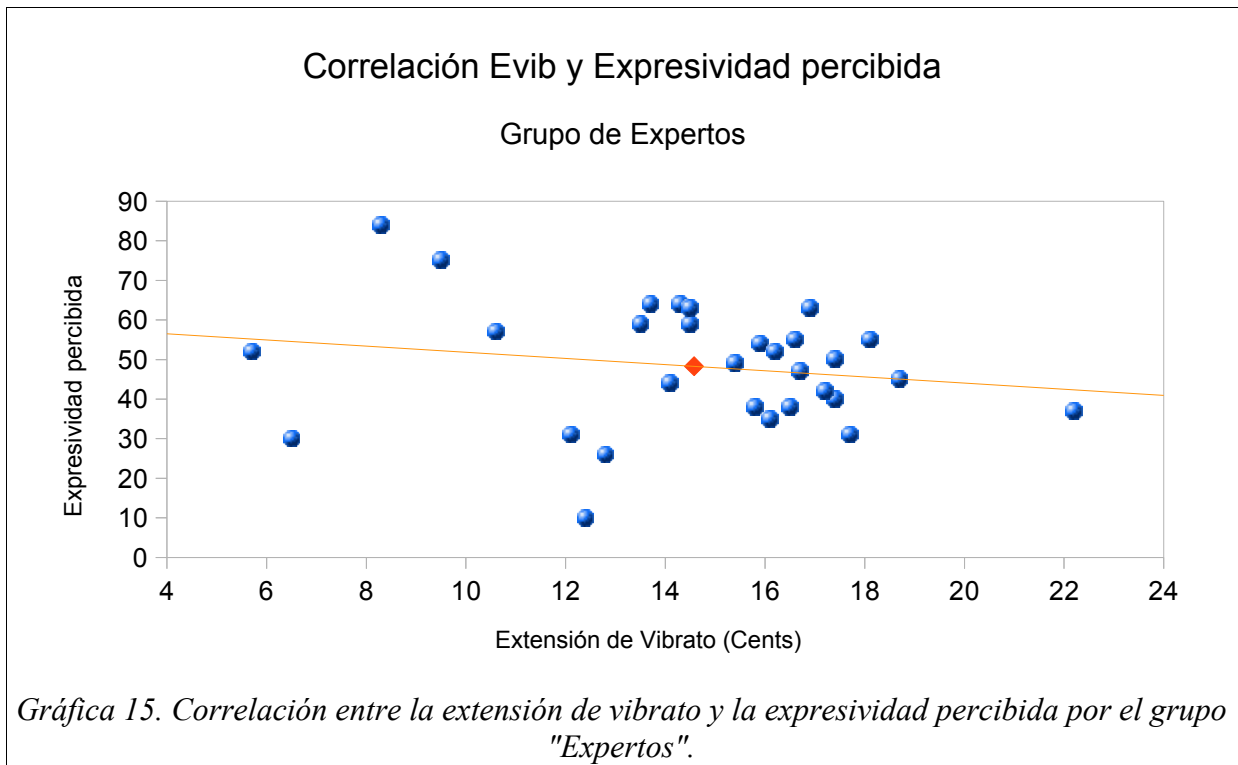


En la Gráfica 13 se aprecia una tendencia positiva entre la expresividad percibida y la medida del ritmo de vibrato. A diferencia de las gráficas anteriores, donde los puntos están más dispersos, en ésta se observa una concentración de puntos alrededor de la medida de 6 Hz de ritmo de vibrato.





En la gráfica 14 puede apreciarse una tendencia de correlación positiva. Esto quiere decir que, cuando aumenta la variación en el ritmo de vibrato en el tiempo, también aumenta la expresividad percibida.



En la gráfica 15, la correlación es negativa, lo cual supone que cuando la extensión de vibrato se hace más grande, la expresividad es peor calificada. Se observa una concentración de puntos alrededor de la medida de 16 cents de extensión de vibrato.

A partir de este análisis de regresión, se puede extraer una análisis de resultados importante, como se expresa a continuación:

- Los parámetros de variación en el tiempo de la frecuencia fundamental F0 y variación en el tiempo de la intensidad, tienen una correlación negativa con respecto a la expresividad percibida. Por lo tanto, los oyentes prefieren que haya pocos cambios de variación de la frecuencia fundamental y, además, el rango de preferencia de cambios se encuentra alrededor de los 220 Hz/s. También prefieren que haya pocos cambios de variación de la intensidad y no mayores de 15 dB/s, para emitir un juicio de mayor expresividad.

## Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Existe una predilección por la escucha del vibrato, con una medida cercana y alrededor de 6 Hz, para emitir un juicio de mayor expresividad; sin embargo, se prefiere que la extensión en el vibrato no sea muy grande, ya que más allá de los 14 cents de extensión de vibrato disminuye el juicio de expresividad en los oyentes.

### Parámetros acústicos y contenido emocional

En la Tabla 30 se pueden observar las características de los parámetros acústicos de las cantantes con mayor calificación, de las frases ordenadas de mayor a menor expresividad percibida por el total de oyentes de las pruebas perceptuales.

Frase	Expresión	$ \Delta F_0/\Delta t $ Hz/s	$\Delta F_0/\Delta t$ Hz/s	$ \Delta I/\Delta t $ dB/s	$\Delta I/\Delta t$ dB/s	Rvib Hz	Evib Cents	$\Delta I$ dB	Cantante
3	Amor	120	+8	10	+0.7	6.1	8.3	-0.1	Netrebko
4	Coraje	301	+44	17	-0.5	6.1	16.9	-0.2	Netrebko
1	Melancolía	176	-35	16	-1.4	6.5	14.5	2	Caballé
6	Pasión	255	+49	14	+1.4	6.7	16.6	0.8	Caballé
2	Tristeza	88	-23	7	-0.8	6.4	9.5	-0.4	Caballé
5	Placer	205	+48	11	+0.2	6.2	13.5	0.4	Caballé

Tabla 30. Caracterización acústico-perceptual de las frases con mayor expresividad percibida.

Es de destacar que, en la Tabla 30, se determinan dos características en común:

- Las frases mejor calificadas que expresan melancolía y tristeza (1 y 2), determinadas como emociones pasivas y negativas<sup>24</sup>, presentan variaciones descendentes de la frecuencia fundamental F0 y la intensidad.
- Las frases mejor calificadas que expresan amor, placer y pasión (3, 5 y 6) determinadas como emociones activas y positivas<sup>25</sup>, presentan variaciones ascendentes de la frecuencia fundamental F0 y la intensidad.

<sup>24</sup> Timmers 2007, p. 6.

<sup>25</sup> *Ídem*.

En la Tabla 31 se presentan las características de los parámetros acústicos de las cantantes con menor calificación, de las frases ordenadas de mayor a menor expresividad percibida por el total de oyentes de las pruebas perceptuales.

<b>Frase</b>	<b>Expresión</b>	$ \Delta F0/\Delta t $ Hz/s	$\Delta F0/\Delta t$ Hz/s	$ \Delta I/\Delta t $ dB/s	$\Delta I/\Delta t$ dB/s	Rvib Hz	Evib Cents	$\Delta I$ dB	<b>Cantante</b>
3	Amor	188	+23	11	+1.3	6.1	15.4	-0.3	Studer
4	Coraje	245	-52	18	-1.6	5.7	6.5	-1.2	Sutherland
1	Melancolía	265	-60	18	+2.5	5.9	17.7	1.2	Tebaldi
6	Pasión	248	-23	17	+1.1	6	12.8	-0.8	Sutherland
2	Tristeza	113	+49	12	-1.3	6.1	12.4	2.6	Tebaldi
5	Placer	262	-7	14	+1.7	5.8	16.1	-0.4	Netrebko

*Tabla 31. Caracterización acústico-perceptual de las frases con menor expresividad percibida.*

Se observa que las medidas de vibrato en la Tabla 31 son ligeramente menores, en general, a las de la tabla anterior (excepto en la frase 3). También, las dos últimas frases (2 y 5), calificadas como las menos expresivas, presentan las siguientes características, en contraposición con las mejor calificadas:

- La frase que debería expresar tristeza presenta una variación ascendente de la frecuencia fundamental, y una variación descendente de la intensidad.
- La frase que debería expresar placer presenta una variación descendente de la frecuencia fundamental, y una variación ascendente de la intensidad.



---

## CONCLUSIONES

---

**E**n este trabajo se desarrolló un método de obtención de características acústicas mediante análisis espectral en PRAAT y se establecieron correlaciones con el nivel de expresividad percibido, en grabaciones de canto operístico. Primero, se estudiaron los métodos empleados en dos investigaciones previas, después se realizó una selección de material grabado y se generó un método automatizado para la extracción de las características o parámetros acústicos derivados de la frecuencia fundamental, la intensidad y el vibrato de una señal de voz cantada a partir del espectrograma; por último, se hizo una adaptación de la prueba MUSHRA como un estudio perceptual para la evaluación del nivel de expresividad.

En este método, la recopilación del material de grabaciones de canto operístico se distingue de los anteriores en cuanto a la aplicación de criterios selectivos que propician el análisis acústico, como la determinación de que se tratara de frases *a capella* y de cantantes de alto nivel profesional.

Por otra parte, el desarrollo de procedimientos automatizados en contraste con los procedimientos asistidos tratados en los métodos anteriores, dio como resultado un método de análisis acústico flexible, que es susceptible de ser ampliado o modificado con facilidad, y además posee plena efectividad en la obtención de medidas y cálculos. Desde el etiquetado de los archivos de audio a analizar, hasta el almacenamiento de los parámetros, se garantizan procedimientos confiables, que permiten evitar errores, ahorrar tiempo en el análisis, someter a estudio una gran cantidad de información, así como incluir o excluir datos relevantes o irrelevantes de los parámetros analizados.

La aplicación de las pruebas perceptuales aplicadas en este trabajo corroboró la importancia y la suficiencia de la consulta a expertos cuando se trata de opiniones acerca del canto operístico, pues es un ámbito muy especializado, pero también demostró que en cuanto a evaluar la expresividad, la prueba perceptual es una herramienta indispensable, que no debería ser dejada de lado por los investigadores en este ámbito.

En el caso del trabajo experimental tratado en esta tesis, los resultados obtenidos permitieron

## CONCLUSIONES

encontrar algunas sutiles correlaciones entre los parámetros acústicos y la expresividad emocional que, a pesar de ser poco significativas, no presentan contradicciones en su estructura formal y también son coherentes con resultados obtenidos en estudios previos. Se pudo constatar que la influencia en el contenido emotivo de los parámetros derivados de la frecuencia fundamental, la intensidad y el vibrato estudiados aquí, es mínima en el canto operístico, debido al nivel *micro* en que el cantante puede variar dichos aspectos. Además, se verificaron las interacciones entre los parámetros acústicos de variación de la frecuencia fundamental y variación de la intensidad en la señal de voz; también se encontró que son poco significativas las diferencias en el vibrato entre las cantantes profesionales analizadas.

Trabajos experimentales que pueden derivarse del presentado aquí pueden encaminarse a adaptar y perfeccionar los métodos expuestos, modificando los criterios de selección del material a analizar, o los criterios de la segmentación y el etiquetado del material de audio, la cantidad y tipo de parámetros acústicos, e incluso la aplicación de pruebas perceptuales, las cuales se pueden mejorar intentando crear un ambiente más cercano al entorno operístico o de concierto, o que despierte en los oyentes una mayor sensibilidad en el momento de la prueba.

Aplicaciones prácticas podrían dirigirse hacia la creación de herramientas computacionales para uso en la enseñanza, práctica y evaluación del canto.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. Appelman., R. (1967). *The Science of Vocal Pedagogy*. Indiana University Press.
2. Averill, J. (1982). *Anger and aggression: An essay on emotion*. New York: Springer-Verlag.
3. Averill, J. (1983). Studies on anger and aggression: Implications for theories of emotion. *American Psychologist*, 38, 1145–1160.
4. Benade, A. (1990). *Fundamentals of Musical Acoustics*. Chap. 19: "The Voice as a Musical Instrument". Second revised edition. Dover.
5. Bigand, E. (2005). Multidimensional Scaling of Emotional Responses to Music: the effect of musical expertise and except's duration, *Mente y Cerebro*, N° 13.
6. Blood, D. J., & Ferriss, S. J. (1993). Effects of background music on anxiety, satisfaction with communication, and productivity. *Psychological-Reports*. Vol 72(1): 171-177.
7. Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 98, 11818-23.
8. Bodden, M. (2000). Perceptual Sound Quality Evaluation. En: *Proc. Internoise 2000*, Nice, France.
9. Brodnitz, F.S. (1953). *Keep Your Voice Healthy*. New York: Harper and Row, 1953.
10. Brüel & Kjaer. (1989). *Duel Channel Real Time Frequency Analyzer Type 2133*. User Guide.
11. Bunch, M. (1993). *Dynamics of the Singing Voice*, 2° Ed. Vienna: Springer-Verlag.
12. Bunt, L., & Pavlicevic, M. (2001). En Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (Eds.) *Music and emotion, theory and research*, pp. 181-204, New York: Oxford University Press.
13. Carroll, N. (1997). The Ontology of Mass Art. *Journal of Aesthetics and Art Criticism* 55 (2):187-199.
14. Chóliz, M. (2005). *Psicología de la emoción: el proceso emocional*. Universidad de Valencia. Recuperado de: [www.uv.es/=cholz](http://www.uv.es/=cholz).
15. Clynes, M. (1977). *Sentics: The touch of emotions*. New York: Doubleday.
16. Cockerton, T., Moore, S., Norman, D. (1997). Cognitive test performance and background music. *Perceptual-and-Motor-Skills*. Vol 85(3, Pt 2): 1435-1438.
17. Cohen, A. J. (2001). En Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (Eds.). *Music and emotion, theory and research*, pp. 249-274, New York: Oxford University Press.



## BIBLIOGRAFÍA

18. Della Seta, F. (ed.) (2001). Verdi, Giuseppe. La Traviata. Critical Edition of the Piano-Vocal Score. University of Chicago Press and Casa Ricordi-BMG Ricordi, 2 Vols.
19. Deutsch, D. (Ed.) (1999). The psychology of music. (2º ed.). San Diego, CA: Academic Press.
20. Díaz, J. L. (2010). Música, lenguaje y emoción: una aproximación cerebral. Salud Mental [online]. Vol.33, n.6, pp. 543-551.
21. Dickie, G. (1997). Introduction to Aesthetics: An Analytic Approach. New York: Oxford University Press.
22. EBU. Method for the subjective assessment of intermediate quality level of coding systems. Rec. ITU-R BS.1534-1 (2001 - 2003).
23. EBU. MUSHRA – Method for Subjective Listening Tests of Intermediate Audio Quality. Draft EBU Recommendation, B/AIM 022 (Rev.8)/BMC 607rev, January, 2000.
24. EBU. EBU Report on the subjective listening tests of some commercial internet audio codecs. Document BPN 029, June, 2000.
25. Ekman, P. (1992). Are there basic emotions? Psychological Review. 99, pp. 550-553.
26. Everitt, B. S. & Hothorn, T. (2010) A handbook of statistical analysis using R. Chapter 16. Principal Component Analysis: The Olympic Heptathlon. Second Edition. CRC Press. pp. 285 - 297.
27. Fastl, H. (2005). Psychoacoustics and Sound Quality. En: Communication Acoustics, Blauert, J. (ed.), Springer.
28. Fernández Del Castillo, F. (2012). Síntesis de instrumentos musicales mediante segmentación de forma de onda y predicción lineal. Tesis de Doctorado en Música, UNAM, México.
29. Fónagy, I. & J. Fónagy (1976). Prosodie professionnelle et changements prosodiques. Le Français Moderne, 44, 193-228.
30. Fontaine, C. W., & Schwalm, N. D. (1979). Effects of familiarity of music on vigilant performance. Perceptual-and-Motor-Skills. Vol 49(1): 71-74.
31. Friberg, A.; Sundberg, J. & Frydén, L. (1989). Preferred quantities of expressive variation in music performance. STL-QPSR Journal, vol. 30, no. 4, pp. 53-62.
32. Friberg, A.; Bresin, R. & Sundberg, J. (2006). Overview of the KTH rule system for musical performance. Advances in Cognitive Psychology. Vol. 2, no. 2-3, pp. 145-161.
33. Fubini, E. (1988). La estética musical desde la Antigüedad hasta el siglo XX . Madrid: Alianza Editorial.
34. Fubini, E. (2004). Música y lenguaje en la estética contemporánea. Madrid: Alianza Editorial.

35. Gabrielsson, A. & Juslin, P. (1996). Emotional expression in music performance: Between the performer's intention and the listener's experience. *Psychology of Music*. Vol. 24, no. 1, pp. 68-91.
36. Gabrielsson, A., & Lindström, E. (2001). The influence of musical structure on emotional expression. En Juslin & Sloboda (Eds.), *Music and emotion: Theory and research* (pp. 223-248). New York: Oxford University Press.
37. Gelfand, S. A. (2004). *Hearing an Introduction to Psychological and Physiological Acoustics*. 4<sup>o</sup> ed., Marcel Dekker.
38. Goebel, W.; Dixon, S.; De Poli, G.; Friberg, A.; Bresin, R. & Widmer, G. (2008). Sense in Expressive Music Performance: Data Acquisition, Computational Studies, and Models. En P. Polotti & D. Rocchesso (Eds.), *Sound to Sense – Sense to Sound: A State of the Art in Sound and Music Computing*. Berlin: Logos. pp 195 - 242.
39. Grout, D.J. & Palisca, C.V. (1990). *Historia de la Música Occidental*. Vol I. Ed. Alianza Musical, Madrid.
40. Guzman, M.A.; Dowdall, J.; Rubin, A.D.; Maki, A.; Levin, S.; Mayerhoff, R. & Jackson-Menaldi, M.C. (2012). Influence of Emotional Expression, Loudness, and Gender on the Acoustic Parameters of Vibrato in Classical Singers. *Journal of Voice*, Vol. 26, No. 5, pp. 675.e5 - 675.e11.
41. Hargreaves, D. & North, A. (1997). *The social psychology of music*. Oxford: Oxford University Press.
42. Hevner, K. (1936). Experimental studies of the elements of expression in music. *American Journal of Psychology*, 48, pp 248-68.
43. Hilliard, M., & Tolin, P. (1979). Effect of familiarity with background music on performance of simple and difficult reading comprehension tasks. *Perceptual-and-Motor-Skills*. 49(3), pp 713-714.
44. Hirano, M. (1977). Structure and vibratory behavior of the vocal folds. In *Dynamic Aspects of Speech Production*, M. Sawashina and F.S. Cooper, eds. University of Tokyo, Japan.
45. Holmes, P. & Holmes, C. (2013). The performer's experience: A case for using qualitative (phenomenological) methodologies in music performance research. *Musicae Scientiae*, 17(1), pp. 72-85.
46. Howes, P.; Callaghan, J.; Davis, P.; Kenny, D. & Thorpe, W. (2004). The Relationship Between Measured Vibrato Characteristics and Perception in Western Operatic Singing. *Journal of Voice*, Vol. 18, No. 2, pp. 26 - 230.
47. Hummersone, C. (2012). MUSHRA.pat: A guide to increasing or reducing the number of stimuli. June 6, 2012.

## BIBLIOGRAFÍA

48. Izzo, F. (2015). 200 años después, Verdi. Revista de libros. Segunda Época. Julio de 2015. Recurso electrónico: [www.revistadelibros.com/articulos/200-anos-despues-verdi](http://www.revistadelibros.com/articulos/200-anos-despues-verdi). Recuperado el 03 de julio de 2015.
49. Juslin, P. N., & Laukka, P. (2001). Impact of intended emotion intensity on cue utilization and decoding accuracy in vocal expression of emotion. *Emotion*, Vol. 1, pp. 381-412.
50. Juslin, P.N.; Friberg, A. & Bresin, R. (2001). Toward a computational model of expression in music performance: The GERM model. *Musicæ Scientiæ: The Journal of the European Society for the Cognitive Sciences of Music*. 01/02 Special issue. pp. 63-122.
51. Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (Eds.) (2001). *Music and emotion, theory and research*. New York: Oxford University Press.
52. Juslin, P.N. & Laukka, P. (2003). Communication of Emotions in Vocal Expression and Music Performance: Different Channels, Same Code? *Psychological Bulletin*, Vol. 129, No. 5, pp. 770–814.
53. Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and Brain Sciences*, 31, 559-575.
54. Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (Eds.). (2010). *Handbook of music and emotion: Theory, research, applications*. New York: Oxford University Press.
55. Juslin, P. N. (2011). Music and emotion: Seven questions, seven answers. En I. Deliège y J. Davidson (Eds.), *Music and the mind: Essays in honour of John Sloboda* (pp. 113-135). New York: Oxford University Press.
56. Juslin, P.N. (2013). What does music express? Basic emotions and beyond. *Frontiers in Psychology | EmotionScience*. Vol. 4, article 596.
57. Juslin, P. N., Harmat, L., & Eerola, T. (2014). What makes music emotionally significant? Exploring the underlying mechanisms. *Psychology of Music*, 42, 599-623.
58. Juslin, P. N, & Isaksson, S. (2014). Subjective criteria for choice and aesthetic value of music: A comparison of psychology and music students. *Research Studies in Music Education*, 36, 179-198.
59. Kappas, A., Hess, U., & Scherer, K. (1991). Voice and emotion. In R. S.Feldman & B. Rime (Eds.), *Fundamentals of nonverbal behavior*. Cambridge University Press. pp. 200–238
60. Kenneth, J. (2001). *Understanding Speech Intelligibility and the Fire Alarm Code*. Bose Corporation.
61. Kivy, P. (1989). *Sound sentiment: An essay on the musical emotions*. Philadelphia, PA: Temple University Press.
62. Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (3), pp. 131–137.

63. Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience* , 15 (3), pp. 170–180.
64. Krueger, J. (2014). Affordances and the musically extended mind. *Frontiers in Psychology* , 4 (1003), pp. 1–13.
65. Lang, P.J. (1995). The emotion probe: Studies of motivation and attention. *American Psychologist*, 50, pp. 372-385.
66. Large, J. & Iwata, S. (1976). The Significance of Air Flow Modulations in Vocal Vibrato, *The NATS Bulletin*, February/March.
67. Laukka, P. (2004a). Categorical perception of vocal emotion expressions. *Emotion*. 2005 Vol. 5, no. 3, pp. 277- 295.
68. Laukka, P. (2004b). Vocal Expression of Emotion. Discrete-emotions and Dimensional Accounts. *Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Social Sciences* 141. 80 pp. Uppsala.
69. Laukka, P.; Juslin, P.N. & Bresin, R. (2005). A dimensional approach to vocal expression of emotion. *Cognition and Emotion*, Vol 19(5), Aug 2005, 633-653.
70. Lengronne, F. (2006-2015). Sonoridad 2.5.pdf. Recurso electrónico: [www.eva.universidad.edu.uy/pluginfile.php/.../Sonoridad %202.5LR.pdf?...1](http://www.eva.universidad.edu.uy/pluginfile.php/.../Sonoridad%202.5LR.pdf?...1) *Recuperado*: 18 de octubre de 2015.
71. Levitt, H. (1971). Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics. *JASA*, 49(2), part 2.
72. Lindblom, B. & Sundberg, J. (2007). *The Human Voice in Speech and Singing*. In *Springer Handbook of Acoustics*, pp. 669-712.
73. London, J. (2002). Some theories for emotion in Music and their implications for research in Music Psychology. *Musicae Scientiae, Spec. Issue*. pp 23-25.
74. Luque Fernández, M. (2004). “El poder de la Música: La teoría del Ethos”, *Sequentia, Revista digital*. No. 2, Invierno 2004. [http://www.coralsanjuandedios.es/sequentia/art\\_ethos.htm](http://www.coralsanjuandedios.es/sequentia/art_ethos.htm) *Recuperado*: 10 de junio de 2015.
75. Marín Corbi, F. (2007). Figura, gesto, afecto y retórica en la música. *Nassarre (XXIII)*. Institución “Fernando el Católico”, Zaragoza, España.
76. Marrades, J. (2000). Música y significado. *Teorema*. Vol XIX/1, 2000, pp. 5-25.
77. Mason. A.J. (2002). The MUSHRA subjective test method. *BBC Research & Development Whitw Paper WHP 038*, september 2002.
78. Menninghaus, W. (2013). Música y retórica en la Teoría de Darwin. Traducción al español de Mariela Vargas. *Revista: Literatura: teoría, historia, crítica*, 2013, vol.15, n.1, pp. 249-280.

## BIBLIOGRAFÍA

79. Metfessel, M. (1932). The Vibrato in Artistic Voices, in *The University of Iowa Studies in the Psychology of Music*. University of Iowa Press.
80. Meyer, L. (1956). Emotion and meaning in music, University of Chicago, “Emoción y significado en la música”, Traducción de Turina, J. L. (2001), Alianza Editorial, Madrid.
81. Nagel, F. (2007). Psychoacoustical and Psychophysiological Correlates of the Emotional Impact and the Perception of Music. Sierke Verlag.
82. Neubauer, J. (1992). La emancipación de la música. El alejamiento de la mimesis en la estética del siglo XVIII. Visor, Madrid.
83. Oda Noda, B. (2005). Introducción al análisis gráfico de datos experimentales, 3a. edición. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
84. Oesten, P. V. (1993). Critical study of Sundberg's rules for expression in the performance of melodies. *Contemporary Music Review*. Vol 9, no. 1-2, pp. 267-274.
85. Overy, K., & Molnar-Szakacs, I. (2009). Being together in time: Musical experience and the mirror neuron system. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal* , 26 (5), pp. 489–504.
86. Patel, S.; Scherer, K.; Björkner, E. & Sundberg, J. (2011). Mapping emotions into acoustic space: The role of voice production. *Biological Psychology*, vol. 87. pp. 93–98.
87. Pastor, J.C.; Sprung, L.; Sprung, H. & Tortosa, F. (1999). Reconsideraciones sobre el lugar de C. Stumpf en la historia de la Psicología. *Revista de Historia de la Psicología*. Vol. 20, no. 1. pp. 1-22.
88. Peretz, I.; Gagnon, L.; & Bouchard, B. (1998). Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition* 68, 111–141.
89. Peretz, I. & Zatorre, R.J. (2005). Brain organization for music processing. *Annu Rev Psychol*; 56: 89-114.
90. Pfeuty, M. & Peretz, I. (2010). Abnormal pitch – time interference in congenital amusia: evidence from an implicit test. *Atten. Percept. Psychophys.* 72; pp 763–774.
91. Pittam, J., & Scherer, K. R. (1993). Vocal expression and communication of emotion. In M. Lewis & J. M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 185-198). New York: Guilford.
92. Polzehl, T.; Sundaram, S.; Ketabdar, H.; Wagner, M. & Metze, F. (2009). Emotion classification in children's speech using fusion of acoustic and linguistic features. In: *Proc. Interspeech*, Brighton, pp. 340–343.
93. Quinto, L.; Thompson, W.F. & Keating, F.L. (2013). Emotional communication in speech and music: the role of melodic and rhythmic contrasts. *Frontiers in Psychology | EmotionScience*. Vol. 4, article 184, 8 p.

94. Radford, C., (1989). "Emotions and Music: A Reply to the Cognitivists", *Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 47: 69–76.
95. Rapoport, E. (1995). Temporal structures in singing tones in opera and lied and their role in emotional expression. Technical Report 95-9, The Institute of Computer Science, The Hebrew University of Jerusalem, Israel.
96. Rapoport, E. (1996). Emotional Expression Code in Opera and Lied Singing. *Journal of New Music Research*, Vol. 25, Issue 2, pp. 109 - 149.
97. Rapoport, E. (2008). The marvels of the human voice: Poem–melody–vocal performance. *Orbis Musicae* 14: 7–36.
98. Rasch, R. & Plomp, R. (1999). The Perception of Musical Tones. En: *The Psychology of the Music*. Deutsch, D. (ed.). 2nd Edition, San Diego, Academic Press, pp. 89 - 112.
99. Rodríguez, C. (1988). Emoción y Cognición. James, más de cien años después. *Anuario de Psicología* 1998, vol. 29, no. 3, pp. 3-23.
100. Schellenberg, E.G.; Krysciak, A. & Campbell, R.J. (2000). Perceiving emotion in melody: Effects of pitch and rhythm. *Music Perception*, 18, 155-172.
101. Scherer, K. R. (1995). Expression of Emotion in Voice and Music. *Journal of Voice*. Vol. 9, No. 3, pp. 235-248.
102. Scherer, K. R., Zentner, M. R., & Schacht, A. K. (2001). Emotional states generated by music: a conceptual and empirical analysis. *Musicae Scientiae*.
103. Seashore C. (1967). *Psychology of Music*. New York: McGraw-Hill;1938. Reimpresión.
104. Seidner, W; Nawka, T; Cebulla, M. (1995). Dependence of the vibrato on pitch, musical intensity, and vowel in different voice classes. En: Dejonkere PH, Hirano M, Sundberg, (Eds.) *Vibrato*. San Diego: Singular Publishing Group; pp. 63-82.
105. Siegwart, H. & Scherer. K.R. (1995). Acoustic Concomitants of Emotional Expression in Operatic Singing: The Case of Lucia in *Ardi gli incensi*. *Journal of Voice*, Vol. 9, No. 3, pp. 249-260.
106. Sloboda, J. A. (1992). Empirical studies of emotional response to music. In *Cognitive bases of musical communication*, (ed. M. R. Jones & S. Holleran), pp. 33-46. Washington, DC: American Psychological Association.
107. Sloboda, J. A., & O'Neill, S. A. (2001). En Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (Eds.), *Music and emotion, theory and research*. Oxford University Press, pp. 415-430.
108. Smith, C. A., & Morris, L. W. (1977). Differential effects of stimulative and sedative music on anxiety, concentration, and performance. *Psychological-Reports*. Vol 41(3, Pt 2): 1047-1053.
109. Stanley, D. (1958). *The science of voice: an application of the laws of acoustics*. Fischer. New

## BIBLIOGRAFÍA

York.

110. Stanton, H. E. (1975). Music and test anxiety: Further evidence for an interaction. *British-Journal-of-Educational-Psychology*. Vol 45(1): 80-82.
111. Stanton, H. E. (1973). The effect of music on test anxiety. *Australian-Psychologist*. Vol. 8(3):220-228.
112. Steidl, S. (2009) Automatic Classification of Emotion Related User States in Spontaneous Children's Speech. Logos-Verlag. Berlin, Germany (Ph.D. Thesis, FAU Erlangen-Nuremberg).
113. Streeter, L.A. (1978). Acoustic determinants of phrase boundary perception. *JASA*, 64(6).
114. Sundberg, J.; Friberg, A. and Bresin, R. (2003). Attempts to Reproduce a Pianist's Expressive Timing with Director Musices Performance Rules. *Journal of New Music Research* 2003, Vol. 32, No. 3, pp. 317–325.
115. Sundberg, J. (1982). Speech, Song, and Emotions. In M. Clynes, editor, *Music, Mind and Brain: The Neuropsychology of Music*. Plenum Press. Cap. VII, pp. 137 - 149.
116. Sundberg, J. (1989). Speech, Song and Emotions. In *The Science of the Singing Voice*. Northern Illinois Univ. Cap. 7, pp. 146 - 156.
117. Sundberg, J.; Iwarsson, J. & Hagegard, H. (1994). A singer's expression of emotions in sung performance. *STL-QPSR Journal*. Vol. 35, no. 2-3, pp. 81-92.
118. Sundberg, J. (1998). Expressivity in singing. A review of some recent investigations. *Log Phon Vocol*, vol. 23, pp. 121–127.
119. Sundberg, J. (2000). Emotive Transforms. *Phonetica*, No. 57, pp. 95 - 112.
120. Sundberg, J.; Patel, S.; Björkner, E. & Scherer, K. (2011). Interdependencies among Voice Source Parameters in Emotional Speech. *IEEE Transactions on affective computing*, Vol. 2, no. 3. July - September 2011.
121. Timmers, R. (2007). Vocal expression in recorded performances of Schubert songs. *Musicae Scientiae*. Vol XI, no. 2, pp. 73 - 101.
122. Torres Rangel, J.A. (2010). Descartes: Las pasiones del alma y la Música Barroca. *DIKAIOSYNE* Nº 24, Revista semestral de filosofía práctica. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela, Enero-junio 2010.
123. Treutwein, B. (1995). Adaptive Psychophysical Procedures. *Vision Res*. Vol. 35, No. 17, pp. 2503-2522.
124. Vennard W. (1967). *Singing: The Mechanism and the Technic*. 5th ed. New York: Carl Fischer.
125. Vigotsky, L. (2004). *Teoría de las emociones. Estudio histórico-psicológico*. Trad. Judith Viaplana. Ed. Akal, Madrid.

126. Vincent, E. (2005). MUSHRAM 1.0. User guide. Centre for Digital Music, Queen Mary, University of London.
127. Weninger, F.; Eyben, F.; Schuller, B.W.; Mortillaro, M. & Scherer, K. (2013). On the acoustics of emotion in audio: what speech, music, and sound have in common. *Frontiers in Psychology | Emotion Science*. May 2013, Vol. 4, Article 292. 12 p.
128. Widmer, G. & Goebel, W. (2004). Computational Models of Expressive Music Performance: The State of the Art. *Journal of New Music Research*. Vol. 33, no. 3, pp. 203–216.
129. Zatorre, R. y Peretz, I. (2001). The Biological Foundations of Music, *Annals of the New York Academy of Sciences*.
130. Zwicker, E. & Fastl, H. (1999). *Psychoacoustics. Facts and Models*. 2nd ed., Springer Verlag.





---

## Anexo A. Ópera La Traviata de Giuseppe Verdi.

---

### a) Contexto histórico y argumento<sup>26</sup>

Cuando Verdi compuso La Traviata, tenía la intención de hacer una ópera de ambiente contemporáneo -es decir, hacia 1853, año de su estreno en Venecia- de manera que al levantarse el telón los espectadores vieran sobre el escenario a personajes vestidos exactamente igual que ellos. La Traviata (literalmente “la extraviada”), es un drama real desarrollado enteramente en escenarios interiores que narra la historia de un muchacho de buena familia que vive feliz en amancebamiento con una cortesana de lujo hasta que las hipocresías de la época y la tuberculosis, enfermedad que estaba ligada estrechamente a la vida licenciosa, ponen término a dicha relación. El aria “È strano!... Sempre libera” pertenece al final del Acto I. La cotizada cortesana Violetta Valéry acaba de conocer a Alfredo en una fiesta organizada en su casa. El muchacho le ha declarado su amor y ella se pregunta extrañada si no será el hombre de sus sueños que ha venido a liberarla de su turbulenta vida. La censura y el rechazo del público hicieron que Verdi se viera obligado a trasladar la acción al París de 1700. El libreto sigue fielmente la obra de Alexandre Dumas: *La Dame aux Camélias*.

#### ACTO I

En casa de la cortesana Violetta Valery tiene lugar una espléndida fiesta, sus lujosos salones están llenos de invitados entre los que se encuentran Flora Bervoix, su amiga más íntima y el barón Duphol, su amante y protector. Llega el vizconde Gastón de Létorières acompañado de Alfredo Germont, un joven de Provenza que declara estar enamorado de Violetta. Durante la cena, Alfredo ofrece un apasionado brindis a la anfitriona, al acabar los invitados se trasladan al salón contiguo para bailar pero la joven queda rezagada por un malestar pasajero; momento que aprovecha Alfredo para declararle su amor. En un primer momento Violetta no le toma en serio, sin embargo, regala una flor al joven diciéndole que podrá visitarla cuando esta se marchite. Concluida la fiesta, y ya a solas, Violetta reflexiona sobre los sentimientos que Alfredo le ha revelado y la nueva vida que éste le propone, pero enseguida trata de persuadirse a si misma de que aceptarlo sería una locura y decide olvidarlo todo loando su vida entregada a los placeres.

---

<sup>26</sup> Tomado de: La Traviata. Libreto-programa. XV Temporada 10/11 del Teatro Villamarta. La Arcadia-Jerez y Diario de Jerez, Ed. Cádiz, 2010. [www.arcadiajerez.com/gestion/contenidos/agenda/libretos/latraviata.pdf](http://www.arcadiajerez.com/gestion/contenidos/agenda/libretos/latraviata.pdf) Recuperado: 22 de mayo de 2014.

## ACTO II

### Cuadro I

Una casa de campo en las afueras de París. Alfredo y Violetta lleva tres meses viviendo juntos y su felicidad es completa. El joven sorprende a Annina, la doncella de Violetta, cuando esta regresa de París, donde ha ido para preparar la venta de los bienes de la señora y así poder costear la idílica existencia de la pareja. Alfredo, avergonzado por su inconsciencia y herido en su orgullo, decide partir hacia la capital para impedirlo. Entre la correspondencia del día, Violetta recibe una carta de su amiga Flora invitándola a una fiesta. Mientras la lee recibe la visita de Giorgio Germont, el padre de Alfredo, quien la acusa de llevar a la ruina moral y económica a su hijo. Violetta le enseña unos documentos que señalan lo contrario, dejando sorprendido al anciano que advierte la dignidad que demuestra la joven, Germont se disculpa entonces y apela a su noble corazón para pedirle un enorme sacrificio: renunciar definitivamente al amor de Alfredo para que su relación no empañe el honor de la familia y prevenir el escándalo que arruinaría el compromiso matrimonial de su hija, hermana de Alfredo. Aunque en principio se niega rotundamente, Violetta intuye que su defensa es una batalla perdida pues sabe que Germont no dejará de recurrir a su pasado para comprometerla. Llena de tristeza, asiente finalmente en abandonar a Alfredo escribiéndole una simple nota de despedida que le entregarán cuando ella se haya marchado. Al poco tiempo de salir Germont regresa el joven que la sorprende escribiendo, Violetta disimula a duras penas pero la emoción la embarga y le ruega que, pase lo que pase, la ame siempre, y se despide. Alfredo, que atribuye la intensidad del momento al amor que Violetta le profesa, entiende de repente la situación cuando recibe la nota, pensando que le ha abandonado por Duphol. Al ver sobre la mesa la invitación de Flora cree confirmadas sus sospechas y, pese a las conciliadoras palabras de su padre, decide presentarse en la fiesta para tomar venganza.

### Cuadro II

Una fiesta de disfraces en la mansión de Flora en París. Grupos de gitanas e invitados vestidos de toreros divierten a los presentes, al concluir el bullicio todos se reúnen alrededor de las mesas de juego. Algunos amigos de Flora comentan que Alfredo y Violetta se han separado cuando el propio Alfredo entra fingiendo indiferencia y se sienta a compartir el juego. Llega Violetta cogida del brazo del barón Duphol, el joven, contrariado, dirige veladas acusaciones que provocan la indignación del barón, este acepta el desafío de jugar con Alfredo quién gana todas las apuestas. La tensión va en aumento, cuando un sirviente anuncia que la cena está preparada y el juego se interrumpe. Los invitados abandonan el salón, Violetta se las arregla para quedarse a solas con Alfredo y pedirle que abandone el lugar pues le amenaza un peligro. El joven acepta marcharse siempre y cuando ella le acompañe, pero Violetta se niega y, para mantener su promesa, le miente diciéndole que ama a Duphol. Furioso, Alfredo llama a los invitados y arroja con desprecio a los pies de Violetta el dinero que acaba de ganar en el juego, dando a entender que con ello queda pagada su deuda. Los invitados, escandalizados, recriminan a Alfredo su actitud. En ese momento llega Germont que reprende con dureza a su

hijo despertando sus remordimientos. El barón desafía a Alfredo en duelo.

### ACTO III

Dormitorio de Violetta en su apartamento de París. Su salud está muy deteriorada, solo su fiel Annina cuida de ella. Su amigo el doctor Grenvil, conocedor de su grave situación, la visita para darle ánimo asegurándole que se recuperará pronto, pero en un aparte confía a la sirvienta que se halla en el umbral de la muerte. Cuando el médico se va Violetta pide a Annina que reparta a los pobres la mitad del poco dinero que le queda. Al quedar sola, Violetta relee una carta de Germont en la que cuenta cómo Alfredo hirió a Duphol en el duelo, y tuvo que huir del país por un tiempo. Asimismo, le informa que él mismo reveló a su hijo el sacrificio que ella hizo por amor, y que éste, pronto regresará para pedirle perdón. Violetta comprende con amargura que es demasiado tarde. Annina vuelve apresuradamente para anunciar la inminente llegada de Alfredo. En ese momento entra el joven y los enamorados se funden en un abrazo, la emoción deja paso a un optimismo pasajero donde ambos hacen planes para comenzar una nueva vida juntos. Pero la salud de Violetta empeora y Alfredo manda buscar al médico, que llega acompañado de Germont. El anciano abatido por los remordimientos pide perdón a Violetta, mientras Alfredo, desesperado e indefenso, asiste al inexorable final. Una repentina y milagrosa mejoría permite a Violetta levantarse llena de esperanza y morir en los brazos de su amado.

## b) Traducción del aria final del Acto I

“È strano! è strano! in core

Scolpiti ho quegli accenti!

Sarìa per me sventura un serio amore?

Che risolvi, o turbata anima mia?

Null'uomo ancora t'accendeva

O gioia Ch'io non conobbi,

essere amata amando!

E sdegnarla poss'io

Per l'aride follie del viver mio?

Ah, fors'è lui che l'anima

Solinga ne' tumulti

Godea sovente pingere

De' suoi colori occulti!

Lui che modesto e vigile

“¡Extraño, es muy extraño!

¡Sus palabras han quedado grabadas en mi corazón!

¿Sería por desgracia un amor verdadero?

Turbada alma mía ¿qué respondes?

Ningún hombre te ha inspirado todavía

¡Cuán grande debe ser esa alegría

que nunca he conocido, amar y ser amada amando!

¡Ciega de mí! ¿Y pude despreciarla

por las estériles locuras de mi turbulenta vida?

All'egre soglie ascese,

E nuova febbre accese,

Destandomi all'amor.

¡Ah! Él es tal vez el que el alma

solitaria en medio de la loca multitud

se complacía en pintarme

con sus suaves colores:  
el que modesto y solícito  
llegó a mi morada de enferma,  
A quell'amor ch'è palpito  
Dell'universo intero,  
Misterioso, altero,  
Croce e delizia al cor.

Follie! follie delirio vano è questo!  
Povera donna, sola  
Abbandonata in questo  
Popoloso deserto  
Che appellano Parigi,  
Che spero or più?  
Che far degg'io! Gioire,  
Di voluttà nei vortici perire.

Sempre libera degg'io  
Folleggiar di gioia in gioia,  
Vo' che scorra il viver mio  
Pei sentieri del piacer,  
Nasca il giorno, o il giorno muoia,  
Sempre lieta ne' ritrovi  
A dilette sempre nuovi  
Dee volare il mio pensier..."

despertándome a la nueva fiebre  
del amor,

de ese amor que es espíritu  
y vida del universo,  
amor misterioso, altivo,  
cruz y delicia del corazón".

Locuras!. Esto es un vano delirio.

Pobre mujer sola,  
Abandonada en este  
desierto poblado  
llamado París.

¿Qué puedo esperar todavía?  
¿Qué hacer?. ¡Vivir en los torbellinos de la  
voluptuosidad, y morir de placer!.

Sí, debo, siempre libre  
gozar de fiesta en fiesta.  
Quiero que mi vida pase siempre  
por los caminos del placer.  
Que el día nazca o muera,  
debo vivir siempre en los lugares  
de placer buscando nuevas alegrías  
y dejar volar mi pensamiento..."

### c) Giuseppe Verdi<sup>27</sup>

Uno de los grandes interrogantes que suscita la vida y la carrera de Verdi es, por supuesto, sus orígenes humildes. Las raíces de Verdi se sumergen profundamente en el paisaje rural entre Parma y Piacenza. Bensoussan no puede evitar titular el primer capítulo de su libro «L'enfant de Busseto», situando al lector en dirección no sólo de una ubicación geográfica específica, sino también del contexto social y cultural en que surgió Verdi: una localidad del

---

27 Algunos extractos de texto fueron tomados de: Izzo, F., 2015.

valle del Po situada entre aquellas dos grandes ciudades de la Emilia-Romaña. (Verdi nació, en realidad, en 1813 en Le Roncole, un pequeño pueblo situado a unos cinco kilómetros de Busseto.) Lo cierto es que el tramo inicial de la vida de Verdi se presta como pocos al mito del genio romántico, que triunfa y se eleva a una altura artística estratosférica tras lograr sobreponerse a todas las circunstancias, por así decirlo: una familia con medios (relativamente) modestos, una espineta en su casa familiar en Roncole, un órgano en la iglesia que había justo enfrente, Pietro Baistrocchi –un anciano organista aficionado– como su primer profesor. A partir de ahí, el joven Verdi se benefició de las enseñanzas de Ferdinando Provesi en Busseto, primero de manera formal, en la escuela de música de Provesi, y luego de manera privada hasta 1832. Finalmente, se trasladó a Milán, donde se le denegó el ingreso en el Conservatorio, por lo que acabó estudiando privadamente con Vincenzo Lavigna, logrando un muy merecido debut en La Scala en 1839.

Pero en pleno movimiento político conocido como el *Risorgimento* en Italia, Verdi compuso *Nabucco* (1842), cuyo argumento es el cautiverio de los israelitas en Babilonia. La popularidad de Verdi tiene mucho que ver con su supuesto papel como «Bardo del Risorgimento»: el artista que, más que ningún otro, prestó voz a una lucha para lograr la independencia y la unificación italianas. La implicación de Verdi en el Risorgimento constituye, de hecho, uno de los pilares de la biografía y la recepción crítica de Verdi. Una útil visión de conjunto de los estudios más recientes sobre este tema, así como un examen detallado de las motivaciones políticas y el grado de participación del compositor (más que la relevancia o la recepción política de sus obras) se encuentra en el extenso prólogo escrito por Philip Gossett (pp. 7-49) para la *Storia musicale del Risorgimento*, de Giovanni Gavazzeni, Armando Torno y Carlo Vitali.

Los temas de Verdi eran literarios o históricos y por ello algunas veces polémicos. Musicalmente, en sus obras generalmente el recitativo tenía acompañamiento orquestal, con escenas del bel canto, grandes coros, cambios constantes de escena y finales expansivos. Los héroes y heroínas eran de tesitura alta, los atormentados de tesitura media y los villanos eran contraltos o bajos. Verdi insistía en la perfecta dicción, para crear un realismo de la pronunciación y como buen italiano, la voz y la forma eran muy importantes. Hizo obras sombrías como *Macbeth* (1847-1865) y *Simon Boccanegra* (1857y1881), otras más próximas a la grand ópera parisiense y a Meyerbeer como *I Vespri siciliani* (1855), *La forza del destino*

(1862,1869) y *Don Carlos* (1867 en italiano en 1884), también *Aida* (1871) que fue compuesta para el Cairo, pero se sitúa en Egipto casi con tema mitológico. Basado en el tema de libertad de Schiller, hizo *I Masnadieri* (1847), *Luisa Millar* (1849), *Giovanna d'Arco* (1854) y *Don Carlos* (1867).

Con el drama moderno de Victor Hugo compuso *Hernán* (1844) y *Rigoletto* (1851). Óperas históricas como *Il Trovatore* (1853) y *Simon Boccanegra*. Compuso la *Traviata* en 1853. Hizo una ópera al estilo rococó: *Un ballo in maschera* en 1859.

Al morir Verdi en 1901, fue aclamado y sus obras llegan a la cúspide en el arte operístico italiano desde Rossini, en un estilo combinado de verosimilitud con brillantez vocal.

Lo cierto es que Verdi ha cumplido doscientos años. Sus óperas, sobre el problemático telón de fondo de la crisis actual de las instituciones operísticas, parecen mostrar la misma vitalidad de siempre y siguen ocupando un porcentaje considerable del repertorio; aunque sus obras se interpretaron profusamente (quizás en mayor medida de lo habitual) en 2013, han estado enormemente presentes en 2014 y aparecen de forma destacada en los programas de las temporadas de los teatros de ópera de todo el mundo en este 2015 y así seguirá sucediendo –esperemos– en años venideros. Nuestra manera de pensar en esas óperas (y también en su producción no operística, por supuesto) no para de cambiar, ya que autores y lectores no dejan de plantear nuevas cuestiones y descubrir nuevas zonas de sombra, a la vez que se dan nuevas respuestas a preguntas que vienen de antiguo. Lo mismo podría predicarse de las raíces de su arte, la recepción de sus obras y, por supuesto, su vida.

## Anexo B. Discografía utilizada en el trabajo de investigación

### a) Sopranos

1. **Renata Tebaldi** (*Italia, 1922-2004*) Soprano italiana famosa por sus interpretaciones de las óperas de Giuseppe Verdi y Giacomo Puccini. Renata Tebaldi nació en Pesaro el 1 de febrero de 1922. Entre 1940 y 1944 estudió en el Conservatorio Arrigo Boito de Parma, y debutó a continuación con la ópera **Mefistófeles** de este autor. En 1946 fue invitada por el director de orquesta Arturo Toscanini para cantar en el teatro de La Scala de Milán, interpretación que le valió numerosos contratos de este teatro y giras con su compañía por diferentes países. Entre 1955 y 1973 cantó en la Ópera Metropolitana de Nueva York y sus actuaciones en el papel de **Desdémona** en la ópera **Otelo** de Verdi y de **Mimí** en **La Bohème** de Giacomo Puccini fueron especialmente aplaudidas. Tebaldi ha actuado en los principales teatros de ópera del mundo y ha realizado numerosas grabaciones. (El Poder de la Palabra. epdlp.com 1998-2013, Visto: 31 de julio de 2013)

2. **Joan Sutherland** (*Australia, 1926-2010*) Soprano australiana nacida en Sydney. Estudió en el Royal College of Music de Londres y profesionalmente en 1952 en el Covent Garden de esta ciudad. En 1959 se especializó en papeles de coloratura de la ópera italiana de los siglos XVIII y XIX, especialmente en las obras de Vincenzo Bellini y Gaetano Donizetti. Se presentó en Nueva York en 1961 con la obra **Beatrice di Tenda** de Bellini. Además de ser una virtuosa en coloratura, su voz tuvo un cálido matiz en el tono basado en una técnica magistral. En 1979 fue nombrada Dame Commander de la Orden del Imperio Británico y en 1990 abandonó su actividad profesional como soprano. (El Poder de la Palabra. epdlp.com 1998-2013, Visto: 31 de julio de 2013)

3. **Montserrat Caballé** (*España, 1933*) Soprano española de fama internacional, conocida por su gran técnica vocal y la ductilidad de su voz, así como por sus interpretaciones de Gaetano Donizetti y Giuseppe Verdi. Nació en Barcelona y estudió en el Liceo de su ciudad natal durante doce años con Eugenia Kenny, Napoleone Annovazi y Conchita Baddia. Ganó la medalla de oro de dicho centro en 1954. Construyó su carrera despacio pero con cimientos sólidos. Tras unirse a la Basle Opera en 1956, el abandono de una de las cantantes hizo que interpretara el papel de **Mimi** en **La Bohème**, de Puccini con lo que obtuvo gran éxito. Se hizo con un amplio repertorio: **Pamina** (en **La flauta mágica** de Mozart), **Tosca** de Puccini y **Aida** de Verdi, entre otras. En 1959 comenzó a trabajar como primera cantante en la ópera de Bremen, donde interpretó por primera vez los papeles de **Violetta** (en **La Traviata** de Verdi) y **Tatiana** (en **Eugene Onegin** de Tchaikovsky). Más tarde debutó en La Scala



como muchacha-flor en **Parsifal** de Wagner. Su fama ya era importante cuando debutó en México, D.F. en 1964, el mismo año en que contrajo matrimonio con el tenor Bernabé Martín. En 1965 le ofrecieron, en el Carnegie Hall de Nueva York, sustituir a Marilyn Horne en la ópera de Donizetti **Lucrezia Borgia**. Desde entonces han sido varias las obras de Donizetti que han visto de nuevo la luz para ser interpretadas por ella; lo mismo ha pasado con varias obras poco conocidas de Verdi. Es una de las grandes sopranos de Verdi y Donizetti. Caballé es una cantante más majestuosa que espectacular; consigue este efecto ante el público a través de su voz y su presencia. Gracias a la calidad de su voz puede interpretar tanto los papeles más dramáticos como los más románticos. El dúo con la estrella del pop Freddie Mercury en la canción "Barcelona" consiguió que su arte llegase a un nuevo público. **Galardones: Nacional de Música (1988) y Príncipe de Asturias (1991)**. (El Poder de la Palabra. epdlp.com 1998-2013, Visto: 31 de julio de 2013, y <http://www.montserratcaballe.net/> Visto: 01 de agosto de 2013)

**4. Cheryl Studer**, (EEUU, 1955) Soprano estadounidense de destacada actuación en la década 1985-1995, de inusual versatilidad en repertorio italiano, francés y alemán sobresalió como soprano lírico-dramática. Su primer gran papel fue **Violetta** en **La Traviata** como artista invitada del Teatro Estatal de Braunschweig en la primavera de 1983. Debutó en los Estados Unidos con el rol de **Micaela (Carmen)** en 1984 con la Ópera Lírica de Chicago y obtuvo renombre internacional con su interpretación de **Elisabeth** en **Tannhäuser** en el Festival de Bayreuth de 1985 con la dirección de Giuseppe Sinopoli, papel que alternó en años sucesivos con el de Elsa en Lohengrin en la producción de Werner Herzog. En 1998 cantó allí **Senta** de **El holandés errante** y en 2000 como **Sieglinde** de **Die Walküre**. *En el Metropolitan Opera debutó en 1988 como Micaela de Carmen*, regresó en 1990 como *Donna Anna* para **Don Giovanni** con Thomas Hampson y Elettra de Idomeneo con Anthony Rolfe-Johnson. Además de *La Traviata* en 1991 regresó para sus últimas actuaciones como la *Mariscala* en **El caballero de la rosa** de Richard Strauss luego de nueve años en la temporada 2000. (<http://www.cherylstuder.com/> Visto: 01 de agosto de 2013 y Bach Cantatas Website <http://www.bach-cantatas.com/Bio/Studer-Cheryl.htm> Visto: 01 de agosto de 2013)

**5. Anna Netrebko** (*Rusia, 1971*) Soprano rusa- austriaca nacida en Krasnodar. Debutó en el teatro Mariinsky de San Petersburgo, guiada por el director de orquesta Valery Gergiev en **Las bodas de Fígaro**. Siguió cantando papeles destacados con la Ópera Kirov, incluyendo **Amina** en **La sonnambula**, **Pamina** en **La flauta mágica**, **Rosina** en **El barbero de Sevilla**, y **Lucía** en **Lucia di Lammermoor**. Con sólo 24 años debutó en Estados Unidos, en la Opera de San Francisco, en el papel de **Ludmila** de la ópera **Ruslan y Luzmila** de Mihail Glinka. Es conocida como una aclamada

intérprete de papeles operísticos rusos, teniendo además exitosas incursiones en el repertorio belcantista y romántico. Su voz es notable por tener tanto la suavidad y flexibilidad de una soprano lírica y la resonancia y oscuro timbre de una soprano lírica spinto. Tiene una amplia tesitura, siendo capaz de alcanzar el Mi bemol alto de soprano e incluso alguna nota más aguda. Es conocida por su suntuosa voz, su buena técnica musical y su belleza física. En el año 2006 se nacionalizó austriaca. (El Poder de la Palabra. epdlp.com 1998-2013, Visto: 31 de julio de 2013)

## b) Grabaciones

Soprano	Año de grabación	Año de digitalización	Sello discográfico	Título del disco	Director	Tenor co-protagonista
Renata Tebaldi	1954	2003	Deutsche Grammophon Cód: 430 250-2	La Traviata	Francesco Molinari-Pradelli	Gianni Poggi
Joan Sutherland	1979	1991	Decca Cód: 430 491-2	La Traviata	Richard Bonyngue	Luciano Pavarotti
Montserrat Caballé	1967	2005	RCA Victor Cód: 286 180-2	La Traviata	Georges Prêtre	Carlo Bergonzi
Cheryl Studer	1991	1992	Deutsche Grammophon Cód: 435 797-2	La Traviata	James Levine	Luciano Pavarotti
Anna Netrebko	2005		Deutsche Grammophon Cód: 477 5936	La Traviata	Carlo Rizzi	Rolando Villazón

## Anexo C. Documentación de la prueba perceptual

### 1. CUESTIONARIO PARA APLICACIÓN DE PRUEBA PERCEPTUAL

Nombre \_\_\_\_\_

#### ANTES

1. Género: M F

2. Edad: 20-29 30-39 40-49 50-59 60-69 70-79

3. Estudios profesionales de Canto: Si No Maestro o alumno:

4. Conocimientos Musicales relacionados al Canto clásico: Si No

5. Familiaridad con el género musical Ópera:

Experto Asiduo asistente Aficionado Escucha Escucha casual Ninguna

TIEMPO Hr. inicio \_\_\_\_\_ Hr. Fin \_\_\_\_\_ Total \_\_\_ min.

#### DESPUÉS

1. Manejo de la computadora: Fácil Difícil

2. Comprensión de la interfaz: Fácil Difícil

3. Nivel de dificultad de la prueba: Fácil Difícil

4. Nivel de volumen: Deficiente Adecuado Exagerado

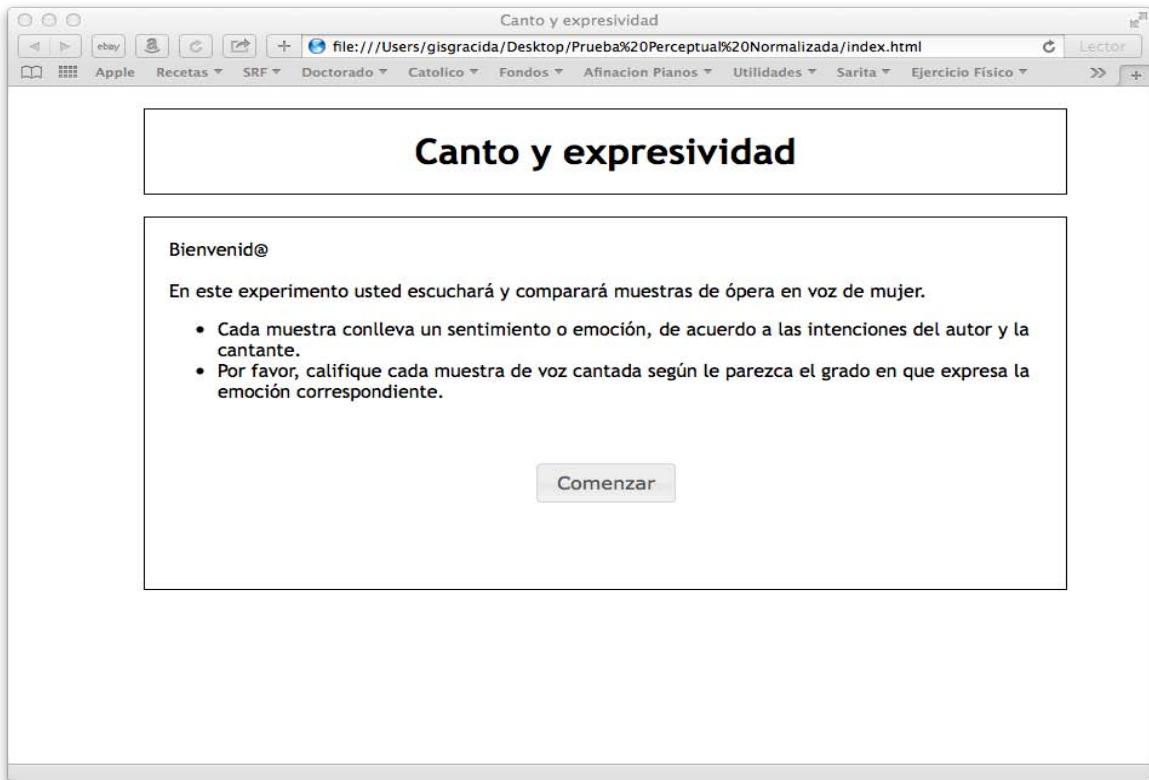
5. Concordancia de las emociones indicadas en la prueba con las emociones expresadas por las cantantes:

Ninguna Poca Regular Mucha Total

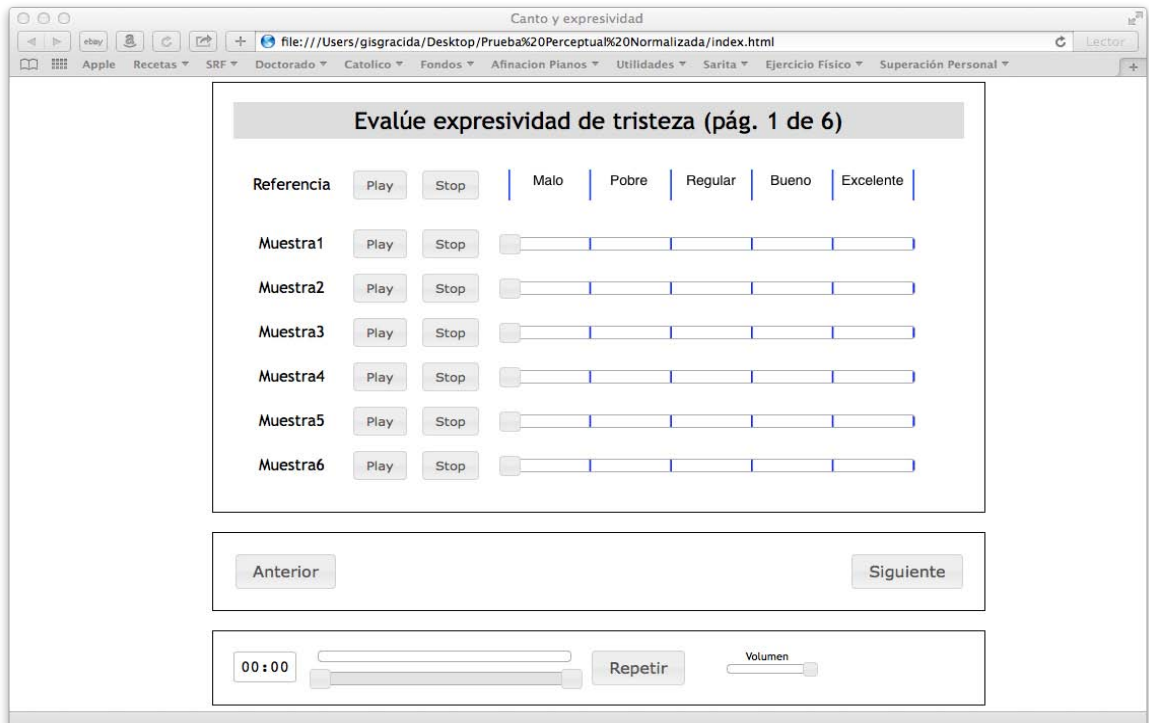
6. Comentarios adicionales:

## 2. CAPTURAS DE PANTALLA DE LA PRUEBA PERCEPTUAL

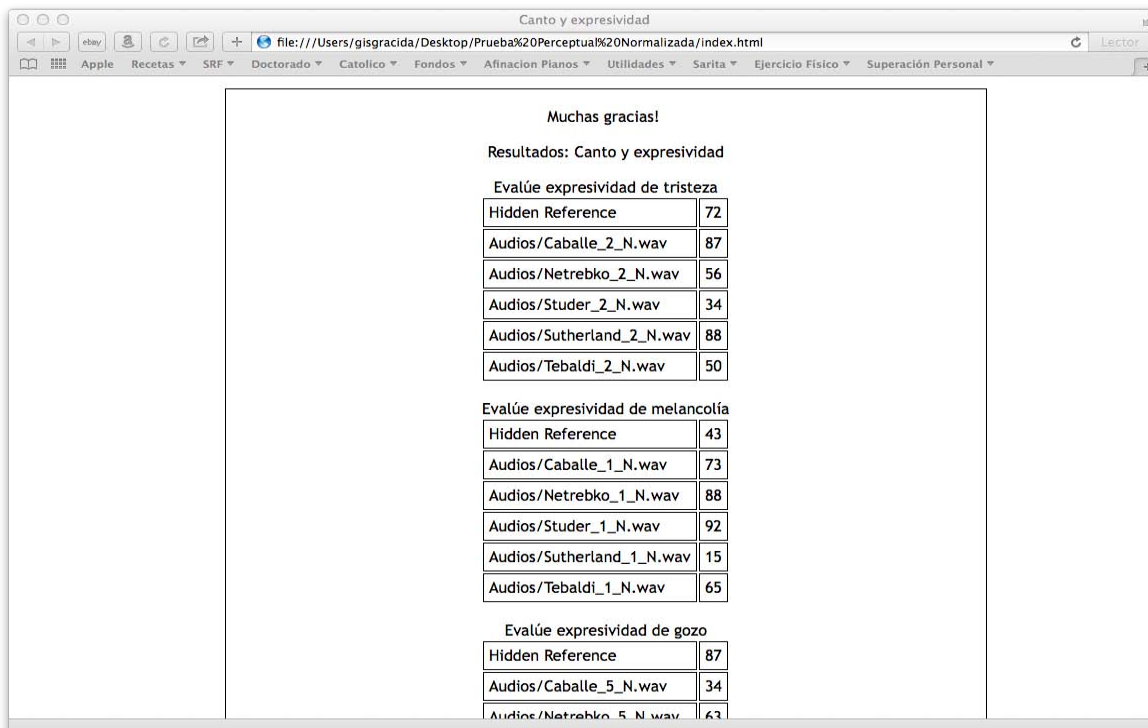
Pantalla inicial:



Pantalla de calificaciones:



Pantalla de resultados:



Muchas gracias!

Resultados: Canto y expresividad

Evalúe expresividad de tristeza

Hidden Reference	72
Audios/Caballe_2_N.wav	87
Audios/Netrebko_2_N.wav	56
Audios/Studer_2_N.wav	34
Audios/Sutherland_2_N.wav	88
Audios/Tebaldi_2_N.wav	50

Evalúe expresividad de melancolía

Hidden Reference	43
Audios/Caballe_1_N.wav	73
Audios/Netrebko_1_N.wav	88
Audios/Studer_1_N.wav	92
Audios/Sutherland_1_N.wav	15
Audios/Tebaldi_1_N.wav	65

Evalúe expresividad de gozo

Hidden Reference	87
Audios/Caballe_5_N.wav	34
Audios/Netrebko_5_N.wav	63

### 3. LUGARES DE APLICACIÓN DE LA PRUEBA PERCEPTUAL

- Un aula del Centro Cultural Regional de Texcoco, Edo. de México (CCRT)
- Un aula de la Escuela de Bellas Artes de Texcoco, Edo. de México (EBAT)
- Un aula de la Facultad de Música, D.F. (ENM-A)
- La Biblioteca Cuicamatini de la Facultad de Música, D.F. (ENM-B)
- El Laboratorio de Investigación Musical y Música Electroacústica de la Facultad de Música, D.F. (LIMME)
- La Cámara de Transmisiones del Laboratorio de Acústica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM, D.F. (CCADET)

---

## Anexo D. Script

---

Script desarrollado en PRAAT por Gisela Gracida Olvera.

Última revisión: 03 de noviembre de 2014

Plataforma de cómputo:

PRAAT versión 5.2.19

Sistema operativo OS X versión 10.10 "Yosemite"

MacBookPro 8.1, procesador Intel Core i5, Apple.

```
####Description of this script
## Este script hace un análisis acústico.
## Los resultados se escriben en un archivo llamado "results-analysis.txt".
## Se necesitan los archivos de sonido con extensión "wav".
####End of description

## Especificación del directorio de archivos a analizar:
directory$ = "Users/gisgracida/Desktop/Metodos/Metodo Yo/Originales"

## Variable de tipo string que contiene los encabezados y creación del archivo de texto:
header_row$ = "Archivo,Sílaba,Dur-ms,F0-Hz,SDF0,C/SF0,ErrF0,ViF0,VfF0,Vibr,SDV,C/SV,ErrV,ViV,VfV,Int-
dB,SDI,C/SI,ErrI,ViI,VfI,Nota" + newline$
header_row$ > results-analysis.txt

## Conteo de los archivos a analizar, en una lista:
Create Strings as file list... list *.wav
number_files = Get number of strings

for j from 1 to number_files
  select Strings list
  current_token$ = Get string... 'j'
  Read from file... 'current_token$'

  # Selección del archivo de audio:
  object_name$ = selected$ ("Sound")

  # Se re-selecciona el objeto de audio para Intensity analysis:
  select Sound 'object_name$'
  To Intensity... 100 0 yes

  # Se re-selecciona el objeto de audio para F0 (pitch analysis):
  select Sound 'object_name$'
  To Pitch... 0.05 75 2000

  # Ahora se hace el correspondiente text grid, se etiqueta y se guarda:
  select Sound 'object_name$'
  To TextGrid... "Intervalo"
  select TextGrid 'object_name$'
  Edit
  t_inicial = Get starting point... 1 1
  t_final = Get end point... 1 1
```

```

intervalo = 0.50
num_intervalos = t_final/intervalo
for i to 'num_intervalos'
  Insert boundary... 1 intervalo*i
  Set interval text... 1 i 'i'
endfor
Save as text file... 'object_name$'.TextGrid

# Se cuentan los intervalos en el tier 1, y se guarda ese número
# en la variable "number_of_intervals". Las etiquetas deben ser non-null.
select TextGrid 'object_name$'
number_of_intervals = Get number of intervals... 1
for b from 1 to number_of_intervals
  select TextGrid 'object_name$'
  interval_label$ = Get label of interval... 1 'b'
  if interval_label$ <> ""
    begin_vowel = Get starting point... 1 'b'
    end_vowel = Get end point... 1 'b'
    duration = (end_vowel - begin_vowel) * 1000
    select Pitch 'object_name$'
    startTime = begin_vowel
    endTime = end_vowel
    stepsFo = (endTime - startTime) / 0.05

    totalStepsFo = 0
    for s to stepsFo
      t = startTime + (s - 1) * 0.05
      point = Get value at time... t Hertz Linear
      if point = undefined
        point = 0
      else
        totalStepsFo = totalStepsFo + 1
        valorFo [totalStepsFo] = point
        tempFo [totalStepsFo] = t
      endif
    endfor
    promFo = Get mean... begin_vowel end_vowel Hertz
    frequency = promFo
    call notaMusical frequency

    #Desviación estándar:
    dif = 0
    sumDif = 0
    for i from 1 to totalStepsFo
      dif = (valorFo [i] - promFo)^2
      sumDif = sumDif + dif
    endfor
    dsFo = sqrt(sumDif / totalStepsFo)

    #Cálculo de mínimos cuadrados:
    #(si se encontraron valores de frec)
    if totalStepsFo = 0
      promFo = 0
      pendFo = 0
      ordFo = 0
      viniFo = 0
    endif
  endif
endfor

```

```

vfinFo = 0
else
sumX = 0
sumY = 0
promX = 0
promY = 0
for i from 1 to totalStepsFo
    x = tempFo [i]
    sumX = sumX + x
    y = valorFo [i]
    sumY = sumY + y
endfor
promX = sumX / totalStepsFo
promY = sumY / totalStepsFo
diVendo = 0
diVsor = 0
sumdiVendo = 0
sumdiVsor = 0
for i from 1 to totalStepsFo
    diVendo = (tempFo [i] - promX) * (valorFo [i] - promY)
    sumdiVendo = sumdiVendo + diVendo
    diVsor = (tempFo [i] - promX)^2
    sumdiVsor = sumdiVsor + diVsor
endfor
pendFo = sumdiVendo / sumdiVsor
ordFo = promY - (pendFo * promX)
viniFo = (pendFo * tempFo [1]) + ordFo
vfinFo = (pendFo * tempFo [totalStepsFo]) + ordFo
endif

```

```

#Incertidumbre del valor de la pendiente: (err)
sumDelta = 0
for i from 1 to totalStepsFo
    delta = valorFo [i] - ((pendFo * tempFo [i]) + ordFo)
    sumDelta = sumDelta + delta
endfor
syFo = sqrt(sumDelta^2 / (totalStepsFo - 2))

```

```

#Para cálculos del vibrato:
select Pitch 'object_name$'
To Matrix
#Se toma como una señal nueva de audio:
To Sound (slice)... 1
#Se reaplica el análisis de F0:
To Pitch... 0.05 3.0 12.0
numberOfTimeSteps = (end_vowel - begin_vowel) / 0.05
sumPoints = 0
numberOfSteps = 0
#Desde donde empieza hasta donde termina la vocal,
#se calcula el ritmo de vibrato:
for step from 1 to numberOfTimeSteps
    t = begin_vowel + (step - 1) * 0.05
    point = Get value at time... t Hertz Linear
    if point = undefined
        point = 0
    else

```



```

        numberOfSteps = numberOfSteps + 1
        vrate [numberOfSteps] = point
        tiempoVr [numberOfSteps] = t
        sumPoints = sumPoints + point
    endif
endfor

#Medida de ritmo de vibrato, en promedio:
promVr = sumPoints / numberOfSteps

#Desviación estándar:
difV = 0
sumDifV = 0
for i from 1 to numberOfSteps
    difV = (vrate [numberOfSteps] - promVr)^2
    sumDifV = sumDifV + difV
endifor
dsVr = sqrt(sumDifV / numberOfSteps)
. (cálculos de desv. estándar y mínimos cuadrados para el vibrato)
.
.
Remove
select Matrix 'object_name$'
plus Sound 'object_name$'
Remove

#Para los cálculos de intensidad:
select Intensity 'object_name$'
startTime = begin_vowel
endTime = end_vowel
steps = (endTime - startTime) / 0.05

totalSteps = 0
sumPointsI = 0
for s to steps
    t = startTime + (s - 1) * 0.05
    point = Get value at time... t Linear
    if point = undefined
        point = 0
    else
        totalSteps = totalSteps + 1
        intens [totalSteps] = point
        tiemp [totalSteps] = t
        sumPointsI = sumPointsI + point
    endif
endifor

#Medida de intensidad, en promedio:
promI = sumPointsI / totalSteps
. (cálculos de Desviación estándar y mínimos cuadrados para la intensidad)
.
.
## Registro de resultados en el archivo de texto:
fileappend "results-analysis.txt" 'object_name$','interval_label$','duration',
... 'promFo','dsFo','pendFo','syFo','viniFo','vfinFo',
... 'promVr','dsVr','pendVr','errVr','viniVr','vfinVr',

```

```
... 'promY', 'dsI', 'pend', 'errI', 'vIni', 'vFin', 'tono$' newline$'
endif
endfor

# Se han analizado todos los intervalos y se anotaron los resultados en el archivo de texto.
# Se analizan los siguientes archivos, si los hay, en el directorio.
# Después se quitan los objetos creados para el análisis acústico:
select all
minus Strings list
Remove
endfor

# Se borra la lista de archivos y se envía un mensaje de terminación del análisis:
select all
Remove
clearinfo
print Todos los archivos han sido analizados correctamente.
```

## Índice de Figuras

Fig. 1. Tensión variable de las cuerdas vocales.....	25
Fig. 2. Tracto vocal, impulsos sonoros y frecuencias formantes.....	26
Fig. 3. Articuladores que controlan las primeras formantes.....	27
Fig. 4. Frecuencia fundamental y armónicos.....	28
Fig. 5. Longitud y amplitud de una onda sonora.....	29
Fig. 6. Representación esquemática de la extensión y ritmo de vibrato.....	30
Fig. 7. Ejemplo de "modo" Calmado.....	39
Fig. 8. Ejemplo de "modo" Virtuoso.....	39
Fig. 9. Partitura del performance, de Rapoport.....	41
Fig. 10. Determinación del vibrato, por Timmers.....	44
Fig. 11: Curva de la frecuencia fundamental F0 en PRAAT.....	53
Fig. 12: Curva de intensidad en PRAAT.....	53
Fig. 13: Curva de vibrato en PRAAT.....	54
Fig. 14: Curva espectrográfica de frecuencia fundamental F0 (azul) y ajuste a una línea recta (amarillo) con pendiente m, ordenada al origen b, valor inicial F0=A al tiempo x1 y valor final F0=B al tiempo x2.....	55
Fig. 15. Frase 1.....	65
Fig. 16. Frase 2.....	65
Fig. 17. Frase 3.....	66
Fig. 18. Frase 4.....	67
Fig. 19. Frase 5.....	68
Fig. 20. Frase 6.....	69
Fig. 21: Etiquetado en intervalos de 500 ms.....	70
Fig. 22. Mínima diferencia perceptible de intensidad (MDPi).....	83
Fig. 23. Simulador acústico de cabeza y torso (HATS).....	84
Fig. 24 Orejas artificiales con canal auditivo cónico.....	85

## Índice de Tablas

Tabla 1. Notación de Rapoport. ....	40
Tabla 2. Comparativa de características metodológicas del análisis acústico.....	49
Tabla 3. Frases cantadas seleccionadas y su contenido emocional.....	63
Tabla 4: Cantantes y grabaciones seleccionadas.....	69
Tabla 5. Variación absoluta de la frecuencia fundamental F0 en el tiempo, en Hz/s.....	72
Tabla 6. Variación con signo de la frecuencia fundamental F0 en el tiempo, en Hz/s.....	73
Tabla 7: Variación absoluta de la intensidad en el tiempo, en dB/s.....	74
Tabla 8: Variación con signo de la intensidad en el tiempo, en dB/s.....	75
Tabla 9: Ritmo de vibrato en Hz.....	76
Tabla 10: Variación absoluta del ritmo de vibrato en el tiempo, en Hz/s.....	77
Tabla 11: Variación con signo del ritmo de vibrato en el tiempo, en Hz/s.....	78
Tabla 12. Extensión de vibrato en cents.....	79
Tabla 13. Resultados de audiometrías.....	81
Tabla 14. Valores RMS de la Intensidad de las frases cantadas.....	82
Tabla 15. Intensidad de audio de las frases cantadas para reproducción en audífonos.....	86
Tabla 16. Total de oyentes en lugares de aplicación de la prueba perceptual.....	87
Tabla 17. Nivel de ruido de fondo en las pruebas perceptuales.....	87
Tabla 18: Niveles indicativos de inteligibilidad en función de la relación señal-ruido.....	88
Tabla 19: Frases cantadas a calificar en las pruebas perceptuales.....	89
Tabla 20: Uso de la escala de calificación por grupo de prueba.....	90
Tabla 21: Expresividad total percibida.....	91
Tabla 22: Expresividad percibida por el grupo "Expertos".....	92
Tabla 23. Análisis de componentes principales.....	95
Tabla 24. Primera componente principal por cantante.....	96
Tabla 25. Primera componente principal por frase cantada.....	97
Tabla 26. Resumen de resultados de la expresividad percibida.....	98
Tabla 27. Resumen de resultados de la expresividad percibida por el grupo "Expertos".....	98
Tabla 28. Coeficientes de correlación entre el nivel de intensidad de audio y la expresividad percibida. .....	99
Tabla 29. Coeficientes de correlación entre los resultados de las pruebas perceptuales y los resultados del análisis acústico. ....	100

Tabla 30. Caracterización acústico-perceptual de las frases con mayor expresividad percibida.....106

Tabla 31. Caracterización acústico-perceptual de las frases con menor expresividad percibida.....107

## Índice de Gráficas

Gráfica 1. Variación absoluta de la frecuencia fundamental F0 en el tiempo.....73

Gráfica 2: Variación con signo de la frecuencia fundamental F0 en el tiempo.....74

Gráfica 3: Variación absoluta de la intensidad en el tiempo.....75

Gráfica 4: Variación con signo de la intensidad en el tiempo.....76

Gráfica 5: Ritmo de vibrato.....77

Gráfica 6: Variación absoluta del ritmo de vibrato en el tiempo.....78

Gráfica 7: Variación con signo del ritmo de vibrato en el tiempo.....79

Gráfica 8. Extensión de vibrato.....80

Gráfica 9: Expresividad total percibida.....91

Gráfica 10: Expresividad percibida por el grupo "Expertos".....92

Gráfica 11. Correlación entre la variación absoluta de la frecuencia fundamental en el tiempo y la expresividad percibida por el grupo "Expertos".....101

Gráfica 12. Correlación entre la variación absoluta de la intensidad en el tiempo y la expresividad percibida por el grupo "Expertos".....102

Gráfica 13. Correlación entre el ritmo de vibrato y la expresividad percibida por el grupo "Expertos".  
.....103

Gráfica 14. Correlación entre la variación absoluta del ritmo de vibrato en el tiempo y la expresividad percibida por el grupo "Expertos".....104

Gráfica 15. Correlación entre la extensión de vibrato y la expresividad percibida por el grupo "Expertos".....105