

Universidad Nacional Autónoma de México

Posgrado en Diseño Industrial

Maestría en Diseño Industrial



**La relación entre el músico y la boquilla
del instrumento de metal:**

Análisis objeto-usuario a través del Diseño

Tesis que para obtener el grado de Maestro en
Diseño Industrial presenta:

Carlos Alberto Vázquez Jiménez

2012





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.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Universidad Nacional Autónoma de México
Posgrado en Diseño Industrial
Maestría en Diseño Industrial

**La relación entre el músico y la boquilla
del instrumento de metal:**
Análisis objeto-usuario a través del Diseño

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Diseño Industrial
presenta:

Carlos Alberto Vázquez Jiménez



2012

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Hamlet Betancourt León.

SINODALES:

MDI. Cecilia Flores Sánchez.

Lic. Arnoldo Armenta Durán.

Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

MDI. Alejandro Rodea Chávez.

Ciudad Universitaria México D.F.

DEDICATORIAS:

Dedico este trabajo de tesis a toda mi familia en especial a mi papá Erasto, mi mamá Aurora, y a mis hermanas Karen y Patricia. Sin su apoyo y cariño este trabajo no hubiera tenido un sentido especial para mí para la música y el diseño.

A mi tía Honorina, a mis primos Tania y Eduardo, pues para ser diseñador hay que tener alma de niño, y una imaginación sin fronteras.

Dedico estas palabras a mis queridos abuelos: Adela, Salomón, Enrique y Emilia.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES:

A Dios por sus grandes bendiciones durante el transcurso de la maestría.

Al Posgrado en Diseño Industrial por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta tesis y por la oportunidad brindada para conocer otros ámbitos del diseño alrededor del mundo.

A mi tío Abel y mi primo Eleazar por su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Alejandro Ramírez Reivich por permitirme participar en el proyecto del Bicentenario y por sus consejos durante la realización de esta tesis.

A los músicos y estudiantes que participaron en estudio de campo. Sin su apoyo difícilmente se hubiese desarrollado esta tesis.

Al maestro Arnoldo Duran por sus comentarios y consejos durante el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros y amigos del Posgrado en Diseño Industrial; Lucía, Coral, Gaby, Paulina, Nashely, Mauricio, Tony, Iván, David, John Alexander, Eduardo y Ramsés por su compañía y opiniones.

A Ozkar, Premo, Sam, Patito, Eduardo, Iván y Lucero por los buenos momentos y por su apoyo.

Un agradecimiento especial a la UNAM y al CONACYT por el apoyo brindado para la realización de la maestría a través de la beca.

ÍNDICE

Palabras clave y definiciones musicales	8
Árbol Problemático de la Tesis de Maestría.....	9
INTRODUCCIÓN	10

CAPÍTULO I

LAS ACTIVIDADES DE LA MÚSICA VISTAS

A TRAVÉS DE LA ERGONOMÍA Y EL DISEÑO..... 12

1.1 La música y los instrumentos de metal..... 13

1.1.1 Características de los instrumentos de metal..... 13

1.1.1a La trompeta..... 13

1.1.1b El trombón..... 14

1.1.1c La tuba..... 14

1.2 Conceptos de la Ergonomía..... 15

1.2.1 El Usuario-Entorno-Objeto-Actividad (UEOA)..... 16

1.2.2 La Usabilidad en los productos..... 18

1.3 Vínculos entre los conceptos de la Ergonomía y la Música 18

1.3.1 Arnold Jacobs. Profesional de la música y estudioso de la anatomía humana..... 19

1.3.2 Los factores del músico, el instrumento, el entorno y su relación con el auditorio. Matthias Bertsch..... 20

1.3.3 La relación músico-instrumento como un sistema acústico complejo..... 22

1.4 Establecimiento del sistema Músico-Boquilla-Instrumento..... 25

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

MÚSICO-BOQUILLA-INSTRUMENTO 28

2.1 Primer elemento del sistema: El músico y sus factores..... 28

2.1.1 Los músculos de los labios y la boca del músico..... 28

2.1.2 Análisis del movimiento de los labios a través del modelado matemático..... 31

2.1.3 La importancia del sistema respiratorio en el músico..... 33

2.1.4 La forma de la embocadura en los labios del músico..... 39

2.1.5 La conceptualización y la identificación de sonidos musicales..... 41

2.2 Segundo elemento del sistema: La boquilla 44

2.2.1 Orígenes de la boquilla y su evolución..... 44

2.2.2 Partes de la boquilla del instrumento de metal..... 47

2.2.3 Algunas propuestas de métodos descriptivos para boquillas..... 48

2.2.4 Descripción física de la acústica de la boquilla..... 50

2.2.5 Análisis de la boquilla a través de la simulación en computadora..... 50

2.2.6 Análisis de los diseños actuales de la boquilla para el instrumento de metal.

“Un elemento de interfaz crítico.”..... 52

2.3 Tercer elemento del sistema: El instrumento de metal..... 64

2.3.1 Descripción física de la acústica del instrumento de metal..... 64

2.3.2 El sonido del instrumento de metal a través de la simulación por computadora.....	66
2.3.3 Análisis del instrumento de metal durante la ejecución.....	67
2.3.4 La apreciaciones acústicas del músico hacia el instrumento de metal.....	70
2.4 Relación de conceptos entre los elementos del sistema	72
2.4.1 Observaciones en los elementos del sistema.....	72
2.4.2 Los límites del estudio de campo.....	74
2.4.3 Condiciones en la relación del músico y el instrumento de metal.....	75
2.4.4 Planteamientos sobre la relación del músico y la boquilla.	77
2.5 La Usabilidad en la relación del músico con la boquilla del instrumento de metal.....	79
2.6 Configuración de los factores de la boquilla para el caso de estudio.....	85

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO CAMPO88

3.1 Las muestras de población de los músicos participantes	89
3.2 Parámetros e índices de evaluación en el estudio de campo.....	91
3.2.1 Parámetros e índices en el primer elemento: el músico.....	91
3.2.1a Índice de área entre los labios del músico y el aro de la boquilla.....	91
3.2.1b Parámetros de capacidad pulmonar en el músico.	92
3.2.2 Factores constantes y cambios en el segundo elemento: la boquilla.....	94
3.2.2a Factores y condiciones para la simulación del flujo del aire en la boquilla a través del método por elemento finito.....	96
3.3 Recopilación de información a través de encuestas y entrevistas.....	97
3.3.1 La encuesta del estudio piloto.	97
3.3.2 La encuesta del estudio comparativo de boquillas.	98

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 107

4.1 Resultados del estudio piloto.	107
4.1.1 La técnica de respiración y uso de la boquilla.....	107
4.1.2 Preferencias del músico hacia la boquilla.....	109
4.1.3 Percepciones generales sobre la ejecución del instrumento.	110
4.1.4 Las pruebas espirométricas del estudio piloto.....	112
4.2 Configuración final de los prototipos.	114
4.3 Simulación del flujo del aire en el interior de los prototipos por el método de elemento finito.....	121
4.4 La evaluación comparativa de los prototipos de boquillas	127
4.4.1 Particularidades físicas de los participantes: La boca y el acoplamiento con la boquilla.	128
4.4.2 Evaluación comparativa del contacto entre los labios y el aro de la boquilla.....	133
4.4.3 Características físicas entre los músicos participantes: Capacidades respiratorias y ejecución de sonidos.	135
4.4.4 Evaluación comparativa de las parámetros musicales de los prototipos.	140
4.5 Discusión de los resultados y planteamientos	145
4.5.1 La técnica de ejecución del músico del instrumento de metal.....	145
4.5.2 Los contextos de la técnica de ejecución en la simulación.....	149
4.5.3 Nuevos contextos en la relación del músico, la boquilla y el instrumento de metal.	150

4.5.4 Redefinición del modelo de Usabilidad de la relación del músico con el instrumento de metal.....	152
4.5.5 Las partes críticas de la boquilla del instrumento de metal.....	154
4.5.6 Propuesta metodológica orientada al diseño de la boquilla.....	157
CONCLUSIONES	160
ANEXO I	165
Carta consentimiento encuesta piloto	165
Carta consentimiento encuesta estudio comparativo	166
ANEXO 2	167
Datos generales de los participantes del estudio piloto	167
Valores de los parámetros en las pruebas espirométicas del estudio piloto	168
Datos generales de los participantes del estudio comparativo	169
Valores de los parámetros en las pruebas espirométicas del estudio comparativo.	170
Tiempos de ejecución de los participantes del estudio comparativo.....	171
Valores de presión y velocidad de prototipos obtenidos en la simulación	172
ANEXO 3	173
Fundamentos en Ingeniería	173
BIBLIOGRAFÍA.....	174

Palabras clave y definiciones musicales.

Armónico: Sonido concomitante producido por la resonancia de otro sonido generador o fundamental. Cualquier sonido por naturaleza, produce otros sonidos secundarios llamados armónicos. El sonido principal se le conoce como fundamental y le corresponde el primer armónico de la escala. Los restantes sonidos secundarios tienen frecuencias que son múltiplos del sonido fundamental (Hernández, 1989).

Frecuencia fundamental: Frecuencia de repetición del patrón vibratorio, descrita por el número de oscilaciones de la onda por segundo (Roederer, 1997).

Timbre/Calidad tonal: Diferencia que existe entre las voces humanas así como en los instrumentos. Esto se debe a las diversas formas de onda producidas por los sonidos llamados armónicos originadas en la materia sonora (metal, madera, etc.) y modificadas por la forma y volumen de los elementos transmisores (Carrillo et al, 1993a).

Tonalidad: Conjunto de sonidos construidos a partir de la escala musical. (Carrillo et al. 1993c)

Tono: Es lo grave o agudo del sonido. Está en razón directa de la rapidez con la que se efectúan las vibraciones en un tiempo determinado, es decir, mientras más rápidas sean, el sonido producido será más agudo y viceversa (Carrillo et al, 1993b).

Nota forte/nota piano: En el desarrollo de una obra musical, aparecen indicaciones que sirven para dar mayor expresión a la música: es darle la fuerza que deben llevar los sonidos. *Nota piano* significa que el sonido es quedo. *Nota forte* indica que el sonido debe ser proyectado con fuerza o enérgicamente (Carrillo et al, 1993).

Árbol Problemático de la Tesis de Maestría.

Tabla A

Pregunta de Investigación:		
<i>¿Cuáles son los factores del músico que influyen en la usabilidad de la boquilla?</i>		
Hipótesis de investigación:		
<i>Las capacidades físicas del músico determinan el tipo de boquilla que requiere para ejecutar el instrumento de metal.</i>		
Objetivo general de la investigación:		
<i>Correlacionar las capacidades del músico con los factores esenciales del diseño de la boquilla del instrumento de metal.</i>		
Objetivos específicos:		
Pregunta	Hipótesis	Objetivo
¿Cómo se relacionan el músico, la boquilla y el instrumento de metal?	Mediante el modelado de un sistema usuario-objeto es posible establecer las relaciones existentes entre el músico, la boquilla y el instrumento de metal.	Establecer un modelo mediante la relación de los conceptos de la Ergonomía, la Acústica y los conocimientos prácticos de los músicos del instrumento de metal.
¿Cuáles son las características del músico que más se vinculan con el uso de la boquilla?	Los factores que intervienen en el músico, la boquilla y el instrumento de metal establecen las relaciones funcionales entre ellos durante la interpretación de composiciones musicales.	Realizar una exploración de las investigaciones concernientes a la actividad del músico, la boquilla y el instrumento de metal.
¿Cuáles han sido los cambios más significativos de la boquilla del instrumento musical?	Mediante un análisis histórico de la boquilla es posible conocer las características esenciales de la boquilla.	Describir el desarrollo de las boquillas en los instrumentos de metal.
¿Cuáles son los factores esenciales que intervienen en la boquilla del instrumento de metal?	El análisis de producto de la boquilla del instrumento de metal determinará los principales factores que intervienen en su diseño.	Establecer los principales factores que intervienen en la boquilla del instrumento de metal mediante el análisis de los diseños patentados en los últimos años.
¿Cómo determinar el diseño de la boquilla adecuado para el músico?	Mediante un modelo de Usabilidad se determina la adecuada configuración de los factores de la boquilla para las actividades del músico.	Establecer un modelo de Usabilidad que relacione los factores del músico y la boquilla del instrumento de metal.
¿Cuáles son los factores del músico que más condicionan la usabilidad de la boquilla del instrumento de metal?	Mediante una correlación de datos de un estudio con respecto a lo que se propone en el modelo es posible determinar los factores que más influyen en la usabilidad de la boquilla.	Realizar un estudio comparativo utilizando una serie de prototipos y evaluarlos con un grupo específico de músicos a nivel profesional.

INTRODUCCIÓN.

Este trabajo de investigación inició a partir de la intención personal de fabricar boquillas para los instrumentos de metal por lo que se exploró de manera general los aspectos que intervienen en éste elemento y su relación con los músicos. Inicialmente se formularon las siguientes preguntas: ¿Qué sucede realmente entre la boquilla y los instrumentos de metal? ¿Cómo afecta la boquilla al músico?

En principio la respuesta aparentaba ser fácil de contestar, sin embargo, conforme se fue profundizando en el tema resultó ser más complejo pues a pesar de haber sido analizado por la física, el modelado matemático del sonido y el análisis empírico de quienes ejercen la profesión de la música no se ha llegado a un consenso sobre lo que sucede realmente entre el músico y la boquilla del instrumento de metal. Sucede que entre los músicos existe un conocimiento importante sobre la boquilla bajo la siguiente explicación. *“Su forma interna debe tener características especiales para generar los sonidos requeridos en el instrumento, por tanto, es su factor más importante.”* Esto es verdad hasta cierto punto pues gran parte de su conocimiento está basado en este argumento debido a que es el factor más evidente que presenta, pero en realidad hay más factores que se deben considerar pues influyen en gran medida en la generación de los sonidos (o notas) durante la ejecución de piezas musicales.

México es poseedor de una gran riqueza musical representada por los valeses tradiciones, sus compositores e intérpretes de talla internacional. Pero ¿Qué sucede en cuanto a la elaboración de instrumentos musicales y sus elementos que lo acompañan como es el caso de la boquilla? Es posible encontrar casos particulares de personas que elaboran instrumentos o ciertas partes de estos, sin embargo no hay una investigación o un método formal en su fabricación que les permita competir con los niveles de calidad internacionales ya que en Europa Central y Estados Unidos principalmente han desarrollado de forma continua investigaciones tecnológicas por alrededor de los últimos 60 años, marcando una diferencia importante en los conocimientos referentes a los instrumentos musicales, siendo muy marcada en la boquilla pues los músicos de México se tienen que adaptar a la disponibilidad de las opciones que ofrecen los fabricantes provenientes del extranjero ya que a nivel nacional es escasa este tipo de industria.

También sucede que cuando el músico busca una boquilla para ejercer su profesión, observa que los fabricantes tienen catálogos extensos de modelos con diversas propiedades acústicas. Tan solo para un instrumento de metal (ya sea la trompeta, trombón o tuba) puede haber hasta cien diferentes modelos en el catálogo de una sola marca. Generalmente son exhibidos y clasificados con base a sus particularidades dimensionales y a las formas de cada una de sus partes, y resaltan sus ventajas y atributos publicando las opiniones de quienes las han utilizado (generalmente son intérpretes de renombre internacional). Sin embargo, cuando el músico adquiere el modelo y comienza a experimentar con ella, se da cuenta que le resulta difícil ejecutar el instrumento, volviéndose una situación frustrante y una mala inversión.

Para determinar la adecuada boquilla para un músico algunos fabricantes han desarrollado metodologías de diseño de boquillas definiendo parámetros muy específicos de dimensión y ciertos perfiles en cada una de las partes de la boquilla, algunas de ellas construidas a través de la experiencia práctica y otros utilizan los recursos tecnológicos para desarrollar sus diseño. Pero quienes han hecho propuestas de diseños en México no manifiestan una metodología formal para el desarrollo adecuado de este importante elemento para el músico.

Por ello, este trabajo estudió el caso de las boquillas para los instrumentos de metal con el fin de conocer los factores involucrados y establecer las bases en el desarrollo de propuestas alternativas de diseño a lo que actualmente ofrecen los fabricantes a los músicos en México (Tabla A). Para lo cual se contempló un marco de investigación y desarrollo entorno a la boquilla apoyándose en los conceptos y principios de la Ergonomía aplicada al Diseño y la Ingeniería para visualizar las relaciones existentes entre el músico, la boquilla y el instrumento de metal ya que se consideran como elementos vitales de un sistema acústico de una relación objeto-usuario en la generación de sonidos para un determinado estilo musical. Posteriormente se desarrolló un análisis exhaustivo de 27 diseños de boquillas patentados dando como resultado la determinación de cinco fundamentales factores que al combinarse entre si, establecen las condiciones en la ejecución del músico del instrumento de metal. Después de plantear un limitado número de configuraciones de dichos factores se establecieron cuatro prototipos de boquilla para trompeta, los cuales se evaluaron por medio de un estudio comparativo con la participación de músicos que laboran en orquestas profesionales en el área metropolitana a fin de correlacionar sus factores de ejecución con las condiciones que establecen los diseños de los prototipos. Cada una de las etapas de la investigación se muestra en este documento constituido por los siguientes capítulos:

- En el Capítulo 1 se vinculan los conceptos de la Ergonomía con estudios realizados sobre la actividad del músico que ejecuta un instrumento de metal. También se vinculan dichos conceptos con el análisis acústico de la vibración de los labios al acoplarse la boquilla con el instrumento. Posteriormente se establecen los factores del músico, la boquilla y el instrumento ya que forman parte de un sistema que se considera complejo.
- En el Capítulo 2 se exponen los análisis realizados de los factores que intervienen en cada uno de los elementos que forman el sistema planteado. Después se establecen posibles teorías sobre las relaciones entre el músico y la boquilla aplicando el concepto de Usabilidad.
- En el Capítulo 3 se expone la metodología utilizada en el estudio de campo y la definición de los parámetros necesarios para una evaluación comparativa para los cuatro prototipos de boquillas diseñados tras el análisis de los 27 diseños patentados.
- En el Capítulo 4 se exponen los resultados obtenidos tras el estudio de campo y se discute la evaluación de los músicos sobre los prototipos de boquilla elaborados en este trabajo.
- Conclusiones obtenidas tras el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I.

LAS ACTIVIDADES DE LA MÚSICA VISTAS A TRAVÉS DE LA ERGONOMÍA Y EL DISEÑO.

Para entender mejor las relaciones entre el músico y la boquilla es necesario un estudio el cual contemple y asocie los conocimientos prácticos de los músicos con los conceptos de la Ergonomía aplicados hacia el Diseño y la Ingeniería en la rama de desarrollo de productos. Conjuntando el mayor número de factores que intervienen a fin de tener una visión amplia de la boquilla del instrumento de metal para que las nuevas alternativas respondan a las necesidades de los músicos ya que “el bienestar, la salud, la satisfacción, la calidad y la eficiencia en la actividad de las personas dependen de la correcta interrelación existente entre los múltiples factores que se presentan en sus espacios vitales y las relaciones que establecen con los objetos que les rodea” (Mondelo et al, 2001a).

La boquilla del instrumento de metal es un elemento que no está aislado de otros objetos y mucho menos de las personas donde la Ergonomía como tal ha desarrollado fundamentos para entender la relación de un objeto con una persona (llamados también usuarios dentro del Diseño) y “desempeñar un papel importante en la definición de las dimensiones y disposición de los espacios de trabajo y productos (Seitz et al, 2000, Barone et al, 2004).

El estudio de la boquilla para los instrumentos de metal ha sido abordado en múltiples países, pues el músico del instrumento de metal puede sufrir lesiones en su cavidad oral durante su ejecución ya que es una actividad anormal de las funciones respiratorias (Randita et al, 2010). Existen factores que combinados con la ejecución del instrumento musical pueden alterar el equilibrio entre las estructuras dentales y esqueléticas trayendo como consecuencia maloclusión¹. De entre los factores que lo causan están el tipo de boquilla que utilizan, el número de horas tras tocar el instrumento, la posición de los dientes además de la fuerza de la lengua y los músculos faciales durante la ejecución. También se menciona que el contacto del material de la boquilla (por ejemplo cromados de níquel) ha causado efectos alérgicos en la piel (Yeo et al, 2002a). “Incluso se ha encontrado una alta incidencia de crepitación² entre los músicos que tocan alguno de los instrumentos de metal en comparación con gente ajena a la música” (Gaultier, 1979). Las lesiones más comunes son la abrasión y agrietamiento de los labios causados por la boquilla debido a la excesiva presión que luego ejercen los músicos sobre éste, además de moretones, hinchazón, dermatitis, entumecimiento, espasmos, temblor y calambre muscular de los labios (Yeo et al 2002b, Lewis, 2008). Lesiones de este tipo prácticamente dejan al músico incapacitado para realizar alguna actividad en su profesión.

La boquilla además de ser un elemento fundamental para producir sonidos en los instrumentos de metal también desempeña un rol importante en la salud del músico,

¹ Mal alineamiento de los dientes o a la forma en que los dientes superiores e inferiores encajan entre sí.

² Ruido particular producido por el frote de dos fragmentos óseos de hueso fracturado.

por lo que su diseño no debe ser considerado con arbitrariedad resultando vital entender a profundidad los factores que intervienen a fin de desarrollar un diseño adecuado.

En esta primera parte del capítulo se describen a los instrumentos de metal y posteriormente se discuten los conceptos de la Ergonomía para asociarlos con las actividades del músico profesional con el fin de tener una estructura que vincule los principales factores que intervienen en la boquilla y sus relaciones con el músico y el instrumento de metal.

I.1 La música y los instrumentos de metal.

En este trabajo cuando se habla de un instrumento musical, se entiende tal como lo indica la siguiente definición:

“Un instrumento musical es un objeto compuesto por la combinación de uno o más elementos resonantes y medios de vibración, construido con el propósito de producir sonidos (o tonos) que puedan ser combinados por un intérprete para producir una melodía” (Sachs, 1940).

Cualquier cosa que produzca sonido puede servir como un instrumento musical, pero la definición se reserva a describir aquellos objetos que tienen como propósito específico generar sonidos con características particulares dependiendo al estilo o tipo de música que un intérprete ejecuta.

I.1.1 Características de los instrumentos de metal.

En el caso particular del instrumento de metal “su sonido es generado por las vibraciones de los labios del músico. Entre los labios, una presión de aire es suministrada por el cuerpo y contra ellos, la boquilla es conectada en el instrumento” (Banes, 1993a). Los instrumentos que entran en esta clasificación son la trompeta, el corno, el trombón y la tuba, pero para los fines de la investigación solo se toman en cuenta a la trompeta, la tuba y el trombón por compartir el mismo principio de boquilla que utilizan para generar las vibraciones necesarias en la producción de sonidos.

I.1.1a La trompeta.

La trompeta es un instrumento de metal provisto de un tubo cilíndrico ensanchada solamente en el pabellón y está constituido por tres partes principales: la boquilla el cuerpo y la campana. En la Figura 1.1 se distinguen los componentes fundamentales. Existen seis combinaciones para alargar la longitud del recorrido del aire a través de los pistones, siendo el más corto cuando no se acciona ninguno de los tres pistones, teniendo así la nota fundamental del instrumento bajo el cual está afinado (Ministerio de Cultura, 2001 y Baines, 1976).



Figura 1.1. Trompeta.

1.1.1b El trombón.

El trombón es un instrumento de registro bajo parecido a la trompeta, pero, se caracteriza por la vara corredora telescópica con la que se alarga el tubo. El trombón apareció primero con otro nombre (sackbut) en Europa... y todavía retiene el mismo diseño básico. (Diagram Group, 2009a). Mediante la vara principal se logra producir los diversos tonos de la escala musical. Entre más se alarga la distancia de recorrido del aire el sonido producido es más grave (Figura 1.2).



Figura 1.2. Trombón.

1.1.1c La tuba.

La tuba es un instrumento hecho de un tubo ancho y cónico, amplio pabellón acampanado y boquilla en forma de copa que se caracteriza por su gran tamaño y su profundo sonido. Las primeras tubas se hicieron desde la década de 1830. Desde entonces ha venido apareciendo en diversos tamaños y formas (Diagram Group, 2009b). La tuba puede llegar a tener hasta seis pistones o válvulas (cuatro de digitación normal más dos para realizar medios tonos y un tono de afinación) aunque las más comunes son los que tienen cuatro pistones o válvulas. Abarcan un espectro amplio de sonidos porque con cada posición de los pistones se pueden tocar notas diferentes según la forma y fuerza de hacer vibrar los labios del músico para cada cambio requerido del sonido (Figura 1.3).

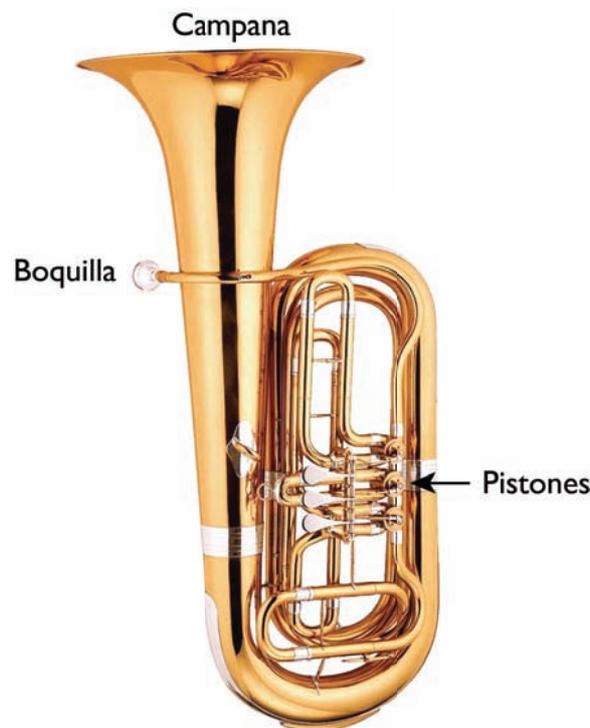


Figura 1.3. Tuba

I.2 Conceptos de la Ergonomía.

La Ergonomía desde sus orígenes ha estado preocupada en estudiar la relación hombre-máquina y aunque actualmente tiene diversas ramificaciones, en esencia “contribuye en el diseño y evaluación de tareas, trabajos, productos, ambientes y sistemas para hacerlos compatibles con las necesidades y habilidades de las personas” (IEA, 2003).

Existen varias definiciones sobre la Ergonomía, de las cuales encontramos las siguientes:

- La Ergonomía es el estudio del comportamiento del hombre en relación con su trabajo. El objeto de esta investigación es el hombre en su trabajo en relación con un medio ambiente especial (Grandjean, 1986).
- La Ergonomía... es la disciplina que estudia las características humanas para el diseño apropiado del medio ambiente cotidiano y laboral (Kroemer et. al, 1994).

Por lo general las definiciones de Ergonomía hablan sobre la relación del hombre con su entorno de trabajo o con el medio en que desenvuelve sus actividades, sin embargo se requiere una definición que tenga una mayor vinculación con el Diseño pues el tema principal se enfoca en la relación de un objeto con personas con habilidades entrenadas en la música. La intención de utilizar los conceptos de la Ergonomía es establecer otras bases en el diseño de la boquilla del instrumento de metal, pues es “tema crucial en la Ergonomía traducir los resultados sobre sus investigaciones acerca del desempeño humano y servir como guía para el Diseño” (Dekker et al 2004). Es decir, la Ergonomía ayuda al diseñador a analizar los factores que intervienen para el desarrollo de

soluciones. Por ello la definición que mayor se acopla a las necesidades de la esta investigación es la de Ergonomía aplicado al Diseño Industrial:

“La Ergonomía para el diseño industrial es la disciplina que estudia las relaciones que se establecen recíprocamente entre el usuario y los objetos de uso al desempeñar una actividad cualquiera en un entorno definido” (Flores, 2001a).

1.2.1 El Usuario-Entorno-Objeto-Actividad (UEOA).

La Ergonomía como tal ha analizado los espacios de trabajo (ejemplo, las oficinas), la interacción entre persona y objeto o persona y ambiente. Sin embargo, hay poca vinculación entre sus conceptos con los músicos y los instrumentos musicales. Es probable que esto se deba a que no se les ha analizado de esta forma. ¿Es posible que el instrumento limite las diversas habilidades de una persona? La respuesta es un definitivo sí, pero ¿A qué grado? Para contestar esto se necesita tener claro las relaciones existente entre las personas (músicos) con los instrumentos musicales y sus diversos dispositivos.

Para comenzar la labor de análisis aplicando los conceptos de la Ergonomía, primero se definen los siguientes elementos (Figura 1.4):

1. *Un usuario*; toda persona que usa o utiliza cualquier objeto.
2. *Un objeto*; cualquier producto que puede ser utilizado por el usuario para realizar alguna actividad.
3. *Un entorno*; todo lugar en que el usuario pueda estar y en donde se realiza la actividad en cuestión.

También es importante agregar un cuarto elemento que circula entre los tres primeros, la **actividad** que se realiza en el momento. Se entiende que la actividad es “*toda acción o práctica que el hombre desempeña* (Flores, 2001b). La Figura 1.4 es un esquema el cual permite visualizar como la Ergonomía analiza las relaciones entre el objeto, la persona y el medio ambiente asociado a la actividad que se ejecuta en un determinado momento.



Figura 1.4. Esquema de un sistema ergonómico.

La forma de cómo se relacionan estos elementos se le conoce como un sistema ergonómico UOEA (Usuario-Objeto-Entorno-Actividad) propuesto por Flores. Se entiende por sistema como “un grupo de partes que operan juntos hacia un propósito en común” (Forrester, 1968). Cada uno de los elementos mencionados tienen un rol importante e influyen hasta cierto grado en los demás. Haciendo esta relación de elementos, quienes ejercen la Ergonomía “utilizan sistemáticamente los conocimientos sobre las características humanas a fin de lograr la compatibilidad en el diseño de un sistema interactivo de personas, máquinas, entornos y dispositivos de todo tipo para asegurar objetivos específicos” (Human Factors and Ergonomics Society, 2004).

Un análisis sobre la relación de una persona (o usuario) con otros elementos de un sistema es por ejemplo el caso del sistema Hombre – Máquina que se define como la combinación de uno o más hombres (personas) con uno o más elementos de un equipo que interactúan para llevar a cabo resultados deseados a partir de una entrada dentro de los límites de un entorno (McCormick, 1964). Aunque este trabajo trata sobre la relación de una persona con un objeto (sistema Usuario – Objeto), la Ergonomía tiene claro que las “relaciones... mediante las cuales una persona se informa de la marcha de la actividad de un sistema es a través de los sentidos que producen reacciones fisiológicas y psicológicas... que benefician o dañan al sistema, y en consecuencia a la persona (Mondelo et al, 2001b). De modo similar pasa entre la persona y el objeto, específicamente entre el músico y el instrumento pues la ejecución de una pieza musical es también una serie de relaciones donde los sentidos del músico producen reacciones fisiológicas y psicológicas que benefician o perjudican su actividad profesional.

También sucede que dentro del sistema Hombre – Máquina, un individuo tiene que primero sentir algo y percibir lo que significa ese algo. Habiendo sentido, tiene que interpretar, comprender, efectuar algún cálculo mental y llegar a una decisión. Usando la propiedad humana de recordar el usuario compara lo que percibe con sus experiencias pasadas las reglas de operación que ha aprendido durante su entrenamiento, o bien para coordinar lo que percibe con las estrategias que puede haberse formado para manejar sucesos similares y no necesariamente es consciente, puede haber tanta práctica o rutina que sus decisiones son hechas casi irreflexivamente (Mondelo et al, 2001c). Si bien esto fue reflexionado tras la observación de una persona al operar una máquina, es posible asociarla con las actividades de la música: El músico tras varios años de entrenamiento, tiene la capacidad de percibir el comportamiento de un instrumento musical, recordar las reglas de operación y saber cómo actuar para lograr generar los sonidos característicos de un estilo musical. Por lo tanto, en las relaciones del sistema Usuario – Objeto, es tarea esencial para el diseñador que dichas relaciones entre los elementos que constituyen el sistema sean lo más compatibles con las habilidades naturales de la persona, o en términos más concretos con el usuario.

Existen otros conceptos que se relacionan con el ámbito de la música y que a continuación se discuten tomando como base inicial la estructura del sistema Usuario-Objeto-Entorno-Actividad, complementándola con los estudios previos sobre los aspectos que influyen en una persona al tocar específicamente un instrumento de metal.

I.2.2 La Usabilidad en los productos.

Tradicionalmente la Ergonomía (también referenciado como Factores Humanos) se ha concentrado en crear productos “usables”, enfocando su atención en las utilidades y beneficios funcionales de estos (Jordan, 1998a). Para lograrlo, ha desarrollado el concepto de “Usabilidad” que ha sido utilizado por quienes crean los productos pues lo consideran como un área que les permite ganar ventajas sobre sus competidores (Jordan, 1998b).

La International Standards Organization (ISO) define la Usabilidad de la siguiente forma:

La eficacia, la eficiencia y satisfacción con la que determinados usuarios pueden lograr objetivos particulares en un medio ambiente en particular. (ISO DIS 9241-11 y Jordan, 1998c).

En ámbitos del Diseño, la Usabilidad puede ser utilizada como una guía en etapas de evaluación y desarrollo del producto, ayudando a los diseñadores a identificar factores mediante la elaboración de modelados. Un ejemplo de modelado es mediante el desarrollo de las Dimensiones de Usabilidad, las cuales sugieren 5 cualidades importantes que debe tener un producto (Quesenbery, 2003a):

- Efectividad: la exactitud con la cual un usuario alcanza sus objetivos.
- Eficiencia: La rapidez con el cual un trabajo puede ser hecho.
- Atractivo: El placer, la satisfacción o interés con el que es utilizado.
- Tolerante al error: Que tan bien puede prevenir errores un producto.
- Fácil de aprender: Que tanto ayuda el producto en la orientación inicial así como en el aprendizaje profundo.

Se menciona que las Dimensiones de Usabilidad se definen con base al contexto de cada producto y cada usuario a través de sus requerimientos. Una forma de identificarlos es construyendo afirmaciones que reflejen el conocimiento sobre los usuarios y sus puntos de vista (Quesenbery, 2003b). Además, dichas dimensiones están interconectadas por lo que entender sus relaciones es una cuestión de escuchar lo que dicen los usuarios sobre el objeto o producto. Entonces para establecer una relación del concepto de Usabilidad y emplearlo concretamente en el uso de la boquilla del instrumento del metal, es necesario conocer los requerimientos, necesidades y opiniones de los músicos para que este sea una guía para el desarrollo de las propuestas de dicho objeto. Para lograrlo, se requiere de un estudio de campo para la obtención de información y un análisis de los factores que intervienen para proyectarlos en la Usabilidad aplicado en el ámbito de la música.

I.3 Vínculos entre los conceptos de la Ergonomía y la Música.

Es posible encontrar conceptos y conocimientos de personas ajenas a la Ergonomía que han estudiado al músico (usuario) y su relación especial con el instrumento de música

(objeto) desarrollando su actividad en diversos ambientes (entornos). Estos conocimientos se muestran a continuación.

1.3.1 Arnold Jacobs. Profesional de la música y estudioso de la anatomía humana.

Arnold Jacobs es considerado uno de los iniciadores en relacionar el estudio de la anatomía humana con las actividades de los músicos de instrumentos de viento e inclusive con los cantantes (Frederiksen, 1996a). Antes de él, los mecanismos de respiración del músico para tocar el instrumento de viento o metal eran prácticamente inciertos y se les daba poca importancia. Esto lo estimuló a realizar estudios de anatomía y capacidades físicas entre sus colegas, estudiantes e incluso a sí mismo para comprender la respiración durante la acción de ejecutar piezas musicales o durante el canto. Dedujo que existen múltiples factores humanos así como del propio instrumento que pueden clasificarse de la siguiente manera como lo muestra la Figura 1.5.



Figura 1.5. Factores que intervienen en un músico por Arnold Jacobs. (Síntesis del libro "Wind and Song", Frederiksen, 1996)

A través de su experiencia profesional y como docente en la música, Jacobs determinó los factores que influyen en un músico al tocar el instrumento de metal. Para generar un sonido, este debe controlar gran parte de los factores expuestos en el diagrama comentando que no es suficiente un conocimiento técnico de interpretación musical, también es necesario que controle y maneje los aspectos físicos y mentales pues se reflejan en las características y capacidades del instrumento. Concluye que los aspectos físicos tienen una relevancia importante durante las fases de entrenamiento y desarrollo de la técnica de interpretación, ya sea ejecutando el instrumento o cantando. Sin embargo, para lograr resultados óptimos en los sonidos (sacar el mayor provecho del instrumento) los factores mentales son quienes tienen una mayor ponderación pues un músico o cantante debe conceptualizar en su mente el tipo de sonido que desea obtener haciendo que el cuerpo se comporte de una forma especial para lograr conseguir dichos resultados conceptualizados (Frederiksen, 1996b).

Los factores determinados por Jacobs están clasificados como físicos, mentales, rendimiento musical y del instrumento. Los tres primeros tienen una relación directa con el músico, considerado para la Ergonomía como el usuario que se desempeña dentro del sistema UOEA donde sus factores físicos y mentales tienen una estrecha relación con su actividad. En este punto la “Ergonomía física” se ha centrado principalmente en la anatomía humana, las características antropométricas, fisiológicas y biológicas que se relacionan con la actividad física” (Karwowsky, 2005a), pero Jacobs sin desarrollar un análisis desde esta perspectiva, dedujo la dependencia de estos factores con las actividades profesionales del músico.

Gran parte de los estudios de Jacobs se centran en el desarrollo de técnicas de respiración y ejercicios de control muscular en las partes del cuerpo que intervienen en la actividad de la música, sin olvidar que los procesos mentales juegan un rol importante en el desarrollo profesional de la música, él lo llamaba “conceptualizar el sonido.” Centrarse en los procesos mentales y como estos afectan en la interacción entre los hombres y otros elementos de un sistema también ha sido parte de la Ergonomía (Karwowski, 2005b), concretamente de la Ergonomía cognitiva.

En lo concerniente al instrumento de música Jacobs consideraba que éste forma parte importante en la profesión del músico como una herramienta vital. Sin embargo, buscó que la actividad de la música se desarrollara más en controlar los factores intrínsecos del músico y que el instrumento solo proyecte los resultados. Por último, respecto al rendimiento musical que es la técnica de interpretación que el músico hace sobre una pieza musical, sencillamente es proyectar sus apreciaciones subjetivas determinando así un propio estilo musical.

I.3.2 Los factores del músico, el instrumento, el entorno y su relación con el auditorio. Matthias Bertsch.

Mathias Bertsch ha establecido en sus estudios diferentes factores que intervienen en la relación del músico y el instrumento, agregando el entorno y un auditorio que observa

sus acciones. Cada una de estas es agrupada de la siguiente manera en la Figura 1.6 (Bertsch, 1999a).

1. *El músico*; involucra los factores físicos, psicomotrices, conocimientos y factores emotivos.
2. *El instrumento*: que parte desde el tipo de instrumento y los materiales con los que está hecho.
3. *El entorno*; las circunstancias bajo las cuales se encuentra el instrumento y el músico considerando la percepción de un público que observa y escucha su ejecución.

Los elementos de un sistema UEOA se reflejan en el diagrama de Bertsch; existe un usuario (el músico) el cual interactúa con un objeto (el instrumento de metal) y ambos se encuentran en un entorno particular (sala de conciertos, de estudios) para realizar la actividad que es ejecutar el instrumento de metal.

Bertsch identifica los factores que más influyen en cada uno de los elementos. En el caso del músico (usuario) comenta los siguientes:

- *Habilidad*; concierne a la constitución física, las habilidades técnicas y psicológicas del músico.
- *Intención*; engloba el nivel de conocimiento del músico y como éste genera los sonidos a fin de proyectar sensaciones subjetivas de interpretación que tiene sobre una composición musical.
- *Realización*; concierne a los factores físicos y psicológicos que intervienen en el músico para ejecutar una pieza musical.

Con respecto al instrumento identifica los siguientes factores:

- *Cualidades subjetivas*; concierne a las evaluaciones que el músico hace emocionalmente del instrumento de metal.
- *Cualidades objetivas*; correspondientes a las características físicas y mecánicas del instrumento, que van desde el tipo de material con el que está hecho hasta los parámetros acústicos de las frecuencias de onda de los sonidos (ejemplo, la impedancia y entonación).

Referente al entorno identifica lo siguiente:

- *La Habitación*; las características del cuarto o la sala de conciertos influye en el músico para generar los sonidos.
- *Tiempo*; el periodo del día y de la temporada en que el músico realiza su labor influye en su desempeño, por ejemplo, tocar una pieza musical al medio día en verano es diferente a que si lo hace en la noche durante el invierno.

Bertsch muestra los factores más relevantes en el músico, el instrumento y el entorno aun cuando su análisis no tiene una orientación hacia los conceptos de la Ergonomía. Sin

embargo, no menciona como es la relación entre los elementos, por lo que es necesario verlos desde la perspectiva de la Acústica.

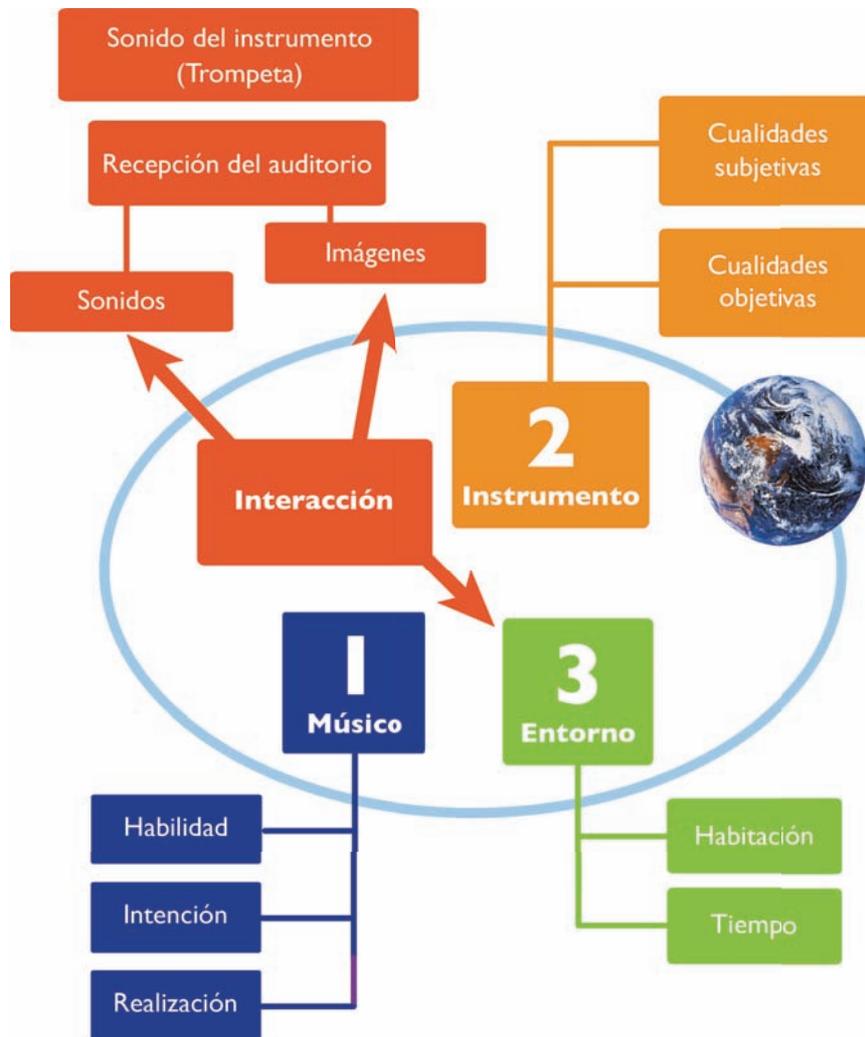


Figura 1.6. Factores que intervienen en el músico al momento de ejecutar un instrumento de metal (Diagrama de “Variabilities in Trumpet Sounds.” Bertsch, 1999. Reproducción para fines de investigación.)

1.3.3 La relación músico-instrumento como un sistema acústico complejo.

Dentro del estudio de las relaciones existentes entre el músico y el instrumento encontramos a Bromage, quien analiza la relación entre estos elementos desde un punto de vista acústico. En su opinión, es muy útil representar la relación músico-instrumento como un sistema acústico compuesto de tres partes representados en la Figura 1.7 (Bromage, 2007a):

1. *Oscilador mecánico*; son los labios del músico y vibran para generar el sonido.

2. *El resonante acústico*; es la columna de aire³ que se encuentra en el instrumento.
3. *El flujo de aire*; es quien conecta a los dos primeros elementos del sistema.

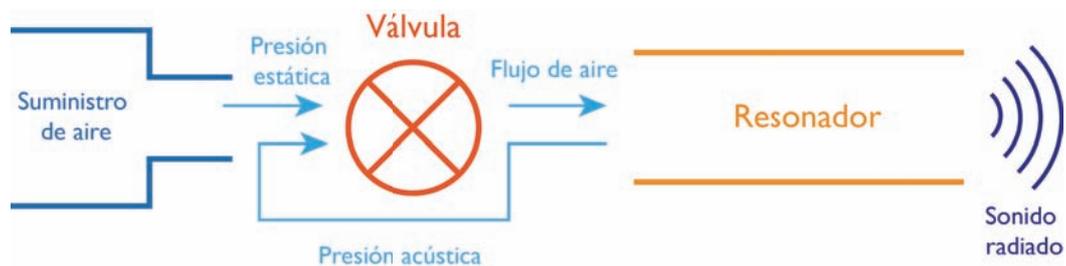


Figura 1.7. Sistema acústico entre el músico y el instrumento. Dentro de este sistema, los labios son como una válvula de control de presión que modula el flujo de aire. (Diagrama basado de “Visualization of the Lip Motion of Brass Instrument Players, and Investigations of an Artificial Mouth as a Tool for Comparative Studies of Instruments.” Bromage, 2007. Reproducción realizada para fines de investigación.)

Este autor comenta que se trata de un sistema con retroalimentación complicado pues el movimiento de los labios del músico tienen la función de ser una válvula de paso que controla el flujo de aire de la exhalación del músico hacia el instrumento, y de forma viceversa, el flujo de aire influye en el comportamiento de los labios. Esto hace que el comportamiento de las partes de este sistema acústico no sea proporcional (o lineal), es decir, un cambio aparentemente insignificante en cualquiera de las partes de los elementos puede dar lugar a una importante diferencia en el resultado final del sonido generado por los labios del músico. Además hay que añadir que el control real del flujo del aire también es influenciado por la lengua del músico, quien lo contrae o extiende con el fin de administrar la cantidad de aire necesaria cuando toca cierto tipo de piezas musicales.

Bromage enfoca su análisis en la comprensión del comportamiento de la interacción entre el músico con el instrumento a través de la vibración de los labios que son incitados por el flujo de aire que pasa a través de ellos (Bromage, 2007b). Explica que el músico los adapta en la copa de la boquilla, que funge como un elemento de acoplamiento con el instrumento formando así un flujo de aire continuo que transmite las vibraciones acústicas generadas por los propios labios (comúnmente se le llama columna de aire) y que la cantidad que entra en el instrumento también está determinado por ellos.

Es importante mencionar que Bromage no hace referencia alguna sobre los conceptos de los elementos que componen un sistema ergonómico UEOA, su explicación es sencillamente acústico. Sin embargo muestra que el músico es el elemento que tiene mayor influencia en el control de los factores que intervienen en la generación de sonidos sobre el instrumento musical y especifica que la conexión entre los elementos es en serie. Primeramente el músico, posteriormente el instrumento y en medio de ellos se encuentra la boquilla, teniendo así un orden de izquierda a derecha.

³ Es el volumen de aire que se encuentra en vibración dentro del instrumento de viento. Esta vibración está en una frecuencia en relación a la nota musical que se interpreta.

Este enfoque permite comprender la conexión entre los elementos, el músico (usuario) se conecta directamente con el instrumento (objeto) en serie, donde la boquilla está en medio de ellos como un elemento que los acopla para formar un sistema. El entorno cubre a todos estos elementos porque los resultados acústicos cambian dependiendo si se trata de una sala de conciertos o una sala de estudio donde el músico aplica sus conocimientos para que sus habilidades logren generar el resultado deseado. Es decir, la actividad se encuentra dentro de la conexión que el músico y el instrumento tienen.

Relacionando los elementos del Usuario, Objeto, Entorno y la Actividad con base al sistema acústico de Bromage se tiene el siguiente esquema de la Figura 1.8. El músico (usuario) es quien suministra el aire, sus labios junto con la boquilla (interfaz del sistema) conforman la válvula de paso del flujo del aire, y el resonador es el instrumento de metal (objeto). Entre el músico y la boquilla hay una relación directa en la cual sus factores influyen recíprocamente, por tal motivo se agrega un trazo que indica una relación de retroalimentación pues el músico toma decisiones conforme va generando los sonidos para adecuarse lo mejor posible a la boquilla. Además la relación entre el músico y el instrumento de metal sucede de forma similar, hay una relación de retroalimentación. Dado que el músico busca continuamente generar sonidos con características similares (dependiendo del estilo musical en que se desenvuelve), sus sentidos están entrenados (principalmente el oído) para entender cómo debe realizar sus actos para conseguir los resultados, incluso se puede decir que momentos antes de probar un instrumento o una boquilla el músico puede prescindir de ellos y saber qué tipo de sonido les es posible generar dadas sus experiencias previas de entrenamiento.

El entorno es el lugar en que se desempeña el músico, (puede ser una sala de conciertos, un espacio abierto o un estudio privado) por lo que su actividad involucra una continua estimación de las características del lugar pues influyen en los sonidos, y hace que los mecanismos de respiración, el control de la vibración de los labios entre otros actos se comporten de otra forma para cambiar los resultados (por tal motivo se propone ubicar a la actividad en la relación de retroalimentación entre el instrumento y el músico). Es decir, un músico se entrena continuamente para obtener sonidos similares en diferentes entornos.

Respecto a la boquilla considerado como el adaptador para contactar al músico y al instrumento, es donde se realiza la acción y la generación del sonido, en otras palabras se trata de un elemento interfaz que se define como un adaptador que facilita el contacto entre un aparato (elemento, componente) y otro, o también como la zona de comunicación o acción de un sistema sobre otro (Mondelo et al, 2001a). Es importante entender que la boquilla así como una interfaz envuelve al menos dos participantes o dos elementos de un sistema que tienen una intención, una acción específica necesaria para conseguir un objetivo (Mondelo et al. 2001b), que en este caso se trata de generar sonidos con características particulares.

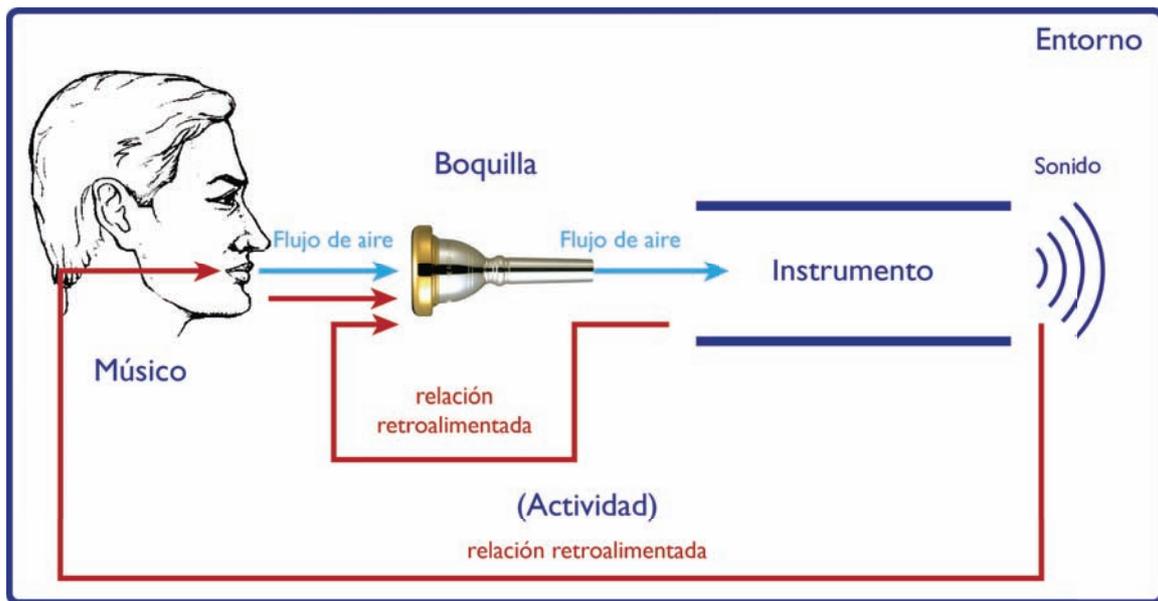


Figura 1.8. Relación entre el músico (usuario), la boquilla (interfaz) y el instrumento (objeto).

Sucede que para cualquier sistema (mecánico, acústico o hidráulico) los puntos de mayor conflicto son las interfaces pues suele haber cambios de energía (Glegg, 1972) o información (por ejemplo señales de control de peso a control de volumen). Los elementos cambian a menudo su comportamiento cuando se conectan dentro de un sistema a que si se están de forma individual donde el elemento de acoplamiento o de interfaz puede causar problemas (Sellgren et al). Por ello es importante analizar la relación entre el músico y la boquilla ya que entre ambos hay un ciclo interactivo de acciones con el propósito de generar sonidos específicos (pues el instrumento es quien proyecta el resultado).

1.4 Establecimiento del sistema Músico-Boquilla-Instrumento.

Vistos los puntos de Bertsch (Bertsch, 1999b), Bromage (Bromage, 2007c) y Jacobs (Frederiksen, 1996c), se propone el siguiente sistema tomando como base la relación de los elementos del sistema acústico mostrados en la Figura 1.9. Este sistema Músico-Boquilla-Instrumento se constituye de la siguiente forma:

1. *El músico;* es el usuario del sistema pero es referido como su profesión (músico) pues se trata con un usuario con capacidades y habilidades particulares que lo distinguen de la población en general (no todos tocan el instrumento de metal a niveles profesionales debido a su entrenamiento y conocimiento en la música).
2. *La boquilla;* es el elemento interfaz que mayor interacción tiene con la actividad del usuario dentro de este sistema pues a través de la fuerza y movimiento del aire se generan las vibraciones sobre los labios y posteriormente se transforman en ondas sonoras dirigidas y proyectadas en el instrumento de metal.

3. *El instrumento (trompeta, trombón o tuba para este documento)*; el elemento final del sistema el cual proyecta la actividad del músico hacia el entorno (sala de conciertos, cuarto de estudio).
4. *La actividad* es la acción del músico para generar el flujo del aire (la columna de aire que pasa a través de los demás elementos) y el control de la vibración de los labios con el fin de generar los sonidos correspondientes al estilo musical en el cual se desempeña. El comportamiento del movimiento de los labios es lo más esencial en el sonido del instrumento que está relacionado con la boquilla, por tanto el músico debe entrenar continuamente esta acción para cumplir las exigencias musicales a nivel profesional.
5. El entorno es considerado como un factor constante ya que necesariamente el músico debe generar los sonidos de forma similar para mantener su nivel profesional en la música (por ejemplo; generar una nota do igual tanto en un estudio así como en una sala de conciertos).

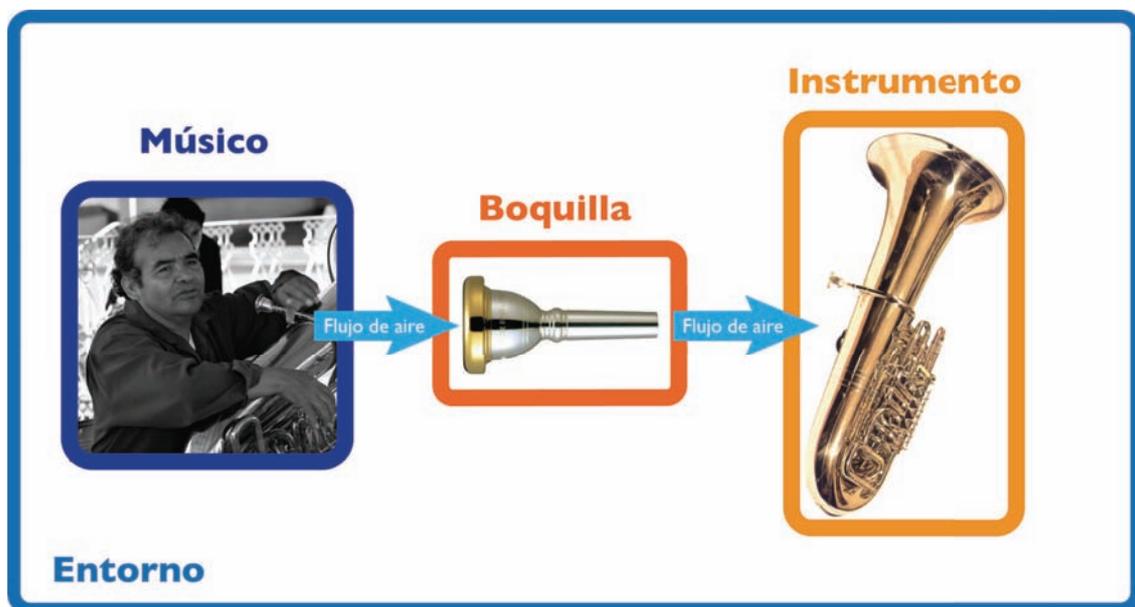


Figura 1.9. El músico, la boquilla y el instrumento son elementos que conforman un sistema con una relación acústica muy estrecha.

Se puede decir que diseñar la boquilla involucra considerar varios factores, primordialmente los factores intrínsecos del músico pues es el motor impulsor de todo el sistema. Tomando en cuenta los factores establecidos por Bertsch (Bertsch, 1999c) y Jacobs (Frederiksen, 1996d) en cada uno de los elementos, se tiene el siguiente orden como lo muestran la Figura 1.10 distinguiendo los factores más relevantes con base a las apreciaciones de ambos autores. El punto principal es analizar la boquilla, pero necesariamente hay que contemplar la relación expuesta por el sistema acústico añadiendo los factores físicos del instrumento y del músico (factores mentales y de rendimiento musical). Si solamente se consideran los factores de la boquilla o del músico

se pierde la realidad sobre lo que involucra tocar un instrumento de metal pues tan solo la propia boquilla es un elemento complicado que une los factores del músico con los factores del instrumento sin olvidar que tiene sus propios factores que influye en ambos. Establecida la forma de cómo se relacionan los elementos de este sistema, lo siguiente es el análisis de cada uno de ellos de forma individual y posteriormente vincularlos como un solo conjunto.

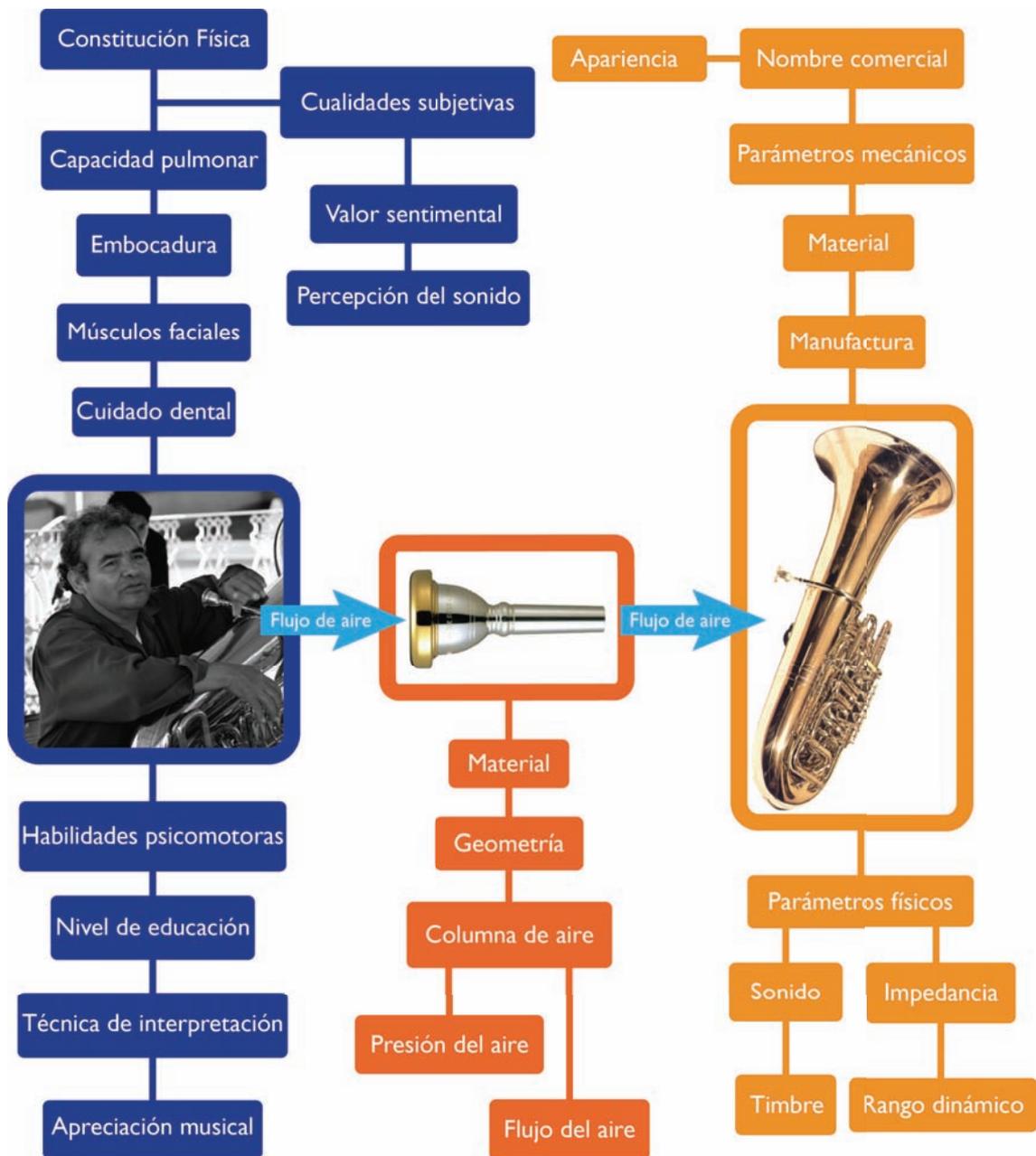


Figura 1.10. El sistema músico-boquilla-instrumento tiene un gran número de factores para considerar un análisis exhaustivo en cada uno de ellos.

CAPÍTULO 2.

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA MÚSICO-BOQUILLA-INSTRUMENTO.

Establecidas las relaciones de los elementos, la siguiente etapa involucra el análisis cada uno de ellos a través de las investigaciones que se han realizado en los últimos años.

2.1 Primer elemento del sistema: El músico y sus factores.

Dentro de este primer elemento se exponen los análisis de los siguientes factores:

- Los músculos de los labios del músico.
- El movimiento de los labios.
- El sistema respiratorio.
- El desarrollo de la embocadura en la generación de sonidos.
- La percepción del sonido en el músico.

2.1.1 Los músculos de los labios y la boca del músico.

Al momento de que un músico toca el instrumento de metal, el movimiento de los labios y la boca toman relevancia, siendo que su forma y tamaño no son los únicos factores que influyen, sino también el desempeño de los músculos en momentos previos y durante la ejecución del instrumento de metal.

Bertsch (Bertsch, 2000a) analiza la temperatura corporal del rostro utilizando una cámara termográfica. Dicho estudio comenta dos interesantes efectos sobre la etapa de calentamiento del músico previo a ejecutar una pieza musical y durante su ejercicio de manera formal:

1. *La principal actividad muscular durante la etapa de calentamiento está restringida por un grupo específico de los músculos del rostro: el **Músculo Orbicularis Oris** y el **Músculo Depressor Anguli Oris**. Mientras que el **Músculo Buccinator** (el que realiza la acción de soplar) tiene una menor importancia porque su labor no influye en el movimiento de los labios durante la ejecución del instrumento (Figura 2.3).*
2. *Los músicos con menor experiencia para tocar el instrumento poseen una distribución de temperatura corporal menos concentrada en la zona de la boca, mientras que en los músicos de mayor experiencia la distribución de la temperatura es mucho mayor.*

A través de este análisis comparativo de temperaturas corporales del rostro, Bertsch demuestra que el tiempo de entrenamiento y los años de experiencia de un músico son aspectos relevantes para los diferentes niveles de habilidad (desde principiante hasta profesional), siendo reflejados en el comportamiento activo de un grupo específico de músculos del rostro (Bertsch, 2000b) como lo muestran las Figuras 2.1 y 2.2.

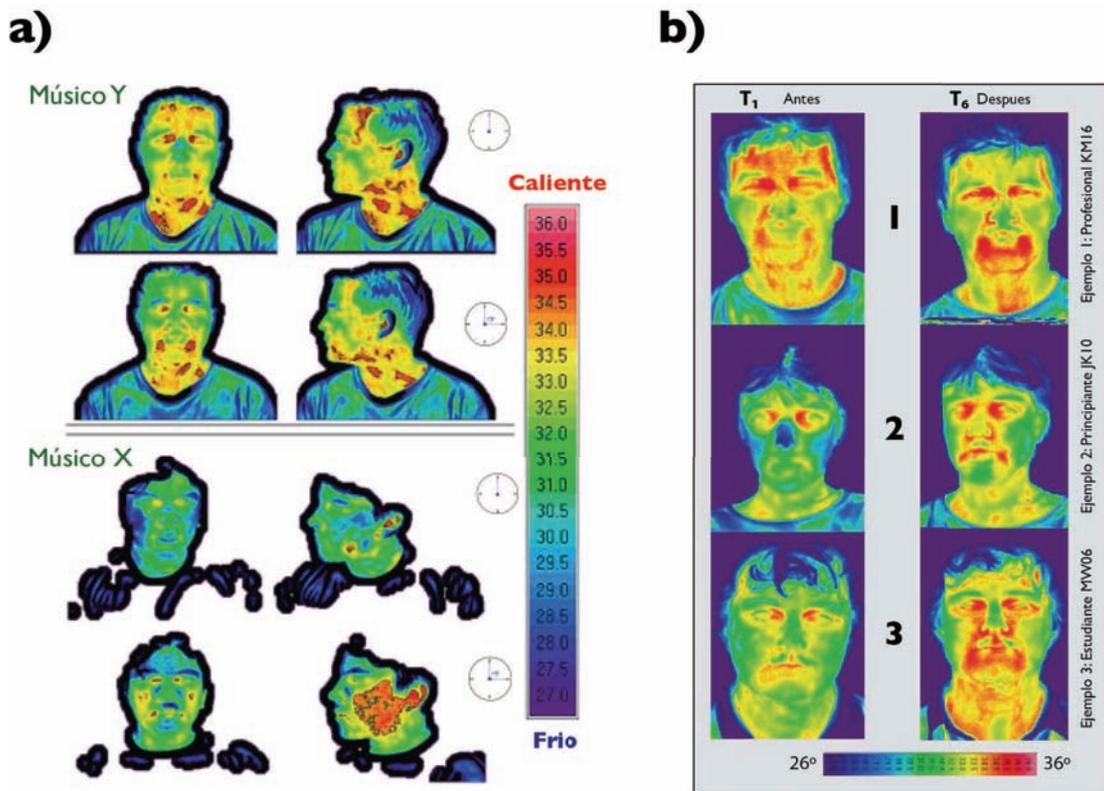


Figura 2.1a) Comparaciones de temperatura corporal del rostro de un músico profesional (Músico Y) y el rostro de un estudiante (Músico X) a través de una cámara termográfica. Se aprecia una mayor concentración en la zona de la boca en el músico profesional (músico Y).

Figura 2.1b) Imágenes termográficas del rostro previo a los ejercicios de calentamiento y posterior al ejecutar el instrumento. La distribución de la temperatura del rostro es diferente en el rostro del músico profesional con respecto al principiante y al estudiante de música. Entre más sean los años de entrenamiento para tocar el instrumento, mayor concentración de temperatura corporal hay en la zona de la boca.

(Imágenes obtenidas de “Visualization of Trumpet Players: Warm Up By Infrared Thermography.” Bertsch, 2000. Reproducción realizada para fines de investigación).

Estos músculos que se mencionan en términos generales tienen las siguientes características y funciones (Figura 2.3):

- El **Músculo Orbicular de la Boca** o de los labios (*m. orbicularis oris*) ocupa el grosor de los labios y están de manera concéntrica alrededor de la abertura bucal. Ocupan una extensión vertical que va desde el tabique nasal hasta un punto situado entre el mentón y el borde libre del labio inferior. Su contracción determina que la boca se cierre, y actúa en la masticación, y su contracción colabora a la succión. Si se contrae solamente la porción periférica, se constituye una boca en forma de trompetilla (Santana y Velayos, 1998a).

- El **Músculo Buccinador** (*m. buccinator*) está en el espesor de las mejillas. Es el músculo que interviene para soplar, ya que la contracción de estos músculos hacen que se salga el aire de la boca; si se contrae al mismo tiempo con el orbicular de la boca, no permite la salida de los alimentos de la cavidad bucal por lo que tiene un papel importante en la deglución. También interviene en el acto de succionar, para lo cual se precisa la protrusión⁴ previa de los labios por acción del orbicular de la boca, con lo que se origina el vacío en las mejillas (Santana y Velayos, 1998b).
- El **Músculo Depresor del Ángulo de la Boca o Triangular** (*m. depressor anguli oris*) tira de la boca hacia abajo y un poco lateralmente, ya que se inserta por su base en la parte anterior de la línea oblicua de la mandíbula, lo cual hace que su intervención sea en el desarrollo del control de las vibraciones de los labios al momento de tocar el instrumento de metal (Santana y Velayos, 1998c).

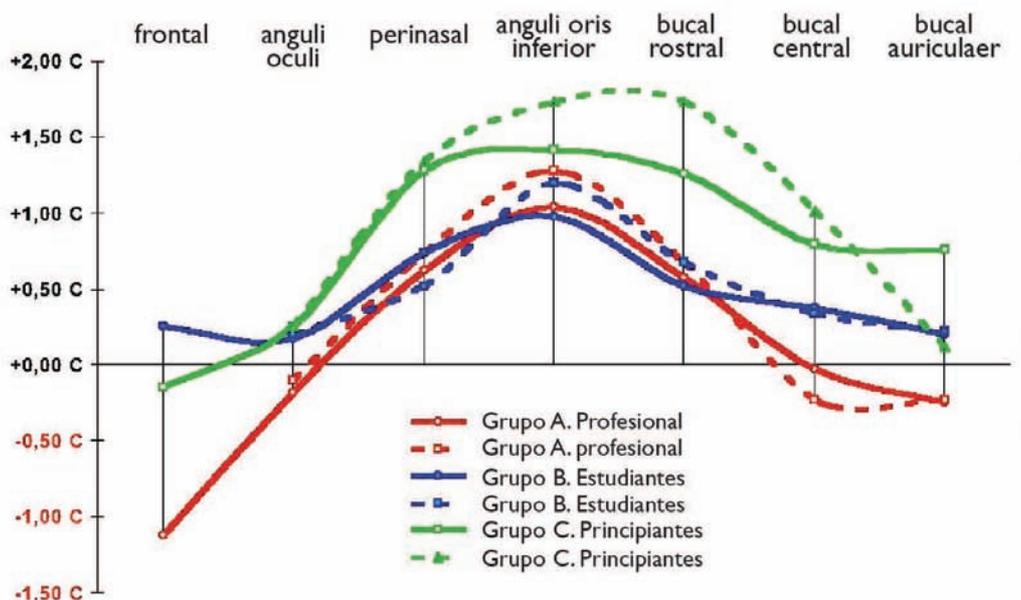


Figura 2.2. Cambios de la temperatura corporal de la cara de un músico de trompeta después del tercer ejercicio de calentamiento ($\Delta T_{6.1}$). Se hace una comparación simétrica por niveles de habilidad entre músicos profesionales, principiantes y estudiantes de música. (Gráfica obtenida de “Visualization Of Trumpet Players: Warm Up By Infrared Thermography.” Bertsch, 2000. Reproducción realizada para fines de investigación).

Este análisis muestra el control que desarrolla el músico para tocar el instrumento de metal en este grupo específico de músculos. Sin embargo, es necesario que este tenga una técnica de inhalación, exhalación y soplido del aire hacia el instrumento de forma adecuada que le permita generar los sonidos apropiados en lapsos de tiempo muy concretos. Este análisis solo muestra los músculos del rostro que intervienen de forma directa cuando se toca el instrumento de metal, el cual puede servir de base para

⁴ Avance anormal de una parte, tumor u órgano, debido a un aumento de volumen o por una causa posterior que lo empuja.

establecer ejercicios y técnicas que ayuden al músico a conseguir este importante control muscular.

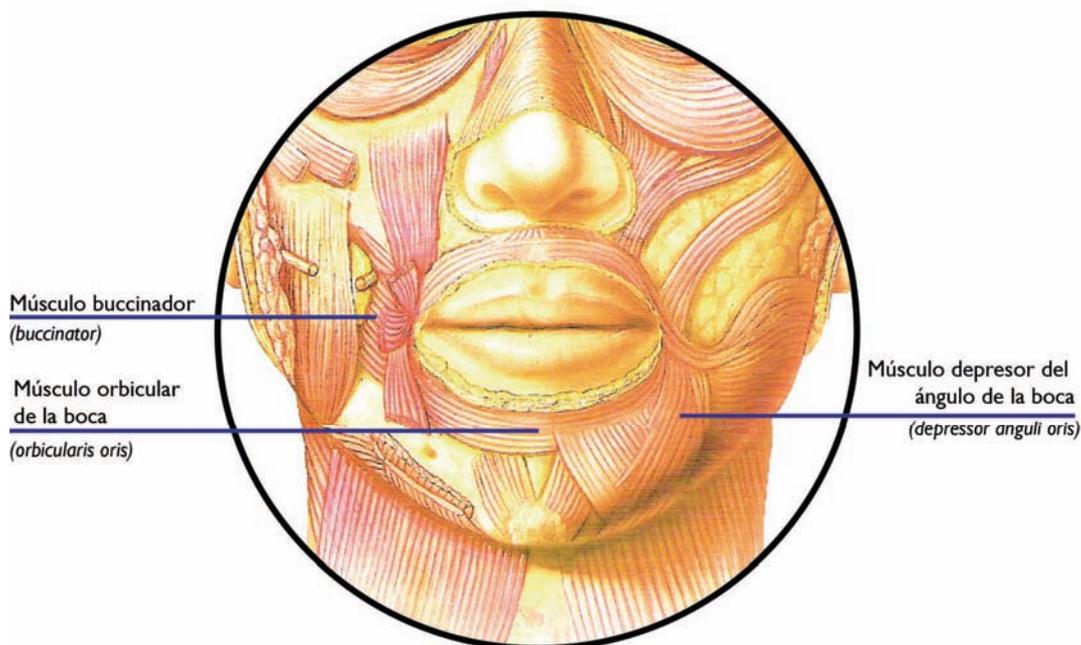


Figura 2.3. Localización de los músculos faciales que tienen mayor intervención al momento que un músico toca un instrumento de metal. (Imagen de “Anatomía de la Cabeza con Enfoque Odontoestomatológico”, Velayos y Santana, 1998. Modificación de imagen para fines de investigación).

También hay que agregar que el estudio no toma en cuenta los periodos de tiempo que toma el músico profesional o el estudiante para ejercitar sus habilidades. Es necesario que ellos entrenen continuamente para mantener o mejorar sus habilidades al tocar el instrumento de metal. Puede suceder que un músico profesional al tomar un descanso prolongado sin tener contacto alguno con la boquilla y el instrumento, al retomar nuevamente sus actividades le cueste un mayor esfuerzo generar los sonidos. En el caso de estudiante de música, si no mantiene de forma continua su entrenamiento, difícilmente mejoran sus habilidades para tocar el instrumento y conseguir mejores resultados. Por tanto, así como en muchas tareas físicas, el disciplinado entrenamiento es un factor muy importante para el dominio de las acciones necesarias para una ejecución sobresaliente sobre el instrumento de metal.

2.1.2 Análisis del movimiento de los labios a través del modelado matemático.

El movimiento de los labios ha sido estudiado en varias ocasiones para determinar las variables que más influyen en la generación de los sonidos en el instrumento de metal. Se han propuesto algunos comportamientos ideales sobre el movimiento de los labios siendo uno de ellos el estudio de Bromage quien lo analiza mediante un modelo matemático, y establece ciertas consideraciones a fin de simplificar la descripción matemática del fenómeno (Bromage, 2007d):

- El movimiento de un labio se representa como una masa simple unida a un resorte con un grado de libertad que va hacia arriba y abajo (Figura 2.4).
- El movimiento es consecuencia de la fuerza del fluido (el aire) que pasa a través de la abertura generada entre los dos labios (Figura 2.5).
- Se considera que el labio superior e inferior de una persona son simétricos, por tanto la descripción del movimiento se puede simplificar con el comportamiento del labio superior (Figura 2.5).
- La abertura que se genera entre los labios es simétrica, por tanto se puede representar mediante el área de un rectángulo de altura “h” y longitud constante (Figura 2.5).

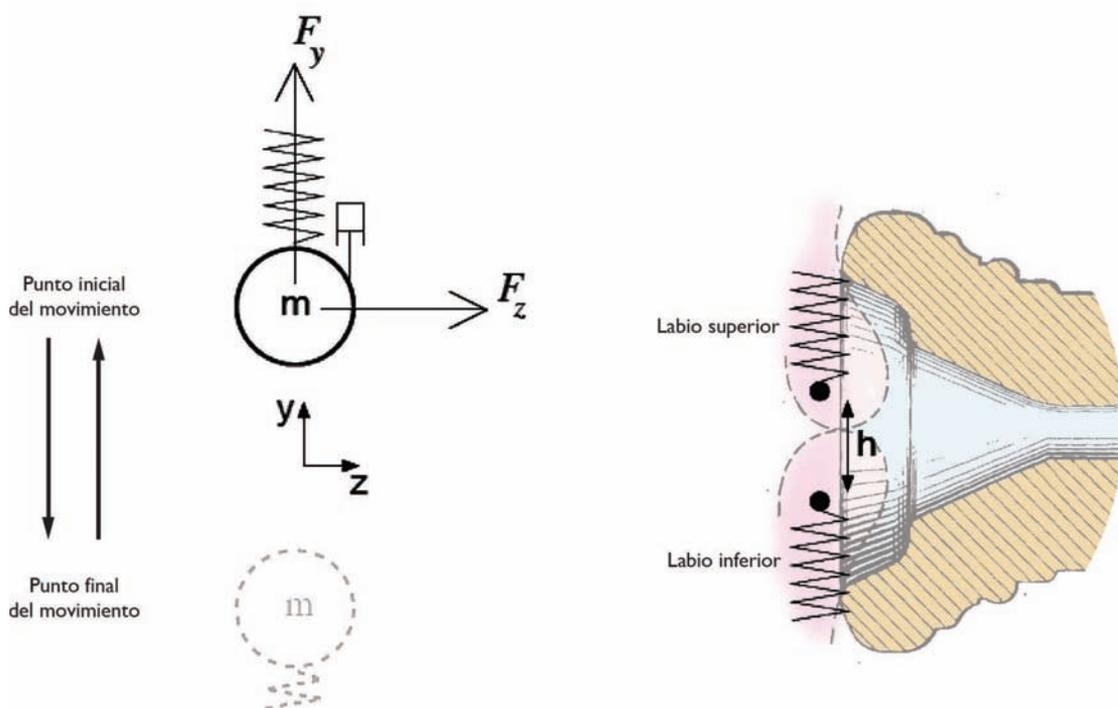


Figura 2.4. Representación del comportamiento del movimiento de los labios establecidos por Bromage. (Imágenes de “Visualization of the Lip Motion of Brass Instrument Players, and Investigations of an Artificial Mouth as a Tool for Comparative Studies of Instruments.” Bromage, 2007. Reproducción realizada para fines de investigación).

Bajo estas consideraciones es como se establece la relación de movimiento del labio como una masa que se mueve libremente en sube y baja en forma vertical (en dirección al eje “y”), mientras exista una fuerza en dirección horizontal que lo incite (en dirección al eje “z”) tal como lo muestra la Figura 2.4. Representar el movimiento de los labios mediante un modelo es una propuesta que tiene un nivel aceptable de exactitud respecto al comportamiento real. Existen otras propuestas de modelado en los que además de considerar el movimiento del resorte o la acción de abrir-cerrar de una puerta, aumenta la complejidad del análisis haciendo la equivalencia con un circuito eléctrico (Kausel, 2003). Esta última propuesta toma otras condiciones tales como el

momento en que los labios tocan los dientes de la boca o con el aro de la boquilla y que no son establecidas en el modelo de Bromage. Sin necesidad de discutir la precisión de cada una de estas propuestas, es más importante mencionar que ambos trabajos concluyen que la vibración de los labios es un fenómeno del cual intervienen más variables de las que son posibles representar en el modelado matemático y que cualquier cambio mínimo que exista a lo propuesto por ambos estudios, los efectos son completamente diferentes a lo que predicen, lo cual afectan el comportamiento de la boquilla. Por ello, predecir el fenómeno de la parte interna de la boquilla se ha vuelto una tarea bastante compleja.

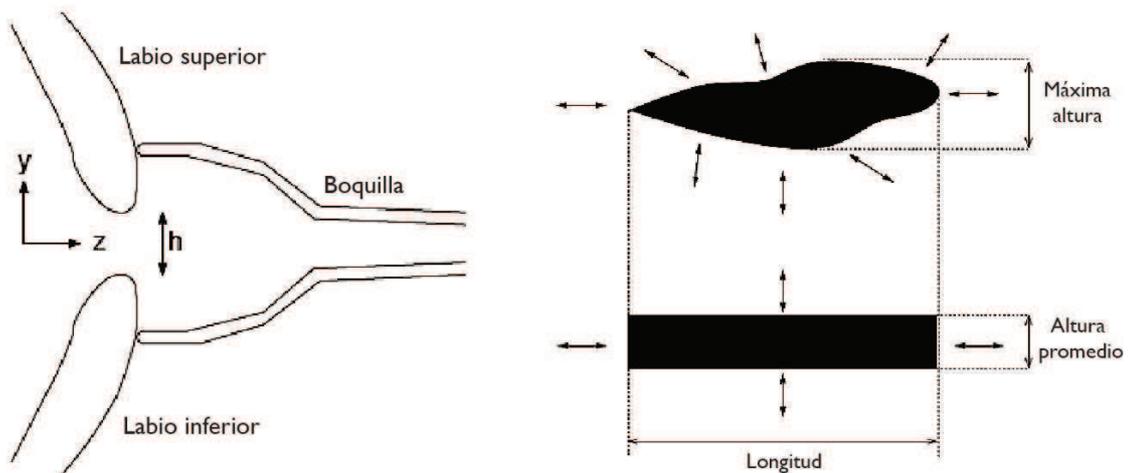


Figura 2.5. Representación del comportamiento de los labios establecidos por Bromage. Lado izquierdo de la imagen; establece un sistema de coordenadas de referencia para el análisis del movimiento. Lado derecho de la imagen; explicación gráfica de la abertura entre los labios por el cual el flujo de aire pasa hacia el interior del instrumento. (Imágenes de “Visualization of the Lip Motion of Brass Instrument Players, and Investigations of an Artificial Mouth as a Tool for Comparative Studies of Instruments.” Bromage, 2007. Reproducción realizada para fines de investigación).

2.1.3 La importancia del sistema respiratorio en el músico.

Cuando se habla del sistema respiratorio de inmediato se le relaciona con la función de intercambiar gases o como uno de los tres sistemas necesarios para mantener la vida de una persona. Pero también tiene un segundo uso, que es intervenir en la contracción de los músculos del cuerpo de forma isométrica para que se vuelvan rígidos o flácidos según sea el caso ya que esto se relaciona más con los deportes o en un combate. En cambio no se aplica de forma similar cuando el músico toca un instrumento de viento o metal.

Los músculos de la respiración también intervienen para presionar la pelvis al momento del parto o para defecar. Los músculos abdominales incrementan la presión interna del aire que se encuentra en el cuerpo donde el cuello se cierra para contenerla (Maniobra

de Valsalva⁵). Dentro del cuerpo, el aire está bajo una presión considerable, pero lejos de lo que se requiere para tocar un instrumento de metal.

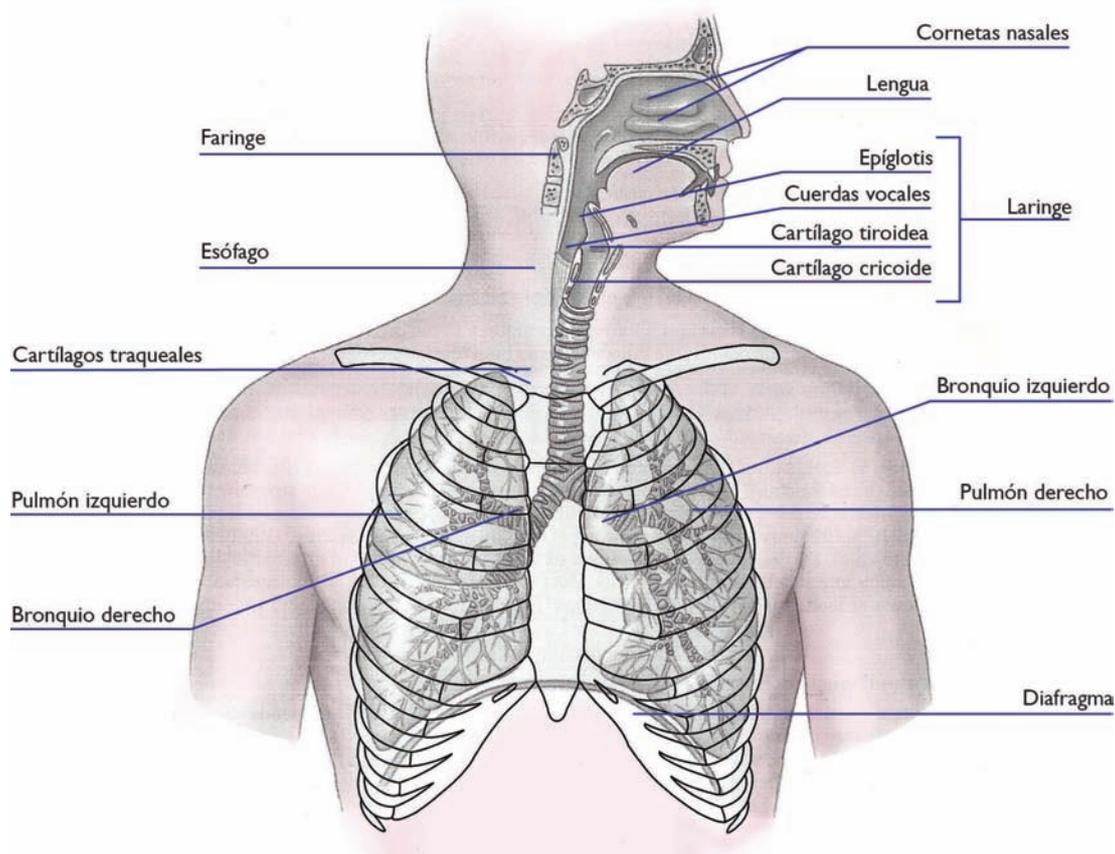


Figura 2.6. Estructura del sistema respiratorio de una persona. (Imagen de “Human Anatomy: Laboratory Guide and Dissection Manual” Timmons y Mackinley, 1998. Reproducción realizada para fines de investigación).

Estas explicaciones sobre el sistema respiratorio fueron expuestas por Arnold Jacobs (Frederiksen, 1996e) en sus clases magistrales donde solía hacer demostraciones y explicar a sus alumnos lo importante que es controlar y desarrollar capacidades especiales sobre este vital sistema. En sus demostraciones se recostaba en el suelo e inhalaba profundamente para modificar su presión sanguínea logrando aumentar su presión interna de aire, en que usualmente podía generar hasta tres libras de presión interna y posteriormente su esposa se paraba sobre su abdomen por un breve lapso de tiempo. De esta forma demostraba que los músculos del abdomen solo pueden mantener un límite máximo de alrededor de 3 libras de presión interna, sin embargo pueden soportar un peso de 100 libras o más.

Para los instrumentos de metal, en el caso particular de la trompeta, se requiere una alta presión interna de aire para desarrollar el soplido adecuado para generar un sonido.

⁵ La maniobra de Valsalva fue desarrollada por el médico italiano Antonio María Valsalva. Se trata de cualquier intento de exhalar aire con la glotis cerrada o con la boca y la nariz cerrada. La intención inicial de Valsalva era crear una forma de expulsar la pus del oído medio.

Sucede que muchos músicos difícilmente alcanzan las tres libras de presión interna siendo en promedio entre $\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$ libras. Cuando el músico realmente trabaja duro en su preparación, pueden llegar a superar las 2 libras rondando incluso las 3 libras de presión (Frederiksen, 1996e). Además, explicaba que la diferencia entre generar presión interna y soportar peso se debe a que físicamente existen reflejos en cada pulmón que no permiten usar cualquiera de estos tipos de fuerzas. En cualquier momento se puede usar el poder de estos músculos haciendo una reducción o contracción de ellos, sin embargo, hay una enervación⁶ de los músculos cuando dicha acción se prolonga. El exceso de contracción del abdomen es algo que trata de evitar el cuerpo pues limitan la función normal del sistema respiratorio que es el intercambio de gases.

Es necesario entender que la respiración humana tiene dos actos principales; el primero es tomar aire y llevarlo hacia los pulmones (inhalación) y el segundo es expulsarlo (exhalación). Estos dos actos en conjunto son los que hacen una completa respiración. El promedio de un adulto normal ronda alrededor de 16 respiraciones por minuto cuando se encuentra despierto y alrededor de 6 a 8 respiraciones por minuto cuando duerme. Cuando la persona se encuentra bajo stress, las respiraciones rondan alrededor de 100 respiraciones por minuto. También es necesario hacer una especial aclaración: respirar para tocar el instrumento es diferente a respirar para vivir; para el primer caso, el aire es para producir sonidos en vez de hacer un cambio químico para la homeostasis⁷. Es importante que los músicos al momento de inhalar y exhalar aire tengan que realizarlo con la “menor fricción” o rozamiento con los músculos y cavidades del sistema respiratorio pues es necesario captar la mayor cantidad de aire posible. Para hacer una gran inhalación, se puede conseguir abriendo lo más posible la boca. En caso de que solo se tomen pequeñas cantidades de aire por la boca, puede ser significativo tomar aire a través de la boca y la nariz simultáneamente. *“Uno puede complementar a otro, y esto puede ser un punto a favor al momento de tocar el instrumento.”* En palabras de Jacobs (Frederiksen, 1996f).

Entonces para tocar el instrumento, el cuerpo del músico debe captar la mayor cantidad de aire posible, por tal motivo, debe desarrollar capacidades especiales para presurizarlo. A través de sus años como músico profesional y maestro de música, Jacobs (Frederiksen, 1996g) encontró que el problema más común en los músicos es realizar la presurización del aire en el cuerpo, para lo cual se requiere bloquear la salida del aire mediante la acción de la boca (involucrando los labios). Usualmente se utiliza la lengua o cerrando el cuello, pues “un cuello abierto es un cuello relajado”. Esta obstrucción puede causar una acumulación de presión en el sistema respiratorio bajo (los pulmones) y puede ser visto como una relación de la ley de Bernoulli. En este caso la laringe es usada para cerrar y abrir el paso del aire cuando digerimos alimentos o en el caso de la maniobra de Valsalva usado para la defecación y el parto. Pero ¿Qué sucede con la lengua? Jacobs encontró entre sus estudiantes problemas referentes a este órgano y lo consideraba rebelde, pues no hace nada en la generación de las vibraciones necesarias

⁶ Ponerse en estado de nerviosismo o ansiedad.

⁷ Característica de un sistema abierto o cerrado, especialmente en un organismo vivo, mediante la cual se regula el ambiente interno para mantener una condición estable y constante. Concepto creado por Walter Cannon y usado a menudo en la fisiología por Claude Bernard.

para obtener un sonido en el instrumento. Sin embargo, influye en el flujo del aire causando efectos que pueden ser poco favorables en la producción de los sonidos. La lengua tiene dimensiones diferentes dependiendo de la fisonomía de la persona y una significativa intervención sobre los labios, pero lo que interesa más es sobre cómo se comportan los labios debido al flujo del aire que el comportamiento de la lengua (Frederiksen, 1996h).

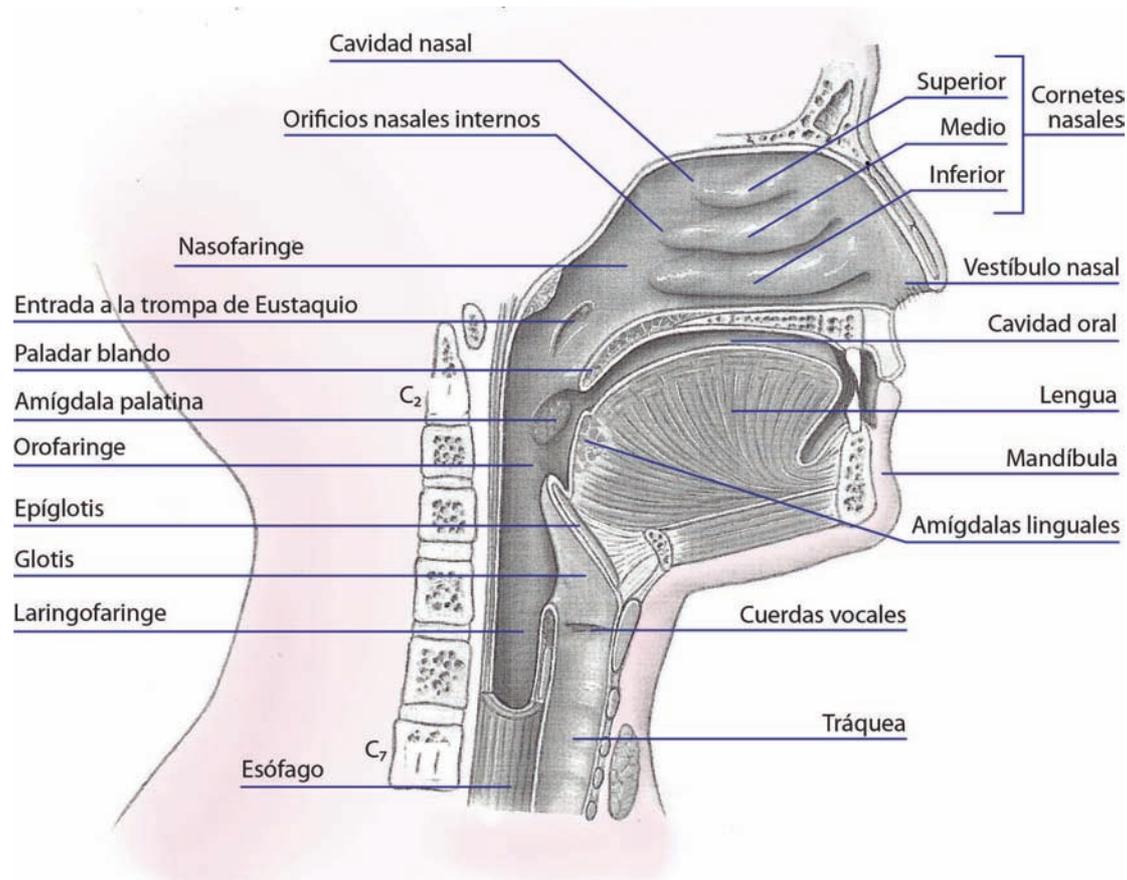


Figura 2.7. Vista lateral en sección del cuello y la cabeza. (Imagen de “Human Anatomy: Laboratory Guide and Dissection Manual” Timmons y Mackinley. 1998. Reproducción realizada para fines de investigación).

Aunque parezca que la lengua juega un papel negativo para inhalar y exhalar el aire necesario para tocar el instrumento de metal, su importancia radica más en la intervención de interrumpir por completo o cortar brevemente el flujo del aire en el momento en que el músico lo requiera, específicamente durante las articulaciones de las notas, es decir, al momento de cambiar de nota dependiendo del ritmo y tiempo de ejecución en que está escrita la partitura de la pieza musical. En ocasiones el músico solo acciona el mecanismo de pistones o válvulas del instrumento para hacer el cambio de la nota, pero también ocurre que utiliza la lengua para tener un mayor control y precisión en dichos cambios. Sucede que el músico aprende a ser flexible en la acción de la lengua dependiendo de la técnica que haya desarrollado y del tipo de instrumento de metal que ejecuta ya que también determina los momentos adecuados para utilizar dicho órgano.

Si la lengua alcanza tener contacto con los labios interrumpe de inmediato sus vibraciones, provocando efectos poco favorables en el sonido. Si este mismo llega a tener contacto con la boquilla, interrumpe el flujo de aire del soplado del músico y entorpece las vibraciones de los labios causando de igual forma condiciones poco favorables para tocar el instrumento. Cada músico debe aprender a controlar las acciones de la lengua para desarrollar las condiciones necesarias y conseguir los sonidos apropiados en el instrumento de forma que la interpretación de la pieza musical sea lo más correcto posible. Aunque existen otros factores que intervienen (mentales, y del propio instrumento) durante la interpretación, en los concernientes a los factores físicos, la exigencia de controlarlos puede aportar más en su desempeño en vez de que el músico tenga la mejor boquilla o el mejor instrumento para conseguir dichos fines.

Entendiendo los factores físicos, Jacobs (Frederiksen, 1996i) relacionó los labios, la lengua, el cuello y los pulmones con el principio de Daniel Bernoulli (Figura 2.8). Es una analogía que se puede aplicar en los músicos de los instrumentos de metal para entender los momentos en los que el músico inhala/exhala aire para tocar el instrumento; el aire suministrado por los pulmones fluye a través del cuello, hasta finalmente llegar a la boca y los labios. Si la lengua es posicionada de manera que genera una pequeña abertura, la presión sobre el cuello y los pulmones es mayor y la velocidad del soplado aumenta, provocando que la vibración de los labios tenga características particulares y diferentes a como si el cuello tiene una obertura mayor generada por la lengua.

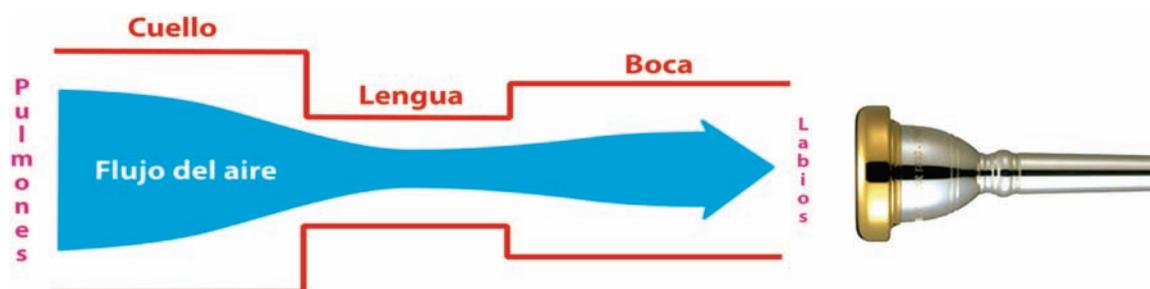


Figura 2.8. Diagrama del tubo de Bernoulli como una analogía de las relaciones de la garganta, la lengua y la boca del músico del instrumento de metal (Diagrama basado de "Arnold Jacobs: Wing and Song." Frederiksen, 1996. Reproducción realizada para fines de investigación).

Analizando los momentos en que el músico inhala/exhala aire a través de esta analogía, el comportamiento real del flujo de aire (también llamado columna de aire) que pasa del cuerpo del músico hacia la boquilla y el instrumento tiene algunas diferencias a lo que el principio de Bernoulli establece, pues las condiciones por las cuales se comporta el flujo son un extracto idealizado. Solo por el hecho de que este principio considera la inexistencia de la fricción entre las paredes del tubo que lo contiene y el fluido, las relaciones entre las variables difiere a lo que realmente se analiza con el soplado.

La aplicación real de este principio es que permite entender la relación de la fuerza y la velocidad del flujo del aire, mejor dicho, el soplado del músico que se dirige hacia la boca

para hacer vibrar los labios. Anteriormente se había discutido respecto como la lengua influye durante la acción del músico al tocar el instrumento, llegando a la observación de que más que ser un músculo con una intervención negativa, puede ayudar a administrar la cantidad de aire ya sea para inhalar la mayor cantidad de aire y/o desarrollar un mayor control al momento de hacer articulaciones de los sonidos (o notas) cuando el músico toca el instrumento.

Con base al principio de Bernoulli es viable deducir la relación de la fuerza, el volumen y la presión del flujo del aire en función de los requerimientos para hacer vibrar los labios. Además se puede establecer momentos específicos del músico durante la ejecución del instrumento de metal:

1. *Captar el mayor volumen de aire posible durante la inhalación:* Se busca que las cavidades internas del sistema respiratorio tengan la menor fricción posible. Para ello la lengua debe estar posicionada de tal forma que la faringe esté lo más abierto posible al igual que la boca. Esto genera que la fuerza y velocidad del flujo del aire sea en menor proporción a la cantidad de volumen captado en los pulmones.
2. *Ejecución de sonidos (notas) graves durante un soplido continuo:* considerando que el volumen captado durante la inhalación es el mismo, para tocar notas graves, el músico hace vibrar sus labios lentamente, y lo logra haciendo que los labios estén flexibles, es decir, no necesitan estar tensos. Por tanto la fuerza del soplido y su velocidad es mayor a la cantidad de volumen que pasa a través de ellos.
3. *Ejecución de sonidos (notas) agudas durante un soplido continuo:* considerando que el volumen captado durante la inhalación es el mismo, para tocar notas agudas, el músico tensa sus labios provocando que el soplido tenga una mayor oposición en su trayectoria aumentando así la vibración. Por tal razón debe aumentar la fuerza del soplido y la velocidad disminuye donde la lengua interviene para cerrar la abertura del cuello y disminuir la cantidad de volumen que pasa hacia el instrumento.
4. *Ejecución de sonidos (notas) agudas y graves en un soplido interrumpido:* Aquí se hace un apartado aun cuando las acciones del músico para ejecutar las notas graves o agudas sean prácticamente las mismas en cuanto a la acción de los labios. Sin embargo la lengua actúa para bloquear en instantes el paso del soplido para un mayor control en la articulaciones de notas por parte del músico.

El músico puede ejecutar estas acciones en instantes cortos o prolongados según sea la exigencia de la composición musical. Sucede que el músico para desempeñar con éxito su labor, debe controlarlos apropiadamente, es decir, debe desarrollar un control especial en su cuerpo para administrar la cantidad de aire, la fuerza y velocidad del soplido dependiendo de las exigencias del instrumento y la composición musical a ejecutar. A veces debe encontrar un equilibrio entre la fuerza y la velocidad del soplido para compensar la cantidad de aire necesaria y en otros casos es poner al máximo sus habilidades para que la fuerza y la velocidad sean los adecuados para generar la nota aguda.

2.1.4 La forma de la embocadura en los labios del músico.

Los labios toman un papel importante al estar en contacto con la boquilla, pues son los que vibran desde su centro hacia fuera en el borde del rin de la boquilla. La parte que se abre y cierra a causa de ceder a la presión del flujo del aire (soplido del músico) se le da el nombre de “embocadura”. Esta sección de los labios reacciona de diversas maneras dependiendo de los factores o circunstancias (inadecuadas u óptimas) del propio músico al momento de tocar el instrumento de metal. “Es simplemente causa y efecto” en palabras de Arnold Jacobs. También comentó que existe un desarrollo de los tejidos de los labios al tocar el instrumento de metal pues hay una hipertrofia de las fibras y aumentan en tamaño, pero no pasa por el hecho de que se esté generando un mayor del número de células que constituyen los labios. (Frederiksen, 1996i)

Explicó que para desarrollar una embocadura no basta simplemente que se accionen un grupo de músculos en los labios, requiere que los tejidos se contraigan, extiendan, eleven y bajen debido a las circunstancias de las vibraciones generadas por el aire que pasa por en medio de ellos. En personas que inician la profesión de la música, las fibras de los labios no están desarrolladas de forma adecuada por lo que su rango de acción es limitado. En el caso de un estudiante, si toca su instrumento de manera continua, las fibras de los músculos de sus labios se desarrollan de forma gradual en conjunto con otras habilidades necesarias para tocar el instrumento de metal. En la construcción de una adecuada embocadura en los músculos, Jacobs comentó lo siguiente:

“Un sonido es por sí mismo la construcción de la embocadura. Cuando se alcance toda la gama de sonidos del instrumento, no habrá duda que se habrá obtenido una fortaleza de la embocadura. Si se incluyen los cambios rápidos del tono en intervalos, es como lograremos los objetivos de perfeccionar la forma de la embocadura para reducir la cantidad de cambios en la musculatura. (Frederiksen, 1996j)”

La embocadura tiene que ser una fuente de vibración, y no se puede vibrar sin un movimiento de una columna (flujo del soplido) de aire. “Si éste se sustituye con una corriente eléctrica y se aplica sobre los labios para generar vibraciones, entonces no se necesitaría del aire, pero sí de una adecuada vibración” (Frederiksen, 1996k).

Una embocadura puede ser tan eficaz independientemente de cómo se desarrolle en los labios. En las Figuras 2.9, 2.10a y 2.10b, Arnold Jacobs realizó una demostración con un visualizador de boquilla de la embocadura que generaba en sus labios. Se puede apreciar que su forma no es simétrica y varía dependiendo de la localización del visualizador (que simula el aro de la boquilla) en sus labios.

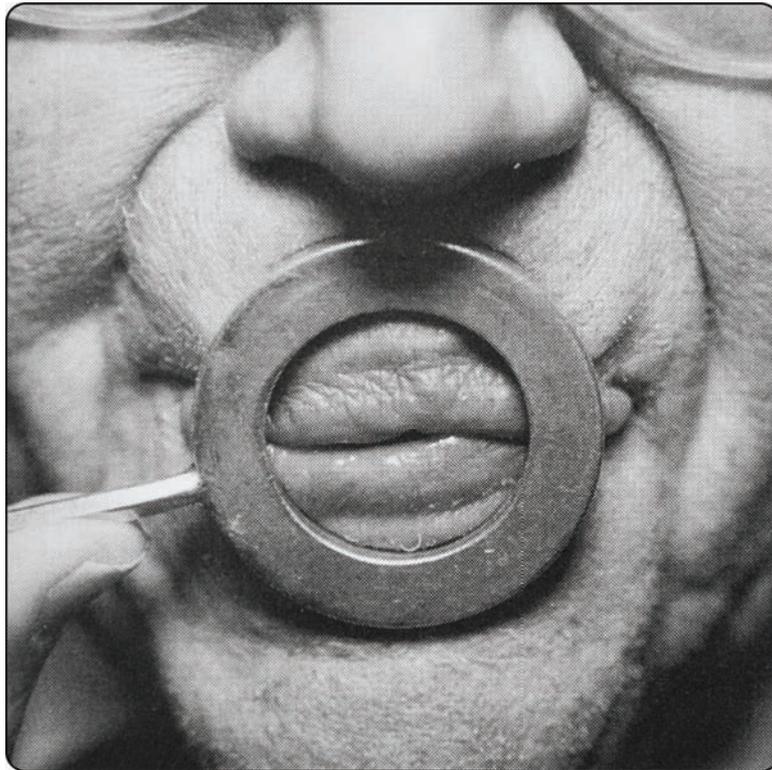


Figura 2.9. Arnold Jacobs mostrando la embocadura que forma sus labios mediante un visualizador de boquilla. La embocadura se localiza en la parte central de sus labios.

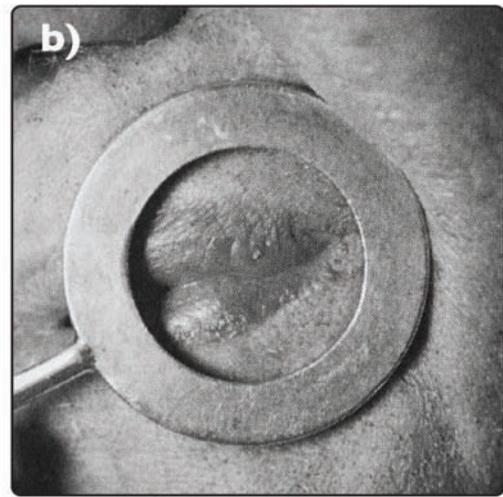


Figura 2.10a). Arnold Jacobs mostrando el desarrollo de su embocadura en el extremo derecho de sus labios.

Figura 2.10b). Arnold Jacobs mostrando el desarrollo de su embocadura en el extremo izquierdo de sus labios.

(Fotos © de John Taylor. Imágenes de "Arnold Jacobs: Wing and Song." Frederiksen, 1996. Reproducción realizada para fines de investigación.)

2.1.5 La conceptualización y la identificación de sonidos musicales.

El hombre tiene un enorme potencial porque tiene la habilidad de adquirir información a través de sus receptores sensoriales (oído, el tacto, etc.) y también impartir información a través de sus actividades motoras (hablar, escribir, hacer gestos, etc.). Para ello, los nervios sensoriales recopilan información y envían señales al cerebro y este envía otro tipo de señales para afectar las actividades motoras a través de los nervios motores. Sin embargo los nervios sensoriales y motores solo pueden enviarlas en una sola dirección (los nervios sensoriales recopilan información y los nervios motores distribuyen la información). Por ello una persona puede aprender a través de los nervios sensoriales y actuar a través de los nervios motores. Gran parte de su experiencia está determinada por sus actividades sensoriales (recopilar información y aprender), sin embargo no presta mucha atención en la habilidad de distribuir información, por tanto la habilidad de recibir información es mucho mayor que la habilidad de impartirla. Por ejemplo escuchar música es una actividad sensorial pero ejecutar un instrumento es una actividad psicomotora (Nelson, 2006a). Por ello, muchos pueden escuchar música pero pocos ejecutan un instrumento.

A través de esta explicación Jacobs (Nelson, 2006b) estableció que el músico debe desarrollar un control mental de las acciones para que las actividades motoras le permitan ejecutar el instrumento de metal. Cuando un alumno de música inicia su aprendizaje al principio es completamente sensorial pero bajo una continua práctica esto cambia hacia una actividad motora. En otras palabras, cuando se inicia en la música, es vital que primero se escuche el sonido de una nota (o una serie de notas) y posteriormente conceptualizarlo en la imaginación (generar una imagen mental), y posteriormente hacer que la mente establezca las acciones necesarias del cuerpo para conseguir los resultados sonoros formados en pensamiento.

Su planteamiento es una síntesis de los procesos cognitivos relevantes para la percepción y ejecución de sonidos, lo cual implica un proceso de reconocimiento de patrones ya que el sistema nervioso evolucionó a fin de dotar al organismo la capacidad de detectar, clasificar, identificar y almacenar información relevante contenida en un complejo total de estímulos que llegan al organismo, y anticipar y reaccionar apropiadamente a los rápidos cambios del entorno. Para ser capaz de extraer del gran volumen de información sensorial que traen los estímulos una significativa información, el sistema debe contar con una serie de filtros que le ayuden a separar aspectos relevantes de los irrelevantes. Estos filtros deben estar sintonizados en rasgos o patrones invariantes de los estímulos considerados importantes. En la percepción sonora, el rasgo más primitivo que tiende a ser reconocido por el sistema nervioso, es la intensidad, como correlato perceptivo que depende del flujo total de la energía acústica. El siguiente rasgo a ser considerado es la periodicidad de un sonido y el tercer nivel de refinamiento es la consideración del espectro de potencia de tono, que lleva a la sensación (estática) del timbre (Roederer, 1997a).

La percepción del timbre (también nombrado como calidad tonal) es solo una primera etapa en la operación de reconocimiento de la fuente sonora que en la música es la

identificación del instrumento, mediante un mecanismo del cual se extrae información de la señal auditiva adecuada para los siguientes fines:

1. Almacenamiento de información en la memoria con un adecuado rótulo.
2. Comparación de la información previamente almacenada e identificada.

La primera involucra un aprendizaje o condicionamiento pues un niño que aprende a reconocer un instrumento musical determinado se le hace escuchar sucesivas veces una melodía ejecutada por ese instrumento, mientras se le dice “esto es un clarinete.” Su cerebro extrae la información apropiada de la sucesión de estímulos auditivos, rotula la información como “clarinete” y la almacena en la memoria. La segunda operación representa la respuesta condicionada a un patrón aprendido: cuando el niño escucha un clarinete después de la experiencia de aprendizaje, su cerebro compara la información extraída de la señal que llega (es decir el timbre) con claves previamente almacenada, y si logra un cotejo entonces dice que se trata de “un clarinete.” Por otro lado si escucha un sonido nuevo por ejemplo una serie de tonos hechos por un sintetizador electrónico, el sistema de extracción de información alimenta al mecanismo de equiparación el cual trata de comparar la información que llega con aquella previamente almacenada. Si en este proceso no hay un apareamiento, eventualmente se abre un nuevo archivo de almacenamiento para esta nueva cualidad sonora para ser identificada posteriormente. Si la comparación se cumple solo parcialmente se reacciona con juicios como “suena como un clarinete” o “suena a un trombón que ladra” (Roederer, 1997b).

Lo que hace que un instrumento del mismo tipo suene más bello que otro es que se aprende a extraer los patrones de vibración sonora una información cada vez más refinada, lo que capacita a distinguir distintas muestras de instrumentos de la misma clase. Las razones por las cuales algunos patrones vibratorios no parecen ser mas bellos que otros es algo que en realidad no se sabe con certeza. En gran medida la impresión de quien escucha se basa en su experiencia pues desde el comienzo de la educación musical se dice que sonidos (tonos) deben ser rotulados como bellos y cuales no. El cerebro robustece los patrones de identificación correspondientes, basándose en un procesamiento de información muy refinado, que le permite reconocer aspectos muy pequeños prácticamente inmensurables de la estructura de la señal acústica recibida (Roederer, 1997c). Es por ello que cuando el músico tiene un entrenamiento continuo de precepción del sonido, logra identificarlos y clasificarlos con base a sus previas experiencias de los atributos establecidos.

Cuando Arnold Jacobs comenta sobre “conceptualizar el sonido,” sucede que el sentido de la audición reconoce objetos en el espacio acústico, señales auditivas de ondas sonoras de rasgos bien definidos y las relaciones que tiene con las fuentes que los origina en un medio ambiente. A manera simplificada Roederer explica que la precepción sensorial auditiva es una serie de señales externas que son primero convertidas en señales nerviosas, y transferidas a áreas corticales de recepción primaria, desde donde son transferidas a áreas secundarias y de asociación, los lóbulos frontales y al resto del cerebro (Figura 2.10c). Esta información sensorial es codificada en el sistema nervoso en forma de una distribución espacial y temporal de impulsos eléctricos, pues la

representación mental o cerebral de un objeto (visual o auditivo en este caso) es la distribución específica de señales eléctricas en la red neural de la corteza cerebral que aparecen en correspondencia causal, unívoca con el conjunto de rasgos recibidos por los sentidos durante la presentación de ese objeto (sonido) en particular. (Roederer, 1979).

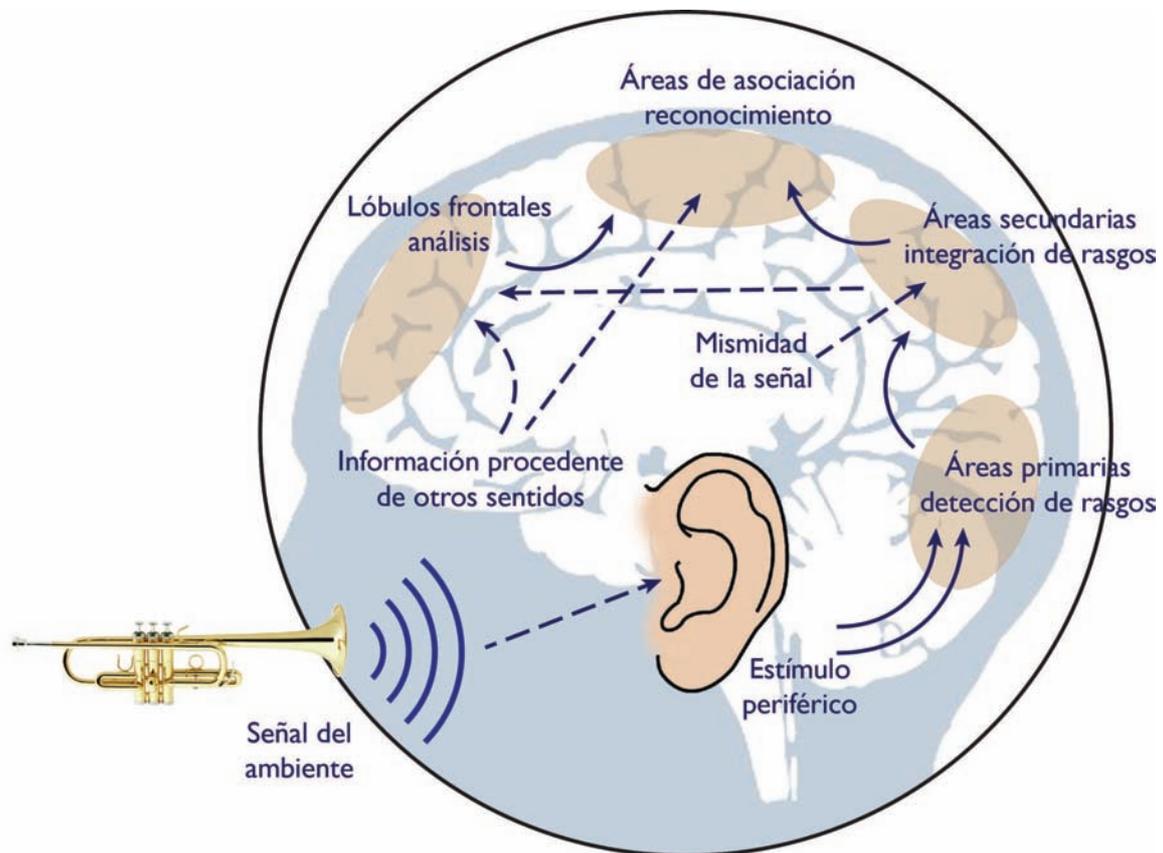


Figura 2.10c. Etapas de una percepción de un objeto según Roederer (Diagrama basado de “La Acústica y Psicoacústica de la Música. Roederer,1997. Reproducción realizada para fines de investigación).

Cada vez que se reconoce los sonidos (tonos) de un clarinete (o trompeta), está ocurriendo una distribución de actividad neural única, y que es la misma para todos los sonidos de dicho instrumento. El acto de recordar un suceso consiste en la reactivación de esa particular distribución o patrón de señales neuronales que fueron específicos del evento sensorial original. Cuando ese patrón es disparado por acción externa, por ejemplo al escuchar una nota musical, se reconoce o recuerda que la nota proviene de un instrumentos de música (clarinete). Cuando esta actividad es disparada internamente por una asociación o por un acto de voluntad se recuerda el sonido del instrumento en ausencia del sonido externo verdadero. Esto representa la forma más simple de activación del mecanismo de imaginación acústica (a lo que Jacobs llamaba como conceptualización del sonido). Existe evidencia experimental de que todo el proceso (de la Figura 2.10c) puede operar en sentido inverso: cuando se le dice a una persona que imagine una manzana roja, se envía un estímulo apropiado desde los lóbulos frontales

hacia las áreas de asociación y recepción visual, donde se despliega casi la misma actividad neural que sería evocada si la persona realmente viese la manzana. Un compositor que “imagina” una adecuada secuencia de sonidos evoca una actividad nerviosa específica en las áreas de procesamiento acústico idéntico del mismo modo a como si realmente escuchara dicha secuencia (Roederer, 1997d). Por ello, Jacobs continuamente enfatizaba que mentalizar el sonido o la secuencia de una composición musical se logra desarrollar las habilidades físicas necesarias para generarlas obteniéndose los mismos resultados tal y como está almacenada en la memoria.

Hasta ahora, la respiración, los músculos de los labios, la forma de la embocadura y la técnica de ejecución así como la percepción del sonido aprendida son los principales factores que influyen en este primer elemento del sistema, el músico. La siguiente sección del capítulo corresponde a los análisis de los principales factores del segundo elemento del sistema, la boquilla.

2.2 Segundo elemento del sistema: La boquilla.

La distinción entre los instrumentos de viento con respecto a los de instrumentos de metal es que en estos últimos, su sonido es generado por las vibraciones de los labios del músico. Entre ellos, una presión de aire es suministrada por el cuerpo y contra ellos, está la boquilla conectada con el instrumento (Baines, 1993a). Al momento en que los labios estén en contacto directo con la boquilla, están parcialmente cerrados y las partes centrales vibran tras estar cediendo a la presión del soplido del músico debido a que impiden la disipación de la presión del aire hacia el instrumento. Dichas vibraciones son inmediatamente detectadas por la columna de aire que se encuentra dentro del instrumento y transmiten el sonido tal como los labios lo generen en ese momento. Si una persona realiza un soplo duro, el sonido generado es burdo y sin algún sentido o característica musical. En cambio, para la boca y labios entrenados de un músico es necesario que tengan un correcto control muscular para obtener un sonido con características especiales de una nota musical (Baines, 1993b).

La función de la boquilla es fundamentalmente conectar al músico con el instrumento y desarrollar la vibración de los labios. Sin embargo, conforme se avance en el análisis resulta ser un dispositivo complicado y explicar su función es aún más complejo.

2.2.1 Orígenes de la boquilla y su evolución.

La boquilla es desde su origen un adaptador entre el músico con el instrumento y necesariamente su diámetro inicial es pequeño (respecto a la copa del instrumento) para permitir una vibración eficiente de los labios. Los primeros ejemplos de boquillas son los cuernos de los animales o caracoles de mar, a los que se les hacía un corte en el extremo más estrecho y se le hacía una cavidad (en el caso del cuerno del animal) para hacer un soplido en su parte interna (Baines, 1993c). Luego esto cambió en la creación de instrumentos hechos de madera en los que se tiene registro de la elaboración de las primeras trompetas (Figura 2.11).



Figura 2.11. Evolución de la boquilla a través del tiempo. (Algunas imágenes provienen de “Brass instruments: Their History and Development, Baines, 1993. Reproducciones realizadas para fines de investigación).

Posteriormente el instrumento comenzó a ser construido con metales (bronce y cobre principalmente) donde la boquilla formaba parte de éste. Después su tendencia fue hacerlo por separado también con base de metal para adaptarse a las diferentes variedades y tipos de instrumentos siguiendo patrones específicos. Actualmente la boquilla es considerada uno de los componentes más difíciles de los instrumentos de metal. Su función en la acústica del instrumento ha estado bajo continua investigación, aunque se puede decir que sus variedades en la forma de su perfil interno favorecen en mayor o menor grado a la generación de matices de los sonidos del propio instrumento (Baines, 1993d).

Desde que los instrumentos de metal comenzaron a aparecer han evolucionado de manera importante, cambiando la forma de su campana principal, añadiendo/eliminando extensiones de tubo o acoplando nuevos mecanismos para la generación de las diversas notas de la escala musical. En cuanto a la forma elemental de la boquilla, está compuesta por una concavidad interna en forma de cono acoplado a una extensión tubular que se ha mantenido desde los orígenes del instrumento de metal. Incluso hay casos de algunos instrumentos que dejaron de ser producidos (por ejemplo el serpentón y oficleido) y evolucionaron en los instrumentos que actualmente se encuentran en las orquestas sinfónicas o en grupos pequeños de bandas de música conformado por 4 hasta 20 miembros siendo la tuba y trompeta los principales instrumentos de metal.

Actualmente la boquilla se encuentra en dos tipos muy populares. La primera tiene una larga concavidad de campana nombrada en forma “V”, comúnmente se le conoce como el estilo americano, y otra cuya concavidad es más estrecha en forma de “C” o mejor conocido como de estilo europeo o alemán (Figura 2.12).

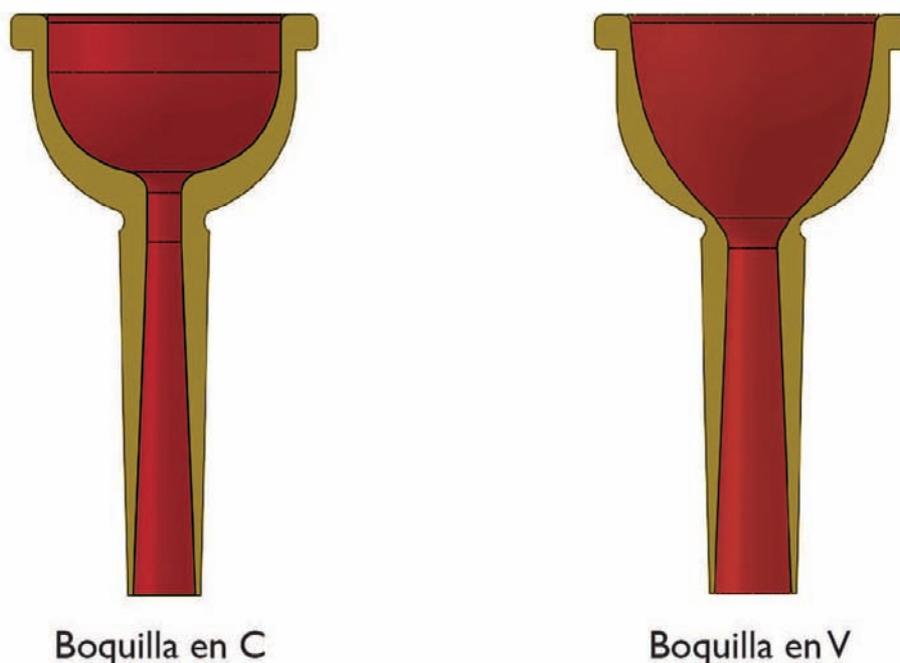


Figura 2.12. Tipos actuales de boquilla para la tuba basados del catálogo de Tuba World Company.

Para los actuales tipos de boquilla se conoce que la concavidad en “V” (estilo americano) genera una fuerte resonancia⁸, amplio sonido y permite al músico tener una mayor respuesta al momento de establecer cambios de tonos⁹ musicales. En el caso de la boquilla en “C” (estilo europeo o alemán) se considera que el sonido es más vibrante, logrando alcanzar sobretonos¹⁰ (también se le conoce como armónicos) para una mayor proyección del sonido en el instrumento.

2.2.2 Partes de la boquilla del instrumento de metal.

Para distinguir las diferencias en las formas de la boquilla, se han hecho clasificaciones en base a las siguientes partes (Figura 2.13):

1. *Diámetro de la copa*: Es el área libre donde los labios vibran y generan el sonido para el instrumento.
2. *Aro de la boquilla*: Es donde la boca y los labios están en contacto con la boquilla, además es la parte que proporciona soporte al músico para generar las vibraciones.
3. *Copa*: La profundidad y la forma de la copa generan la sonoridad y la facilidad al músico para la interpretación de las notas agudas o graves.
4. *Cuello*: Diámetro que regula la presión y el flujo de aire introducido hacia el instrumento.
5. *Cono interior*: Sus dimensiones y forma afectan significativamente a las notas altas así como a las bajas.
6. *Diámetro máximo del Cono Interior*: Parte final de la boquilla.
7. *Tudel*: La correcta forma cónica y dimensional intervienen en el ajuste correcto con el instrumento.

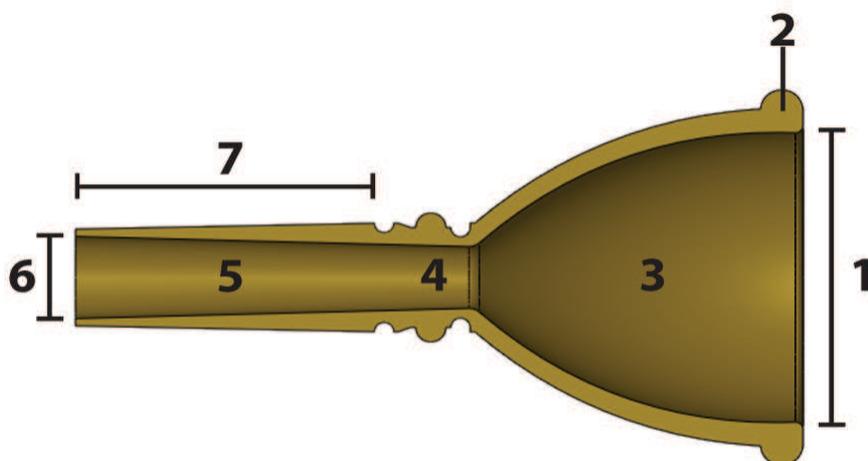


Figura 2.13. Partes esenciales de la boquilla de tuba.

⁸ La resonancia en música, es referirse a los sonidos elementales que acompañan a una nota musical principal y comunican un timbre particular a cada instrumento.

⁹ Propiedad de los sonidos que les caracteriza como agudos o graves en función de su frecuencia.

¹⁰ El sobretono es un componente de mayor frecuencia que la frecuencia fundamental del tono base. En el caso de la música, es una nota más alta que la nota fundamental.

2.2.3 Algunas propuestas de métodos descriptivos para boquillas.

La forma de la boquilla es considerada para la mayoría de los músicos como la característica más crítica e importante en su funcionamiento y diseño que hacia otras partes del propio instrumento de metal. Los estudios sobre los efectos de las boquillas en los instrumentos de metal han sido de manera subjetiva en su mayoría, basados principalmente en experiencias previas en su selección y uso, ajustándose a las características anatómicas y deseos de interpretación (estilo musical) de los propios músicos de instrumentos de metal (Myers, 1998a).

Se han hecho varios criterios de medida y selección de boquillas que han sido publicados por diferentes compañías manufactureras y algunos autores: Bach, 1952, Schilke 1952, Hall 1963, Himes 1982, Stock y Stork 1989 y Elliott (Myers 1998b). Ellos han discutido los relativos beneficios tras cambiar las proporciones esenciales de la boquilla como son el diámetro de la copa y el calibre de los perfiles del aro y el cuello. Sin embargo, se ha admitido que dicha investigación acústica todavía no ha dado un análisis completo sobre la función de la boquilla pues solo se ha considerado el diseño a detalle de la forma para un exacto control de los sonidos en el instrumento de metal. Además “la evolución de las boquillas ha sido descuidada por los propios estudiosos de la música, pues la mayoría de los historiadores en instrumentos raramente la analizan a profundidad mostrando las diferencias más obvias entre las boquillas de las primeras trompetas con respecto a las trompetas modernas o las boquillas de las primeras cornetas con respecto al modelo actual” (Myers, 1998c).

Las descripciones para un sistema de medición de boquillas solo han sido elaboradas para cierto rango de instrumentos. Para las primeras y las modernas trompetas las realizó Halfpenny (Myers, 1998d). En el caso de las cornetas fue Rohner (Myers, 1998e). Este último sugirió un sistema estandarizado de descripción de las boquillas mediante 7 parámetros (Figura 2.14) que hacen referencia a las medidas de las partes de interés de la boquilla, y de ahí hace una clasificación mediante un código numérico (código T-V-D CRIB). Sin embargo, este sistema sólo considera las boquillas para trompetas y cornetas, por lo que el código numérico no fue adoptado por los fabricantes de boquillas quienes han continuado de forma independiente utilizando sus propios códigos de medición. El método de medición de Rohner (Myers, 1998f) del volumen de la copa no puede ser trasladado a boquillas de otros tamaños de instrumentos.

En el caso de Halfpenny (Myers, 1998g) usó diez mediciones para describir las boquillas de las trompetas, expresando información sobre la forma de la copa, el contorno del rin y la curvatura del borde entre el rin y la copa, pero únicamente con fines ilustrativos. Heyde (Myers, 1998h) por su parte proporcionó un diagrama de 28 formas de copas, que le permitieron asignar las boquillas de la colección de la Universidad de Leipzig. Usando seis mediciones extrajo proporciones de la conicidad y profundidad de la copa como una proporción de longitud total. Como puede verse, los métodos propuestos son para casos particulares de boquillas.

Garganta-Volumen-Diámetro-Curvatura-Espesor del borde-Impresión-Contorno										
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T - Garganta	29	28	27*	26	25	24	23	22	21	20
V - Volumen	15	16	17	18	19*	20	21	22	23	24
D - Diámetro	59	60	61	62	63	64	65*	66	67	68
C - Curvatura	9	10	11	12	13*	14	15	16	17	18
R - Espesor del borde	19	20	21*	22	23	24	25	26	27	28
I - Impresión	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
B - Contorno	-	-	2	3	4*	5	6	7	8	9

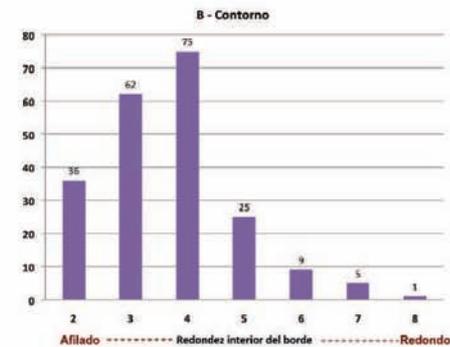
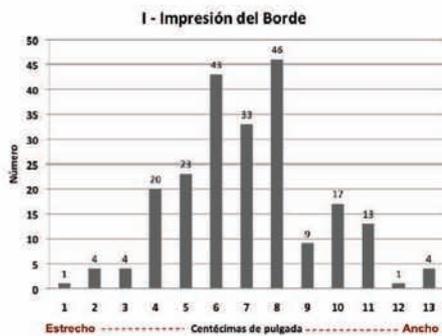
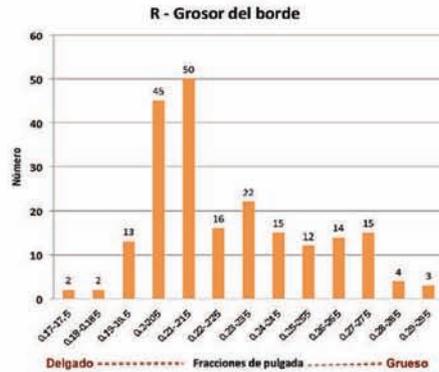
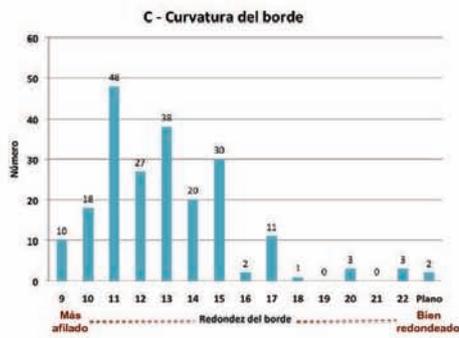
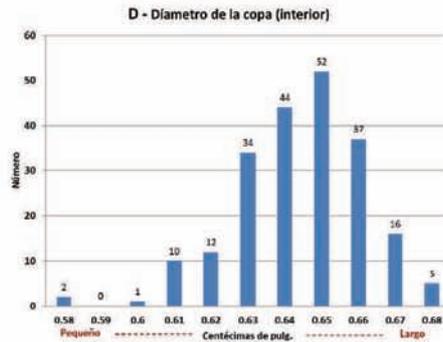
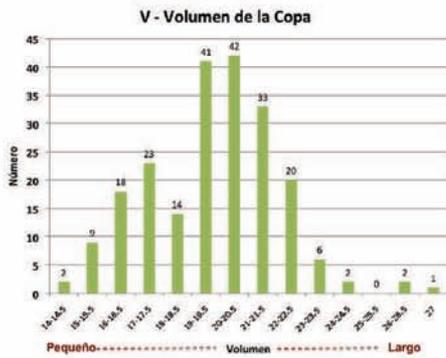
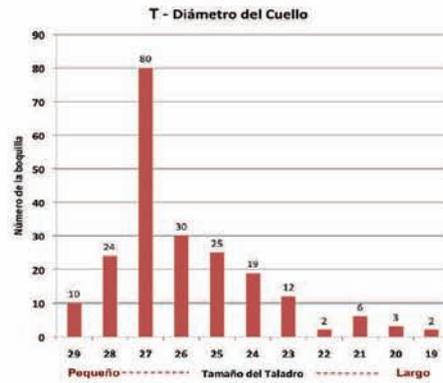


Figura 2.14. Descripción de la boquilla propuesta por Rohner en 1952 (Tablas de “Characterization and Taxonomy of Historic Brass Musical Instruments from an Acoustical Standpoint” Myers,1998. Reproducción realizada para fines de investigación).

2.2.4 Descripción física de la acústica de la boquilla.

Parte fundamental en la función de la boquilla es proporcionar soporte a los labios de tal modo que el músico las coloca en el aro y las aprieta para hacer el efecto de un sellado. De esta forma los labios del músico se acoplan con la columna de aire del propio instrumento, sin embargo, las funciones acústicas de la boquilla son mucho más complejas a lo que idealmente se comenta y se representa en la teoría.

Una primera aproximación del comportamiento es por medio de la descripción de la “Frecuencia resonante Helmholtz”. Se trata de una cavidad ventilada por un tubo cilíndrico, y expone que el cuadrado de la frecuencia es proporcional al área de sección transversal “ S ” del cilindro e inversamente proporcional al volumen “ V ” de la cavidad y la longitud “ L ” del cilindro (Fletcher y Rossing, 1991) (Figura 2.15). Además se considera que cuando la boquilla es colocada en el instrumento de metal, es la continuación y forma parte de su cavidad (Myers, 1998i). Por último, una boquilla con una resonancia adecuada es esencial para el diseño y funcionamiento del instrumento por lo que sus características físicas son importantes en una propuesta de diseño.

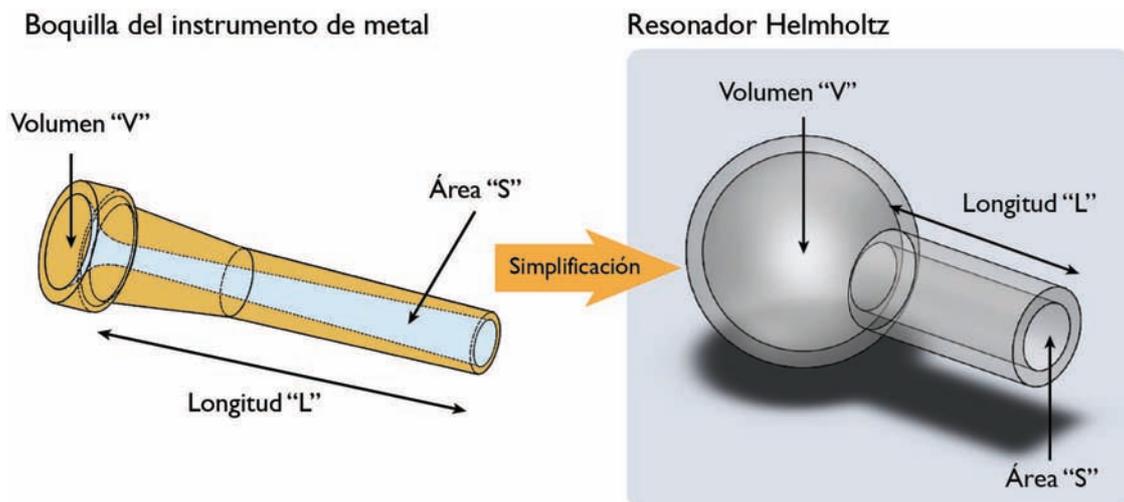


Figura 2.15. El resonador Helmholtz. Modelo básico de una boquilla (Basado de “Characterization and Taxonomy of Historic Brass Musical Instruments from an Acoustical Standpoint” Myers, 1998).

2.2.5 Análisis de la boquilla a través de la simulación en computadora.

Como se ha visto, los músicos tienen conocimiento de que la forma de la boquilla es el factor que más influye para la generación de sonidos en el instrumento, siendo una opinión basada en la experiencia personal y profesional en el campo de la música. Dentro de las diversas opiniones sobre la forma de la boquilla, se encuentra el estudio de Anglmayer el cual hizo un análisis mediante la simulación de computadora a fin de establecer la relación de la forma de la boquilla con la producción de sonidos. Estableció ciertos perfiles específicos de copa (Figura 2.16) y tudel (Figura 2.17) para posteriormente simular el comportamiento del sonido a través de un modelo matemático. Los resultados obtenidos permiten llegar a ciertas conclusiones sobre la

forma de la boquilla dando sustento al conocimiento empírico del músico sobre este dispositivo. Su trabajo concluye lo siguiente (Figura 2.18):

- La forma de la copa de la boquilla es lo que más influye en el sonido del instrumento. Realizar cambios significativos en esta parte tiene consecuencias muy complejas.
- Cambios en el cuello de la boquilla no tienen gran influencia en la entonación del instrumento.
- La forma del tudel cambia la entonación del instrumento. Dependiendo de su forma y volumen, los resultados son en un incremento o decremento de sus tonos naturales.
- La forma interna de toda la boquilla (como un volumen constante) definitivamente puede cambiar la entonación del instrumento.

Es posible que no exista un tipo específico o especializado de boquilla para cada uno de los instrumentos de metal así como tampoco hay un sonido unificado o específico entre los músicos. Tratar de buscar una tendencia homogénea en la entonación de los sonidos resulta muy tedioso. El análisis sustenta el conocimiento empírico que los músicos tienen sobre la boquilla y explica con mayor claridad sobre las factores que son más importantes y necesarios a considerar en la entonación de las nuevas propuestas de diseño de una boquilla.

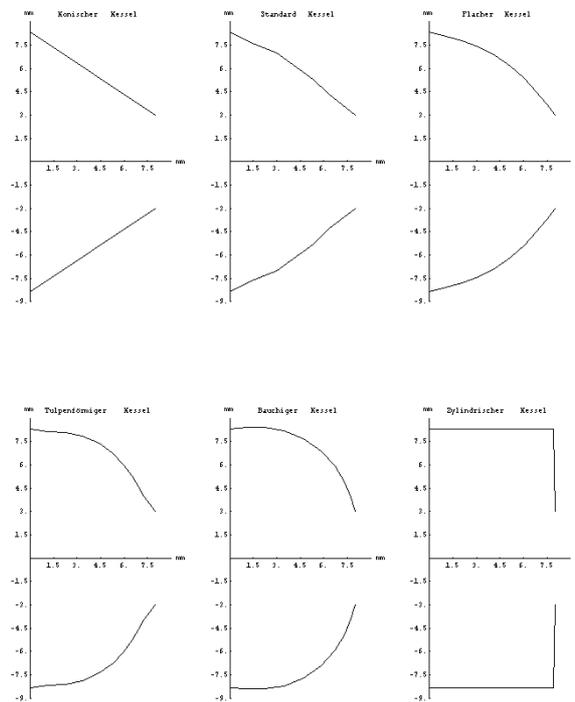


Figura 2.16. Perfiles de copa de la boquilla utilizados en la simulación en computadora. (Imagen de “Simulation of Brass Instruments Computer Model Foundations” <http://iwk.mdw.ac.at/Forschung/english/simulation/simulation.htm>. Reproducción realizada para fines de investigación).

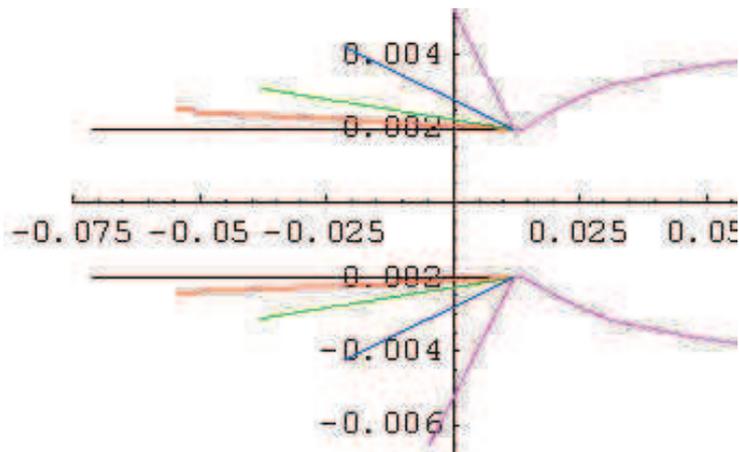


Figura 2.17. Perfiles del cono interior del tudel de la boquilla utilizados para el análisis por simulación en computadora. La variación radicó en aumentar el diámetro del cono interior y simular sus efectos mediante el modelo matemático propuesto por Anglmayer (Imagen de “Simulation of Brass Instruments Computer Model Foundations” <http://iwk.mdw.ac.at/Forschung/english/simulation/simulation.htm>. Reproducción realizada para fines de investigación).

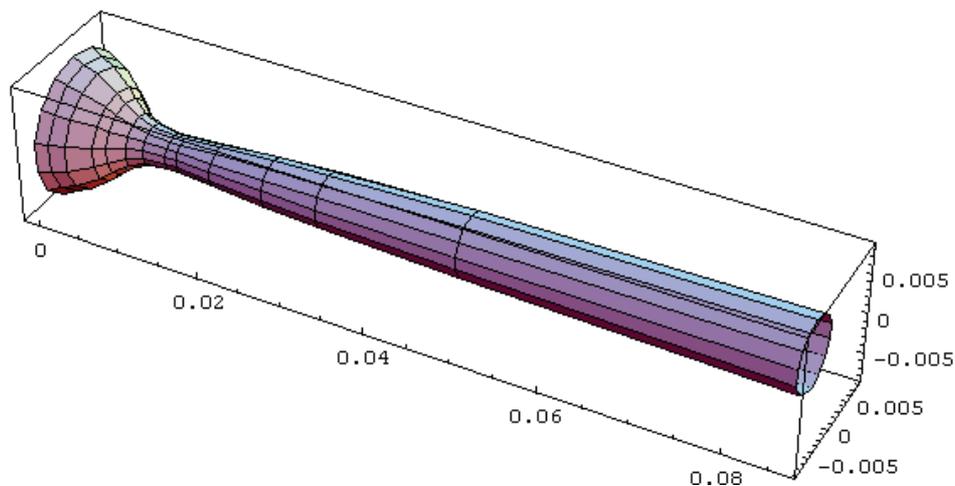


Figura 2.18. Forma interna de una de las boquilla propuestas para la simulación en computadora. El tudel es amplio y la copa pequeña en el caso de una boquilla para trompeta. (Imagen de “Simulation of Brass Instruments Computer Model Foundations” <http://iwk.mdw.ac.at/Forschung/english/simulation/simulation.htm>. Reproducción realizada para fines de investigación).

2.2.6 Análisis de los diseños actuales de la boquilla para el instrumento de metal. “Un elemento de interfaz crítico.”

Actualmente las opciones de boquillas que el músico tiene a la mano son amplias y como se ha visto en anteriores secciones su evolución pareciera tener pocos o significativos cambios manteniendo su forma esencial. Esto es verdad hasta cierto punto cuando éste forma parte del instrumento musical como una copa de diámetro chico que se acopla a

una sección tubular. Pero tras examinarse como un “elemento de interfaz crítico” resulta interesante ver que sus cambios son importantes por lo que se requirió de un análisis profundo.

Este análisis fue hecho mediante la revisión de 27 diseños desarrollados comercialmente o por lo menos de forma conceptual. Varias propuestas han sido registradas mediante la documentación de patente y en otros casos en catálogos de modelos de compañías manufactureras de instrumentos musicales. El banco de información resulta amplio y muy tedioso si se toma la tarea de analizar cada una de las propuestas registradas hasta hoy. Por las condiciones de tiempo de la investigación solo se muestran casos particulares de diseño de boquillas donde sus características han tenido un impacto importante en su función de interfaz. La mayoría de los ejemplos expuestos en esta sección son patentes provenientes de la Unites States Patent, United States Patent Office y de United States Patent Application Publication.

Analizando las patentes, se identifican objetivos que han impulsado el desarrollo de las diversas propuestas de diseño. En términos generales las principales razones son las siguientes:

1. Optimizar la entonación del sonido en el instrumento musical. *A través de la boquilla se ha intentado:*

- I.1. Mejorar el tono del instrumento cambiando la forma interna de la boquilla.
- I.2. Que el músico alcance generar apropiadamente las notas agudas.

2. Mejorar el empalme de la boquilla con el músico. *A través de cambios en la forma externa de la boquilla.*

3. Mejorar el acoplamiento de la boquilla con el instrumento. *Para fines de entonación y calidad del sonido en el instrumento de metal.*

4. Dar versatilidad y mejorar la función de la boquilla.

- 4.1. Sin necesidad de hacer cambios en la boquilla, se adicionan elementos que complementan su función.
- 4.2. Hacer la boquilla a partir de elementos modulares para adaptarse a las diversas condiciones acústicas y necesidades del músico.

5. Desarrollar las habilidades del músico en el control de la vibración de los labios. *Con fines de enseñanza para transmitir los conocimientos del músico profesional hacia los estudiantes de música.*

6. Disminuir el esfuerzo del músico al tocar el instrumento de música. *Intencionalmente se busca que el músico mejore sus habilidades en la acción del soplido y vibración de los labios al momento de la ejecución de la pieza musical.*

7. Optimizar pasos de manufactura de la boquilla. *Principalmente para disminuir los costos de operación para su fabricación.*

8. Aplicación de nuevos materiales. Con la intención de sustituir los materiales metálicos (latón con baño de plata u oro) con otros procurando obtener resultados acústicos muy similares.

Para ofrecer una solución, los diseños han considerado ciertos grupos de factores que tienen gran influencia y que repetidamente buscan controlar (Figura 2.19). Los factores fundamentales son los siguientes:

- 1. Factores de forma.** Estableciendo un arreglo de perfiles específicos en las partes de la boquilla.
- 2. Factores de dimensión.** Mediante la definición de longitudes, diámetros y ángulos específicos en cada parte que constituye la boquilla. Este tipo de factores son los que más se pretenden controlar en los diseños.
- 3. Factores de restricción.** Se establecen límites o se aumenta la libertad de movimiento, flujo y posición en las partes de la boquilla, el instrumento e inclusive en el propio músico.
- 4. Factores de material.** Las propiedades del material constituye un punto importante en la acústica, siendo los más utilizados los metales (latón, oro, plata y últimamente acero inoxidable). Actualmente existe una tendencia a sustituirlos por los plásticos, bajo la condición de que se obtengan resultados acústicos similares a los metales. Además, dependiendo del material seleccionado el proceso de manufactura tiene que ser establecido con base a las formas y dimensiones que se desean tener en la boquilla.
- 5. Factores de acoplamiento.** Modificando la relación entre el músico y el instrumento, o también entre las partes que constituyen la boquilla. Mediante estos factores se determina su versatilidad en la ejecución.

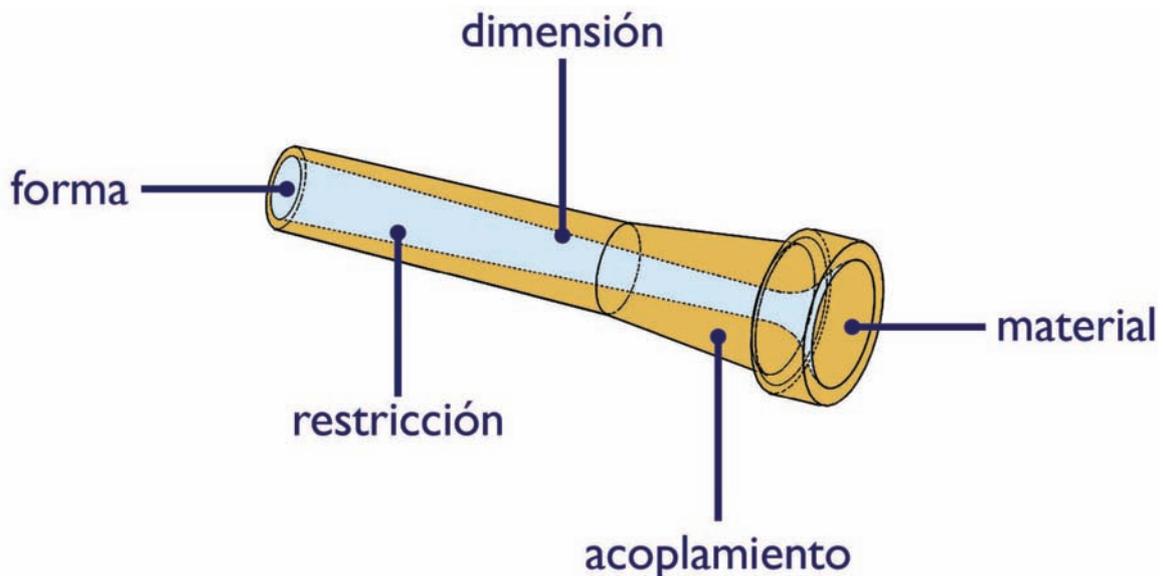


Figura 2.19. Principales factores que influyen en el comportamiento de la boquilla del instrumento de metal

Cada uno de estos factores influye en la boquilla, en el músico y el instrumento. Pero profundizando más el análisis se distingue que cada uno de ellos tiene más relación hacia ciertas partes específicas de la boquilla. A continuación se explica detalladamente cada uno de ellos.

- **Factores de forma:** Concerniente a definir los perfiles de las partes de la boquilla, principalmente las siguientes (Figura 2.20):
 - *Partes internas de la boquilla:*
 - *La copa:* el perfil suele ser una curva suave (en forma de V), o curva muy cerrada (cóncavas o en forma de C), en algunos casos el perfil es escalonado o por secciones rectas.
 - *El cuello:* generalmente su perfil es una sección cilíndrica y en algunos casos hay protuberancias de geometrías básicas.
 - *El tudel:* habitualmente el perfil es la sección de un cilindro cónico, pero existe el caso de un escalonamiento de cilindros rectos concéntricos.
 - *Parte externa de la boquilla:*
 - *El aro:* es la parte que tiene contacto directo con la boca, considerado como el más crítico en el acoplamiento con el músico. El perfil común es un cilindro recto, pero hay algunos casos que es ovalado. También se suele especificar un plano con cierta inclinación con respecto a la horizontal del aro de la boquilla con el fin de ofrecer la mayor comodidad de contacto evitando que sus borde sean lo menos afiliados para el músico.
 - *Cuerpo de la boquilla:* Son muy diversas las formas ya que depende de cada fabricante y va desde geometrías muy simples (cilindros, conos) hasta perfiles complejos (Figura 2.24).
- **Factores de dimensión.** Es especificar tamaños en cada una de las partes de la boquilla. Usualmente se consideran las siguientes dimensiones (Figura 2.21):
 - *Partes internas de la boquilla:*
 - *La copa:* se define un diámetro de entrada y un diámetro de salida. También se especifican ángulos de inclinación. Además se considera la longitud de la copa.
 - *El cuello:* se define un diámetro de entrada y un diámetro de salida estrechos. Suele tener una longitud corta.
 - *El tudel:* se especifica el ángulo de inclinación de la sección cónica y su longitud total. También se definen diámetros de entrada y salida para determinar la cantidad del flujo del aire que pasa al instrumento.

- *Parte externa de la boquilla:*
 - *El aro:* se especifica el diámetro máximo, la longitud, y un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal del aro (en algunos casos).
 - *Cuerpo de la boquilla:* depende de cada fabricante para caracterizar su diseño frente a otras propuestas.
- **Factores de restricción.** Usualmente se aplican sobre los siguientes aspectos (Figura 2.22):
 - *Limitar/aumentar libertad de movimiento:* principalmente en la vibración de los labios.
 - En el caso de limitar se ha hecho con respecto a:
 - *El labio inferior:* considerando que es la parte de la boca que tiene poca intervención en la generación del sonido.
 - En el caso de aumentar la libertad de vibración se ha hecho con respecto a:
 - *El labio superior:* en ciertos casos es considerado como la parte de la boca que genera el sonido real para el instrumento musical.
 - *Ambos labios:* Considerando que el movimiento de ambos son los que generan el sonido para el instrumento. Mayor movimiento de ambos labios se generan sonidos de resultados diferentes a los comunes.
 - *La posición:* corresponde específicamente a la manera de colocar:
 - *Los labios en la boquilla:* a través del contacto con el aro de la boquilla.
 - *Entre los elementos modulares de la boquilla:* estableciendo una relación y ajuste entre las partes de la boquilla.
 - *Con respecto al instrumento:* la parte del tudel es el que determina la manera de cómo la boquilla se adapta al instrumento.
 - *El flujo:* limitar o ceder la cantidad de aire del soplo del músico que pasa a través de la parte interna de la boquilla. La restricción se realiza principalmente en la parte más estrecha de la boquilla que es el cuello, incorporando en su perfil protuberancias de perfiles geométricos básicos (por ejemplo medias esferas). Incluso está el caso de compresión y expansión del volumen del flujo del aire para generar una mayor gama de sonidos.
- **Factores de acoplamiento:** Corresponde al número de elementos que intervienen para conformar una boquilla (Figura 2.23):

- *1 elemento*: es referirse a todo el cuerpo de la boquilla. La configuración es muy particular y se le utiliza en condiciones acústicas específicas.
 - *2 elementos*: a partir de este punto es posible cambiar la configuración de la boquilla para aumentar sus condiciones acústicas. Generalmente esta configuración se compone como primer elemento la boquilla y como segundo elemento un elemento complementario para relacionarlo mejor con el músico o con el instrumento.
 - *3 elementos*: máximo número de elementos que se encuentran en el mercado. Su versatilidad es amplia y el músico puede establecer una configuración especial dependiendo de las condiciones acústicas que se le exigen.
 - *4 o más elementos*: cuatro son el máximo número de elementos encontrados por lo menos conceptualmente. Si se diseña este tipo de boquilla, hay que justificar las razones y ventajas pues en primera instancia las posibles desventajas serían el costo de manufactura y la complejidad de la suma de los efectos acústicos de cada uno de los elementos. Por las dimensiones y formas particulares de cada elemento que conforme la boquilla se requiere de herramientas especiales y pasos de manufactura de mayor complejidad.
- **Factores de material**: Parte del comportamiento de la boquilla está determinada por las propiedades del material con el cual está hecho. Se busca principalmente que la boquilla genere los apropiados sonidos dependiendo del estilo musical, siendo los metales los que mejor resultando han dado, aunque actualmente se han hecho exploraciones con nuevos materiales con una tendencia a usar los plásticos (acrílico, policarbonato, nylon) tomando en cuenta que las condiciones acústicas no se vean al menos afectadas considerablemente. Cambiar de material es tratar de conseguir mejores propiedades de los metales por las siguientes razones (Figura 2.24):
 - *Costo*: Reducir los gastos efectuando otros procesos de manufactura.
 - *Ligereza*: dado que los metales tienen un mayor peso, el plástico se ha vuelto la opción más ideal para que la boquilla sea más liviano.
 - *Transparencia*: con los plásticos se tiene la opción de observar el movimiento de sus labios y la embocadura del músico al estar en contacto con la boquilla, permitiendo analizar la técnica a fin de mejorar el control de las vibraciones.
 - *Rigidez*: Tanto los metales así como los plásticos ofrecen esta propiedad pero la diferencia está que en el caso del metal, siendo el latón el material más utilizado es maleable pues cualquier golpe que sufra accidentalmente

se deforma fácilmente y su forma externa o interna cambia. En cambio utilizando un material plástico hay menos riesgo a la deformación, siempre y cuando el golpe no sea muy fuerte, de lo contrario la boquilla se rompe completamente.

- *Conductividad térmica:* dado que los metales son buenos conductores térmicos, a temperatura ambiente generalmente se sienten fríos. En condiciones de bajas temperaturas resulta muy incómodo para el músico colocar sus labios en una boquilla hecha de metal. En el caso de un material plástico por sus características de aislante térmico, en condiciones de bajas temperaturas permite que el músico acople sus labios fácilmente en la boquilla.

Aunque los plásticos (incluso otros materiales) ofrezcan ventajas, suele haber una disminución en la calidad de sonido, por ello el músico sigue optando por continuar utilizando las boquillas hechas de metal. En el caso de la música orquestal, por las características particulares del sonido las boquillas hechas con base de los metales son las que ofrecen los mejores resultados, en cambio para ritmos musicales populares la boquilla de plástico son una opción más viable tanto en costo como en el sonido que logran obtener. También existe el caso de la combinación de ambos materiales, lo cual permite tener flexibilidad en el contacto con los labios del músico para una mayor comodidad (el aro de la boquilla está hecho de plástico que se deforma al momento en que el músico hace presión con su boca y vuelve a la forma normal cuando deja de ejecutar una pieza musical) manteniendo el cuerpo de la boquilla con las propiedades acústicas del metal (Figura 2.24). Por otro lado, la mayoría de las boquillas hechas de metal (latón) se les suele aplicar una capa de otro material, siendo el oro, la plata y el níquel los más utilizados, aunque se especula mucho sobre si estos materiales ofrecen mejoras en la acústica de la boquilla, se utilización es principalmente para fines decorativos. Por último, los factores de material se les vincula con las condiciones de manufactura porque dependiendo del material elegido para hacer la boquilla, involucra hacer una selección del proceso. Por ejemplo, el maquinado por torno o por vaciado (fundición) en el caso de los metales y la inyección del material sobre un molde en el caso de los plásticos. Los factores de forma son importantes en la selección del proceso de manufactura del material ya que entre más complejas sean la dificultad para su elaboración aumenta. También dependiendo de la naturaleza del material es como se determina las características de las herramientas de corte y los parámetros del proceso (velocidad y profundidad de corte principalmente) pues en el caso de los metales en un proceso de maquinado por torno dichos parámetros requieren estar bien definidos.

Sobre estos factores se puede decir que dependiendo de los objetivos o razones del inventor, estos tienen una configuración y un nivel de importancia en el diseño de la boquilla. Comúnmente los factores de “forma” y “dimensión” están más estrechamente relacionados con respecto a los demás, sin embargo esto no significa que el diseño de la boquilla deba solucionarse estrictamente con tan solo estos dos factores. Por otro lado, los fabricantes clasifican sus diseños en base a las dimensiones y las formas pero en este trabajo se propone clasificarlos en base a la configuración de los factores involucrados ya que de esta manera se puede representar las boquillas de los tres instrumentos de metal y visualizar tendencias y nuevas posibilidades.

Factores de forma

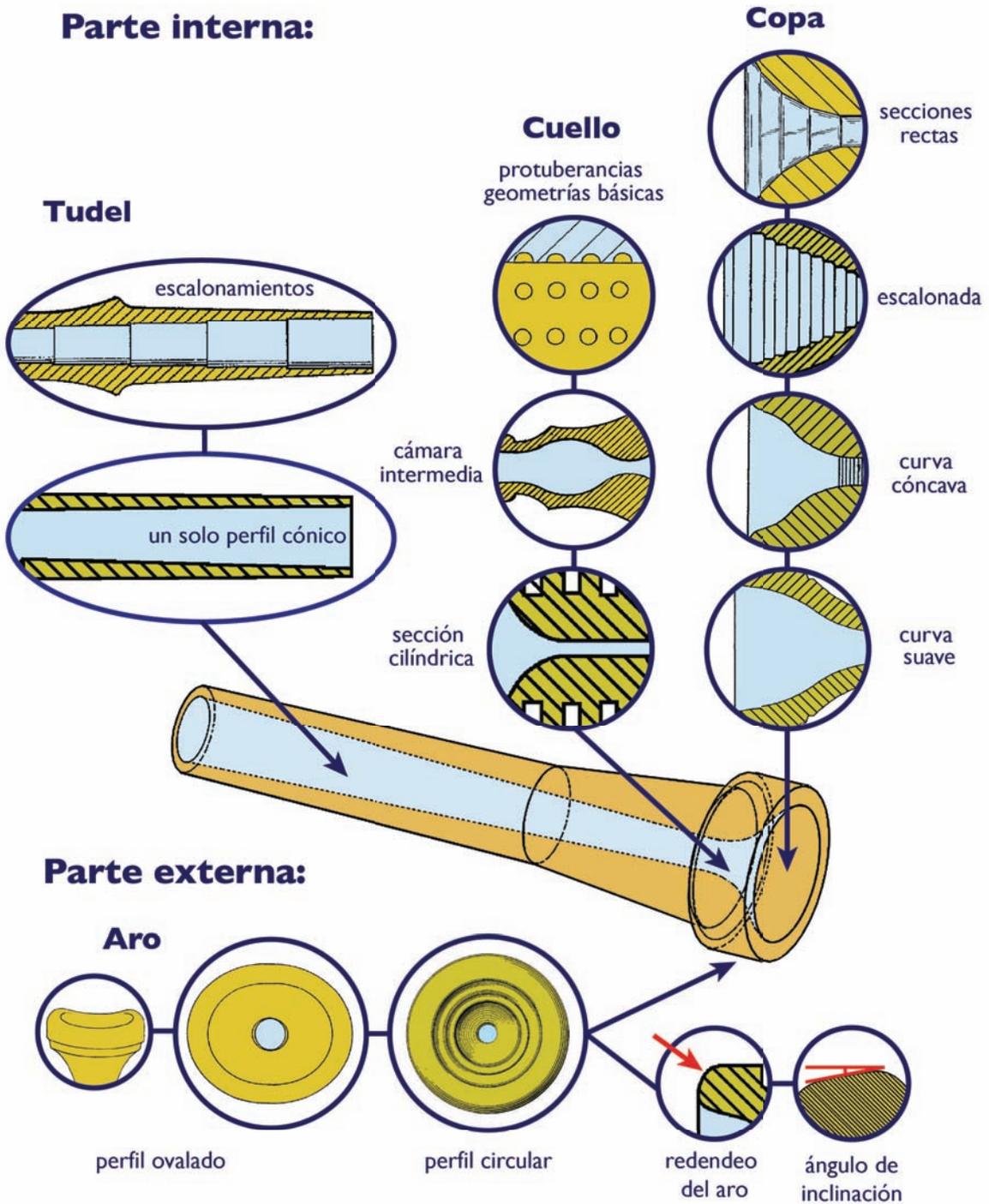


Figura 2.20. Factores de forma en la boquilla del instrumento de metal (Secciones obtenidas de patentes de la United States Patent, United States Patent Office y de United States Patent Application Publication. Modificación de imágenes realizadas para fines de investigación).

Factores de dimensión

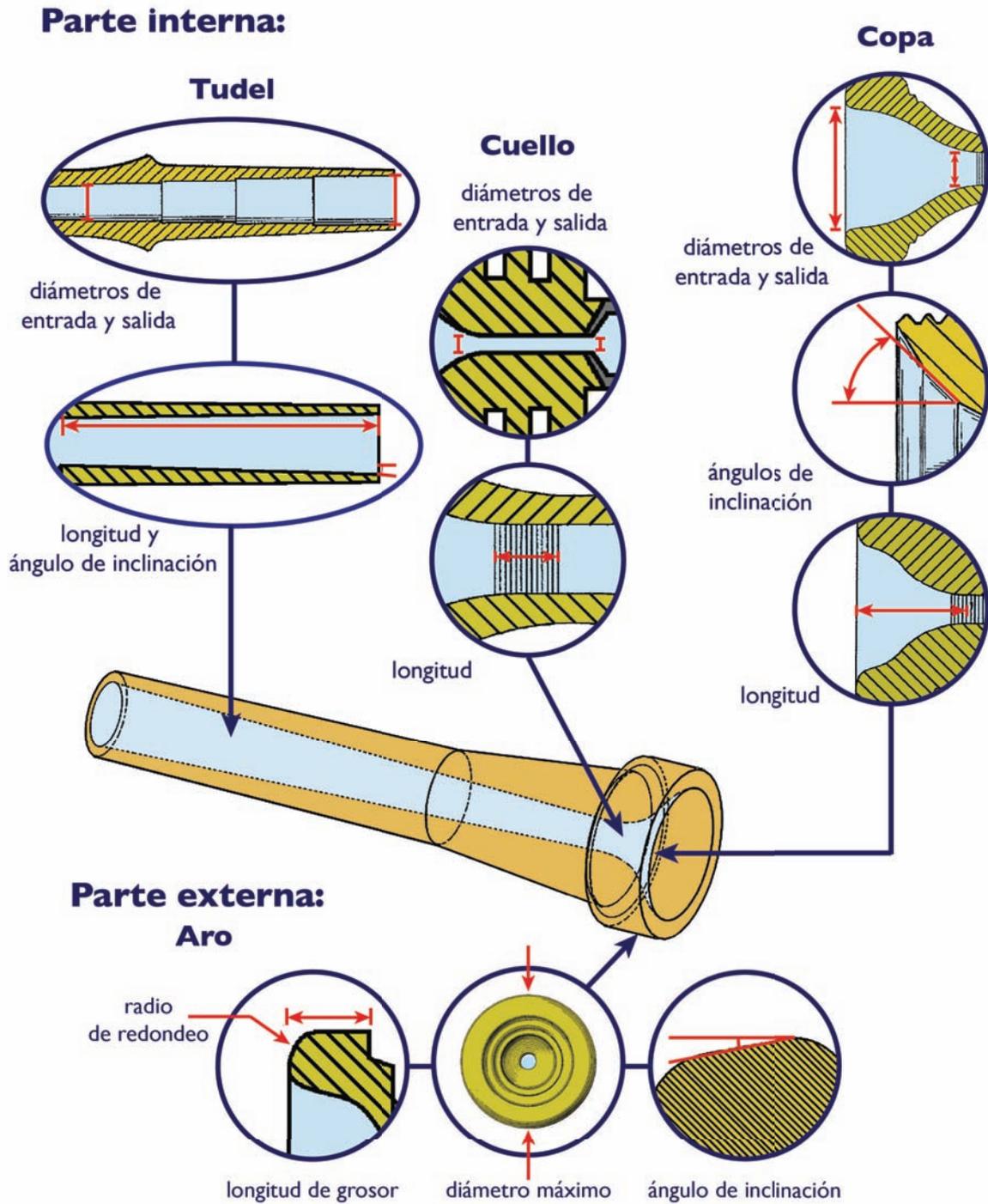


Figura 2.21. Factores de dimensión fundamentales en la boquilla del instrumento de metal. (Secciones obtenidas de patentes de la United States Patent, United States Patent Office y de United States Patent Application Publication. Modificación de imágenes realizadas para fines de investigación).

Factores de restricción

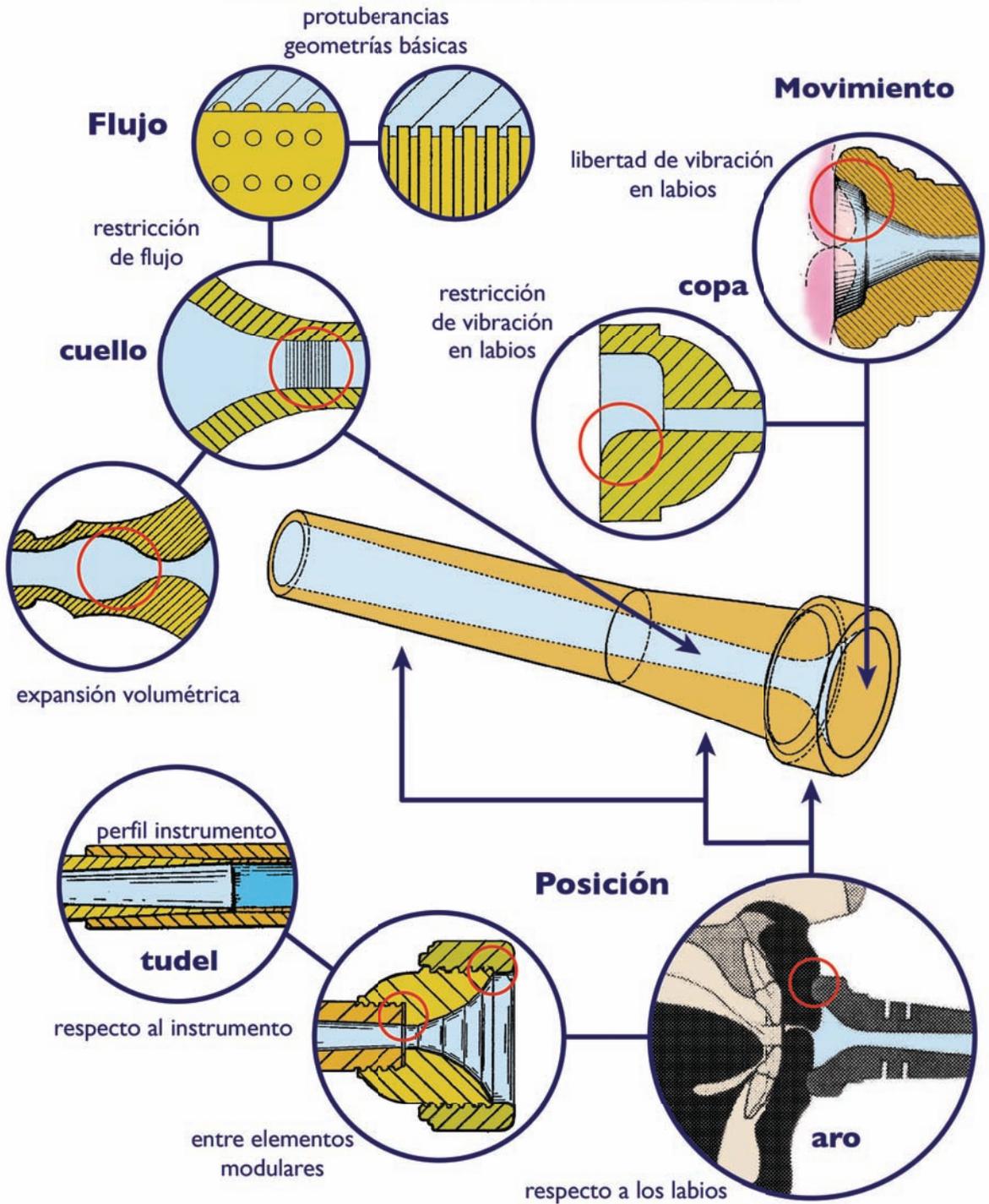


Figura 2.22. Factores de restricción en la boquilla del instrumento de metal. (Secciones obtenidas de patentes de la United States Patent, United States Patent Office y de United States Patent Application Publication. Modificación de imágenes realizadas para fines de investigación).

Factores de acoplamiento

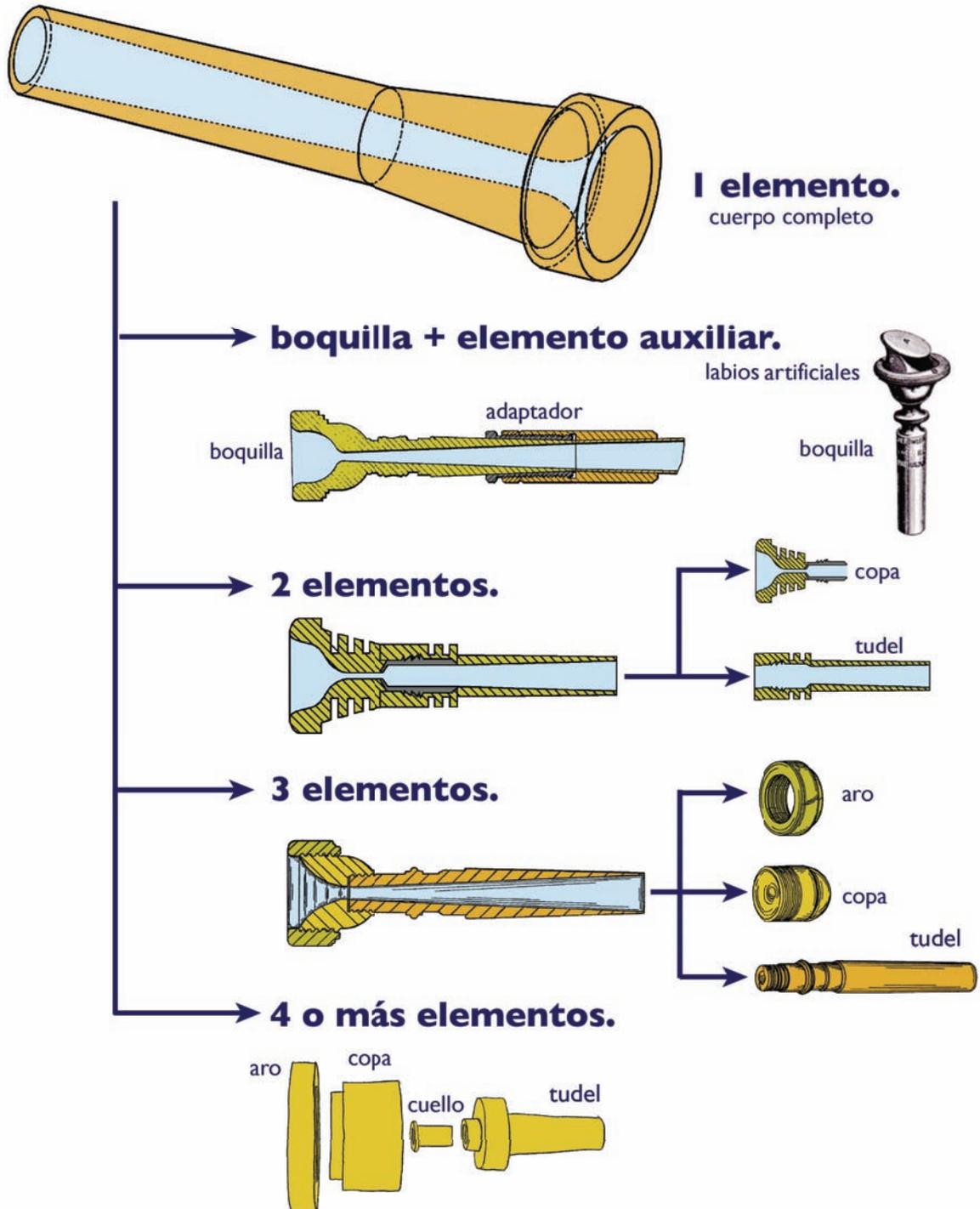


Figura 2.23. Factores de acoplamiento en la boquilla del instrumento de metal. (Diseños obtenidos de patentes de la United States Patent, United States Patent Office, United States Patent Application Publication y Lyon & Healy's Catalogue. Modificación de imágenes realizadas para fines de investigación).

Factores de material

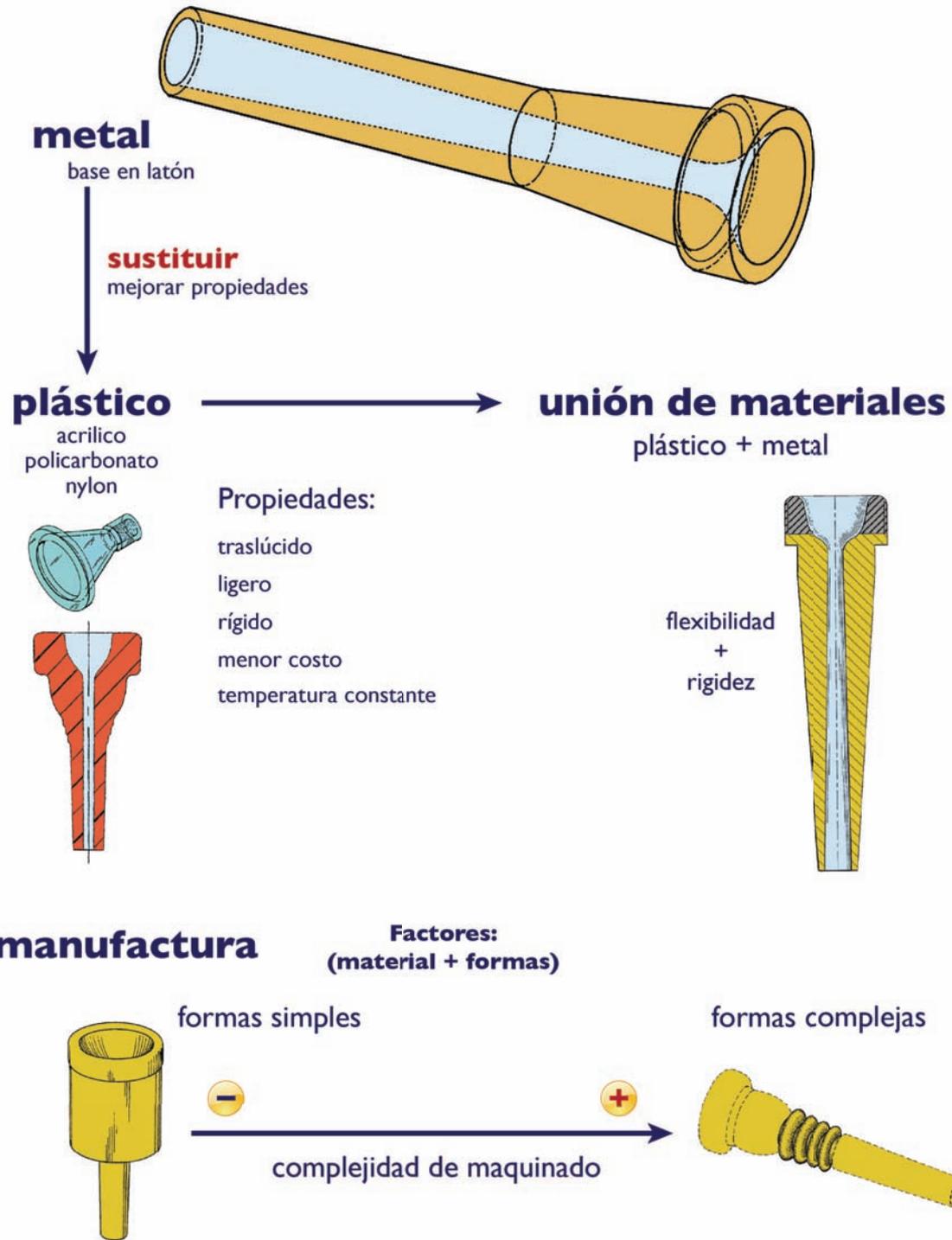


Figura 2.24. Factores de material en la boquilla del instrumento de metal. Diseños provenientes de patentes de la United States Patent, United States Patent Office y de United States Patent Application Publication. Modificación de imágenes realizadas para fines de investigación).

Otro aspecto es que entre los casos analizados, existe uno especial (Figura 2.23), el cual trata de una boquilla para trompeta que tiene un elemento complementario con la intención de sustituir los labios del músico. Este modelo de boquilla fue pensado para personas sin previo entrenamiento o con una mala técnica en el control del movimiento de los labios. Dicha propuesta de diseño de boquilla (proveniente de la Lyon & Healy's Catalogue) ofrece solucionar el problema del músico cuando genera un mal sonido por causas relacionadas con la técnica del control de la vibración de los labios. Inclusive el catálogo comenta que cualquier persona puede ser capaz de tocar el instrumento con un conocimiento básico musical.

Se comenta este caso para exponer que las opciones de solución pueden ser amplias, incluso al grado de ser poco viables. Como se ha visto, el control de los factores involucrados (inclusive aquellos que no son pertenecientes a la boquilla) juegan un rol importante para el éxito de la propuesta de solución y la optimización del diseño de la boquilla.

2.3 Tercer elemento del sistema: El instrumento de metal.

Los instrumentos de música en general han sido analizados y evaluados por sus especiales características físicas y acústicas pero también son importantes los criterios subjetivos del músico hacia el instrumento, como son la forma de tocar, las preferencias y gustos personales de la música. Aún a pesar de que el instrumento tenga las mejores condiciones acústicas, puede ser que en el músico no influya en su decisión para elegir algún diseño en especial si no satisface sus percepciones subjetivas.

En el caso de los instrumentos de metal primeramente hay que entender que su forma elemental empieza con una boquilla pequeña en forma de copa que se acopla a un tubo largo, y que termina como una gran campana y el aire contenido en su interior vibra para generar una o varias notas con la acción de cambiar la presión del aire causado por la vibración de los labios del músico (Benade, 1992a). Esto lo explica el principio acústico del instrumento de metal (siendo el mismo con los instrumentos de viento) y que a continuación se expone así como las cualidades subjetivas que el músico busca en el instrumento.

2.3.1 Descripción física de la acústica del instrumento de metal.

El aire en un instrumento de metal debe estar en vibración para expandir el sonido dentro de un habitación. Se sabe de antemano que el aire está formado por moléculas y la columna de aire localizado dentro del instrumento no se mueve y vibra hasta que alguien sopla dentro de este para generar el sonido. El movimiento del aire (como en una tubería) ocurre en una dirección paralela a la longitud del instrumento y es referido como una "vibración longitudinal."

Para explicar el principio acústico del instrumento de metal, Benade (Benade, 1992b) lo ejemplificó con una botella de vidrio tapado por un corcho que contiene aire. Si se saca rápidamente el corcho de la boca de la botella se escucha un sonido hueco, lo cual

indica la presencia de una vibración lo que hace imaginar que el aire entra y sale del cuello de la botella. Suponiendo que el aire en el cuello esta cerrado por un pistón sin problemas de montaje y que se puede deslizar hacia arriba y abajo sin haber alguna fuga del aire atrapado, el movimiento es similar a un resorte que se estira o se contrae, a esto se le conoce como movimiento armónico simple (Figura 2.25a). Existe una presión dentro de la botella causado por el movimiento ascendente y descendente del pistón y una fuerza que intenta restaurar en dirección ascendente. Como comenta Benade, Helmholtz fue el primero en explicar sobre este tipo de “resonadores de cavidad” (Benade, 1992c). La Figura 2.25b muestra el hecho de que el tamaño de la botella tiene mucho que ver con la frecuencia de oscilación de un resorte; un gran volumen tiene el comportamiento de un resorte débil y un volumen pequeño tiene las propiedades de un resorte rígido.

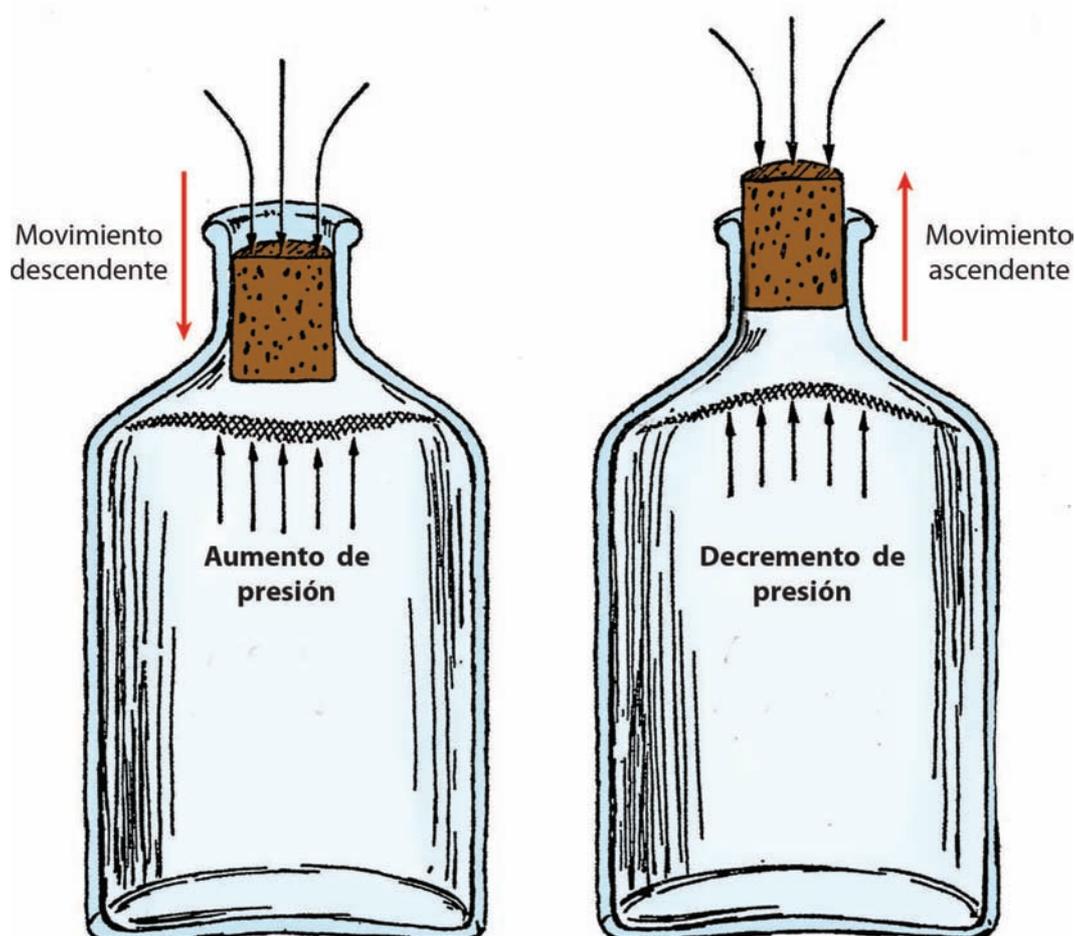


Figura 2.25a. Principio de vibración en los instrumentos de viento y metal (Imagen de “Horns, Strings, and Harmony.” Benade, 1992. Reproducción realizada para fines de investigación).

Este ejemplo explica que la generación del sonido depende del movimiento, la vibración y la variación de la presión del aire. Además el volumen y la forma de la concavidad del contenedor forman parte de los factores principales que determinan la calidad del sonido en el instrumento de metal.

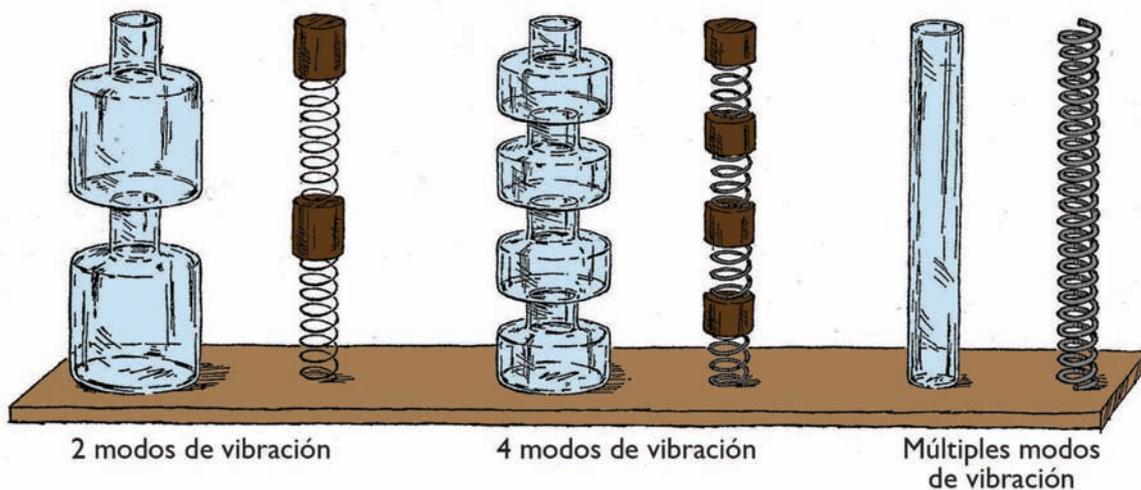


Figura 2.25b. El número de cavidades y el volumen determinan los modos de vibración. (Imagen de "Horns, Strings, and Harmony." Benade, 1992. Reproducción realizada para fines de investigación).

2.3.2 El sonido del instrumento de metal a través de la simulación por computadora.

Kausel (2001) expone el análisis del sonido final de un instrumento de metal mediante la simulación por computadora que parte de una propuesta de modelo matemático como la sumatoria de los efectos acústicos de cada una de las secciones de una trompeta que encontramos en las orquestas actualmente.

El sonido final del instrumento de metal se determina (ver Figura 2.26) mediante la relación de impedancias acústicas relativas correspondientes a la variación de la presión y el volumen del fluido que pasa a través del interior del instrumento (el aire proporcionado por el músico). También tomando en consideración que el diámetro de la copa del instrumento es una variable muy importante porque entre mayor es la copa de salida del instrumento, este genera una menor frecuencia en sus sonidos, es decir, entre más grande la copa del instrumento se generan sonidos más graves tal como sucede en la tuba.

La simulación se basa en el hecho de que cada sección del instrumento influye de forma directa en el resultado final del sonido, es decir, que el comportamiento del instrumento de metal depende de las formas y características de sus partes, donde la boquilla es una de ellas. Además es importante recordar que las relaciones entre el músico, la boquilla y el instrumento son muy sensibles ante cualquier cambio de los factores que intervienen en cada uno de ellos y se proyectan en el sonido final del instrumento de forma no lineal (no directamente proporcional). En otras palabras, los cambios pueden resultar reflejados de forma muy amplia o apenas en una diferencia muy ligera por lo que esta simulación debe ser considerada como una aproximación de lo que sucede realmente en el comportamiento del instrumento.



Figura 2.26. Propuesta de Kausel para determinar el sonido final de un instrumento con un diámetro de copa específico. La figura representa la división del instrumento en secciones (representado por la función $A_i(f)$). (Imagen basada en "Optimization of Brasswind Instruments and its Application in Bore Reconstruction" Kausel, 2001. Reproducción realizada para fines de investigación).

La simulación también parte del hecho de que el diseño de la campana del instrumento de metal influye en los resultados de los sonidos que este emite, el cual recae en dos aspectos: su conicidad y su ensanchamiento. Se le representa mediante una ecuación conocida como la "Función Bocina" establecido por Benade y Jansson (Mayers, 1998k). Ambos definieron una función donde un radio " r " parte de la pared de la campana hasta la distancia media del tubo variando conforme a la longitud de la campana representado por el eje " z " de la Figura 2.27.

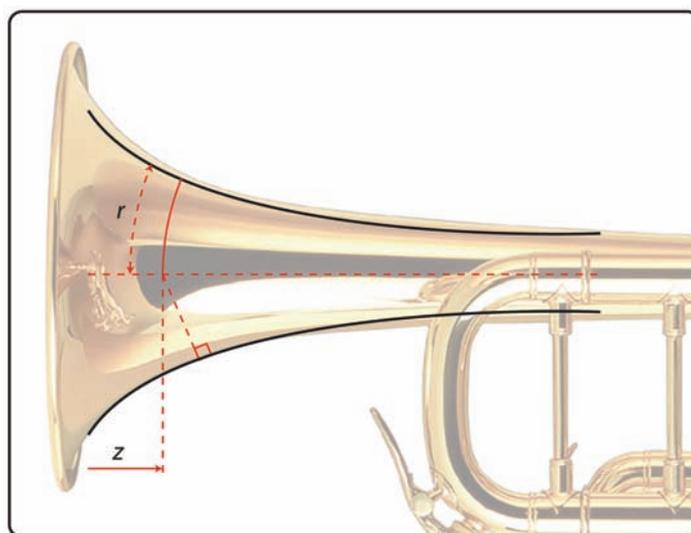


Figura 2.27. Perfil de la campana de un instrumento de metal. Para realizar un diseño preliminar la curvatura es representada como la relación del cambio de radio " r " con respecto a la longitud de la campana " z " (Imagen de "Characterization and Taxonomy of Historic Brass Musical Instruments from an Acoustical Standpoint" Myers, 1998. Reproducción realizada para fines de investigación).

2.3.3 Análisis del instrumento de metal durante la ejecución.

Bertsch y Mayers realizaron un análisis sobre la fuerza que aplica músico en la boquilla con sus labios durante la ejecución de notas musicales (Bertsch y Mayers 2005a). Ambos autores comentan que no hay una clara apreciación sobre cuanta fuerza se aplica cuando el músico toca piezas musicales con cierto nivel de dificultad siendo que se ha

considerado como un factor importante durante la ejecución del instrumento. Anteriormente Barbenel, Davis y Kenny (Bertsch y Mayers 2005b) establecieron una medición de dicha fuerza en estudios previos pero no aclaran si realmente debe ser tomada en cuenta.

En el análisis trata de un transductor que mide en tiempo real (en el momento) tres componentes de la fuerza total que el músico ejerce utilizando su propia boquilla contra el instrumento (Figura 2.28 y Figura 2.29). Tanto el diseño del experimento y el transductor están pensados especialmente de esta manera porque en el experimento que Barbenel, Davis y Kenny (Bertsch y Mayers, 2005c) solo midieron una componente de fuerza. El caso de Bertsch y Mayers buscó establecer nuevas aportaciones en el desarrollo de una mejor técnica de entrenamiento y ejecución de los músicos de instrumentos de metal.

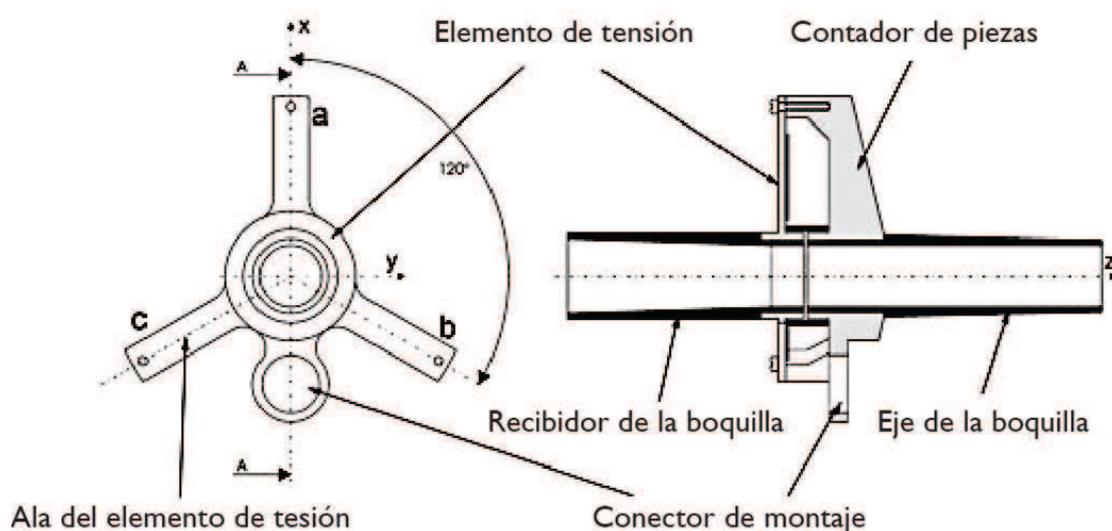


Figura 2.28. Esquema del diseño del transductor acoplado a la parte de unión entre la boquilla y el instrumento (Imagen de “A New Transducer for Measuring the Trumpet Mouthpiece Force.” Bertsch y Mayers 2005. Reproducción realizada para fines de investigación).

Los resultados muestran que la fuerza que ejerce el músico sobre sus labios no es continuo al tocar todas las notas en la escala de sol (Figura 2.30), existe una variación dependiendo de la dificultad que implica tocar la nota musical. Entre más aguda sea la nota, el músico ejerce mayor fuerza sobre la boquilla, lo que indica que ejerce mayor presión con sus labios para alcanzar a generar dicha nota. Cuando genera la nota más grave (do) la fuerza es menor y conforme se asciende la escala musical, la fuerza se incrementa paulatinamente. Aunque el estudio revela la dificultad de tocar notas en la trompeta, no necesariamente sucede en todos los músicos pues depende principalmente del control de la vibración de sus labios para tocar el instrumento. Además, entre el trombón, la tuba y la trompeta, difieren las condiciones de ejecución por lo que este análisis es uno de los posibles casos de ejecución de un músico de trompeta cuando interpreta una determinada composición musical.



Figura 2.29. Fotografía durante la realización de la prueba

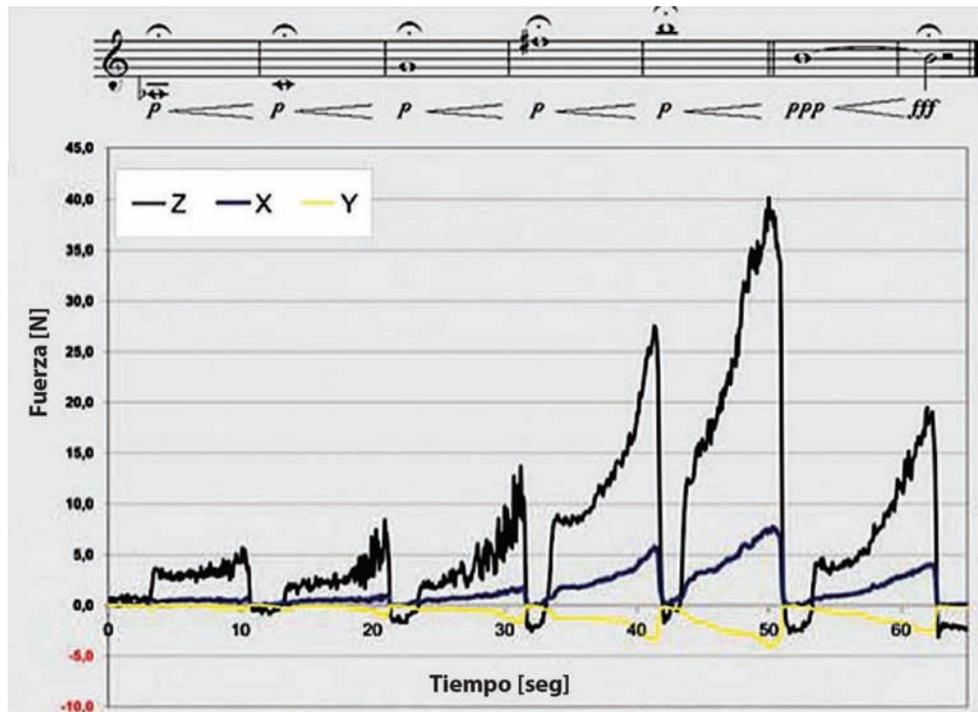


Figura 2.30. Resultados obtenidos del experimento, comparando las notas musicales con los con la fuerza ejercida por el músico. Es posible apreciar que entre más alta sea la tonalidad es necesario aplicar mayor fuerza para obtener el sonido apropiado.

(Imágenes de "A New Transducer for Measuring the Trumpet Mouthpiece Force." Bertsch y Mayers 2005. Reproducción realizada para fines de investigación).

2.3.4 La apreciaciones acústicas del músico hacia el instrumento de metal.

Es importante comprender que el músico proyecta valoraciones subjetivas hacia el instrumento sin considerar completamente sus aspectos físicos. Sucede que genera ideas personales y conocimientos empíricos sobre los aspectos del instrumento e incluso en la interpretación de la composición musical y las técnicas de ejecución que desarrolla.

Hacer una investigación sobre los aspectos empíricos en el campo de la música es algo poco común y proponerlo requiere que se definan parámetros de ejecución del instrumento que puedan ser generalizados bajo conceptos comunes entre la comunidad de los músicos de instrumentos de metal (Bertsch y Waldherr, 2005a). Es decir, intentar cuantificar el vocabulario de los músicos no es una tarea sencilla porque aunque dentro de la comunidad de músicos hay acuerdos sobre un aspecto en particular del instrumento, puede haber diferencias de opinión a nivel individual.

Un análisis por parte de Bertsch y Waldherr comenta que no existe hasta el momento una forma de medir la sensación que los músicos proyectan hacia el instrumento, por tanto, las declaraciones de los fabricantes y vendedores sobre la ejecución, respuesta y calidad de sonido no aportan mucho al músico. Lo cierto es que la influencia de las marcas del modelo del instrumento u otros indicios visuales juega un rol importante en su percepción (Bertsch y Waldherr, 2005b).

Dicho reporte analiza la opinión de un grupo de músicos en ciertos modelos de trompeta procurando evitar la influencia de la marca u otro indicio visual. Para ello, realizaron una encuesta dentro de un cuarto oscuro donde las preguntas fueron comentadas y contestadas de forma oral. La meta del análisis fue hacer una indagación sobre los principales factores subjetivos del instrumento y explicar sus correlaciones dentro un conjunto de variables que pueden ser observables empíricamente porque es posible que un conjunto de variables que se creen independientes en realidad sean lo contrario. Para determinar el grado de influencia de estos factores, se analizaron con base al valor obtenido una vez que las respuestas de la encuesta se procesaron mediante métodos estadísticos. Por ejemplo, si el valor de correlación es bajo significa que dicho conjunto de variables tiene poca relevancia en el juicio del músico hacia el instrumento.

Los factores son conceptos plenamente musicales y bajo la suposición de que son los más comunes entre la comunidad de músicos. Los resultados del análisis de opinión de los modelos de trompeta comentan lo siguiente:

- La **fiabilidad** o **confianza** del músico hacia el instrumento no muestra una tendencia única al ser graficado. En algunos casos las opiniones concuerdan, pero esto no quiere decir que sean absolutas y plenamente libres de la subjetividad del músico. Las opiniones sobre ciertos modelos de trompetas son contradictorias y en otros casos las concordancias de opinión se dieron en ciertos modelos.
- **Clasificar** el instrumento por niveles de habilidad muestra una significativa correlación en la repetición de las respuestas de los músicos (clasificación en

cinco categorías: nivel “profesional,” “semi-profesional,” “nivel conservatorio”¹¹ “nivel avanzado” o “nivel principiante).

- No hay diferencias notables sobre la evaluación del **mejor modelo de trompeta** para todo el grupo de músicos. Solamente el caso de una vieja trompeta las opiniones concuerdan juzgándolo como el peor modelo.
- **Flexibilidad** vs **Centro del tono** es respecto a que *tan fácil* el músico puede subir o bajar el registro de las notas. Las correlaciones de los resultados da indicio de una significativa concordancia entre las opiniones de los músicos por lo que puede ser considerado como un factor consistente.
- Juzgar la **calidad del sonido** es referirse a lo brillante u oscuro que puede ser el sonido. Hay una pobre correlación de opiniones sobre el color del sonido (se le relaciona como oscuro-sonido pastoso y brillante-sonido más estridente).
- Sobre las características del instrumento que influyen en la ejecución de una pieza musical fue un punto de gran interés en el análisis. En términos generales las opiniones sobre la **repetición** para generar las notas tuvo una correlación consistente. Por otro lado la **respuesta** del instrumento a las acciones del músico las opiniones son dispersas por lo que no hay una correlación consistente. En cuanto a la **resistencia y consumo de aire**, también hay una pobre correlación. Este es hecho sorprendió a los investigadores ya que todos los músicos hablan acerca sobre la resistencia, pero no existe una definición general de este parámetro subjetivo y concluyen que es un factor poco confiable.
- En cuanto a las **preferencias personales del sonido** comentan que es un aspecto que no solo depende de las exigencias del músico, sino también de cómo han juzgado los modelos de instrumentos que han utilizado. Durante la encuesta, los músicos opinaron la calidad del sonido con total seguridad, sin embargo no concuerdan.
- Sobre la **entonación** las opiniones tienen una buena correlación pero solo para la posición de la válvula 13^o de la trompeta y el registro agudo. Los investigadores comentan que esto puede deberse al hecho de que la entonación se ve influenciado por el contexto musical ya que cada músico tiene su entonación subjetiva, que puede variar de la entonación objetiva que se mide con dispositivos acústicos.

Los comentarios de este análisis en términos generales son que cuando se trate de evaluar factores subjetivos en los instrumentos musicales, hay coincidencias con los parámetros físicos, ofreciendo nuevas perspectivas sobre como analizar e interpretar lo que el músico percibe en el instrumento y su dinámica de ejecución de composiciones musicales. También comentan que es importante no descartar aquellos factores que difícilmente pueden ser analizados por métodos cuantitativos, pues son un punto de referencia importante para que un producto o específicamente un instrumento obtengan un acercamiento más profundo en el músico. Su perspectiva subjetiva es una visión y un conocimiento basado en experiencias empíricas (en la mayoría de las veces) y puede llegar a ser más enriquecedor a solo analizar el instrumento con parámetros físicos acústicos. Por ello, es trascendental que el Diseño busque y logre un balance entre los

¹¹ Se esta refiriendo a los estudiantes de música dedicados a ser instrumentistas a nivel profesional.

aspectos subjetivos y cuantitativos a través de la observación y análisis desde diferentes perspectivas, con el fin de entender y aplicar las diferentes aportaciones de los conocimientos para llegar a crear mejores y nuevas propuestas.

Hasta ahora cada uno de los elementos que conforman el sistema Músico-Boquilla-Instrumento establecido han sido analizados desde varios puntos de vista. En la siguiente sección se discute sobre los conceptos tomados en cuenta para el establecimiento de las bases en el desarrollo de datos experimentales y el establecimiento de relaciones de los factores que intervienen.

2.4 Relación de conceptos entre los elementos del sistema.

Cada elemento que conforma el sistema presentan condiciones particulares que influyen de forma directa o indirecta en el comportamiento de los demás por lo que a continuación se establecen vínculos entre los análisis.

2.4.1 Observaciones en los elementos del sistema.

En el primer elemento, el músico se observa que:

- Es quien suministra el aire para hacer que todo el sistema entre en acción, por tanto se considera como el elemento motriz del sistema Músico-Boquilla-Instrumento.
- Los músculos que intervienen en la vibración de los labios son el **músculo Orbiculares Oris** y el **músculo Depresor Anguli Oris**.
- Entre mayor sea el tiempo de entrenamiento, el músico desarrolla un control más preciso en la vibración de sus labios, por lo que es conveniente hacer el análisis sobre un grupo específico de músicos para un solo estilo musical.
- La correcta vibración de los labios es esencial para la generación de sonidos. Es un movimiento complejo debido a que intervienen múltiples factores siendo los más críticos la técnica del músico para formar la embocadura.
- Se considera que la vibración de ambos labios son los que generan el sonido del instrumento, pero en algunos casos se simplifica a que el labio superior es el único que genera el sonido real.
- Se le recomienda al músico desarrollar una alta capacidad pulmonar que ronde en 6 litros de volumen de aire.
- Para captar la mayor cantidad de aire, su respiración debe ser diferente a como usualmente lo realiza en una actividad física normal (caminar, correr). Dicha respiración debe ser profunda a fin de lograr entre dos a tres libras de presión interna.
- La lengua es un órgano que necesita controlar el músico pues sus acciones intervienen de forma significativa durante la respiración, la exhalación y la ejecución del instrumento de metal.
- El músico tras un continuo entrenamiento y con base a sus experiencia desarrolla una sensibilidad que le permite identificar sonidos (notas) de

particulares características, además en su mente los conceptualiza de tal modo que le permite a propia voluntad generarlos de la misma forma.

- Existen por lo menos cuatro momentos cruciales durante la ejecución del instrumento:
 - a. La inhalación de aire.
 - b. La ejecución de notas graves en un soplido continuo.
 - c. La ejecución de notas agudas en un soplido continuo.
 - d. La ejecución de notas graves y agudas cuando el soplido no es continuo.

Observaciones entre el primer y segundo elemento (relación Músico-Boquilla):

- Se considera que la boquilla unido a los labios se comportan como una válvula de paso que determina la cantidad del flujo de aire que se suministra al instrumento. Dicho flujo se considera continuo (también llamado como “columna de aire”) y se extiende a través de todo el sistema transmitiendo las vibraciones generadas por los labios. Se le considera como el resonador acústico del sistema.

Observaciones en el segundo elemento, la boquilla:

- Las funciones acústicas de la boquilla son mucho más complejas a lo que idealmente se representa en la teoría, por lo que solo se han obtenido resultados aproximados mediante modelados matemáticos.
- Los factores que más influyen en la boquilla son:
 - La forma.
 - Las dimensiones.
 - Las restricciones de movimiento, flujo del aire, posición de labios y entre las partes de la boquilla.
 - El material.
 - El número de acoplamientos entre los elementos que conforman la boquilla.

Cada propuesta de diseño, establece una configuración específica de cada uno de estos factores en función a sus objetivos a cumplir.

- El aro es la parte de la boquilla que más contacto tiene con el músico para que acople sus labios de forma cómoda y así generar los sonidos apropiadamente.
- La fuerza que ejerce el músico sobre la boquilla puede no ser continuo al tocar las diferentes notas de una escala musical. Esto depende principalmente de su técnica de ejecución.

Observaciones entre el segundo y tercer elemento (relación Boquilla-Instrumento):

- Cuando la boquilla se acopla al instrumento de metal, es la continuación de su forma interna por lo que los sonidos dependen de las medidas del perfil de ambos.

Observaciones en el tercer elemento, el instrumento de metal:

- Es el elemento que amplifica las vibraciones de los labios del músico al momento de la ejecución.
- El diseño de la campana del instrumento de metal es la parte predominante sobre la calidad de los sonidos que emite. La conicidad y ensanchamiento son sus factores más relevantes para el desarrollo de nuevos modelos.
- Los factores subjetivos que el músico proyecta hacia el instrumento de metal son en algunos casos cuantificables, en otros es una completa apreciación personal basada en las experiencias sobre otros instrumentos que el músico ha utilizado en otras ocasiones. En algunos casos, las exigencias del músico hacia el instrumento es una perspectiva personal y no suele ser lo mismo entre toda la comunidad de músicos.

2.4.2 Los límites del estudio de campo.

Dado que los factores que intervienen entre el músico, la boquilla y el instrumento son extensos es necesario establecer ciertas consideraciones para limitar el estudio a fin de lograr los objetivos de la investigación. Pero ¿Cuáles? En primera instancia es tomar aquellos factores que tienen mayor influencia sobre los elementos del sistema y simplificar los que han sido analizados previamente. Sobre este punto, una vez hecho la exploración sobre cada elemento, se hace la distinción de que:

1. La relación entre la boquilla y el instrumento ha sido estudiado profundamente y su experimentación física ha determinado que la forma y las dimensiones son los factores más determinantes en el sonido del instrumento.
2. El sonido final en el instrumento de metal ha sido estudiado a detalle y concluyen que la forma de la campana es el factor más relevante en su diseño.
3. El flujo de aire suministrado por el músico es el componente conector entre los elementos del sistema. Su comportamiento está determinado por las características y habilidades físicas del propio músico.
4. A pesar de que existe un análisis sobre como el músico proyecta cualidades subjetivas en el instrumento, concluye que es difícil establecer un método de evaluación sistematizado que permita clasificarlos y evaluarlos resulta ser un ejercicio complejo. Cada músico tiene intereses y preferencias particulares hacia el instrumento para proyectar los sonidos a su gusto.

Basados en estas observaciones, lo siguiente es limitar el estudio de campo estableciendo que:

- El entorno de trabajo del músico es un factor posible a simplificar mediante dos formas: realizar el estudio en un mismo escenario o considerar que el músico esta entrenado para mantener constantes sus habilidades y generar la misma calidad de los sonidos en el instrumento en todo momento, independientemente del escenario o ambiente en el que se encuentre. Para fines prácticos y de

recursos se toma la segunda opción pues es posible que la recopilación de la información se realice en diversos espacios de trabajo.

- La interacción entre el músico y la boquilla determina la acción del instrumento, por tanto, es el elemento que refleja las habilidades y límites de ambos. El estudio no busca evaluar los factores que intervienen en el instrumento de metal ya que se considera que el sonido emitido es resultado de todos los efectos causados por la vinculación de los factores del músico y la boquilla.
- Analizar a partir de las preferencias subjetivas del sonido es un ejercicio exhaustivo porque en un solo género musical, las opiniones y gustos de un músico son muy diversos. Se comprende que es necesario entender los factores físicos involucrados en el músico simplificando por el momento gran parte de las preferencias subjetivas de varios géneros musicales tomando sólo como caso particular la música orquestal. En este género, el músico busca proyectar un sonido (notas) con gran presencia acústica en el escenario (ellos lo llaman “un sonido con cuerpo u oscuro”). Es decir, sonidos (notas) cuyas señales acústicas fundamentales están acompañadas por un determinado número de armónicos de baja intensidad (graves) definiéndose así una calidad tonal (o timbre) que es muy característico de la música orquestal.
- Especificado el tipo de sonido (la música orquestal) se sabe que las boquillas hechas de metal son las que mejor resultado ofrecen. Las boquillas hechas de latón son las más utilizadas para este género. Por tanto el estudio no evalúa las características sonoras del músico y la boquilla en nuevos materiales.
- Las opciones de diseños de boquillas que se ofrecen al músico son amplios. Por tanto, es necesario establecer condiciones específicas basadas en los análisis previos y el planteamiento de una configuración particular de los factores que intervienen en la boquilla. Elaborar un prototipo y hacer una respectiva evaluación sobre un grupo específico de músicos.

2.4.3 Condiciones en la relación del músico y el instrumento de metal.

Como se ha visto en los análisis previos, tocar un instrumento de música requiere desarrollar ciertas habilidades físicas muy específicas. Para poder analizarlas es conveniente establecer una metodología que permita examinarlas teniendo visualizadas ciertas condiciones y situaciones ideales en las relaciones entre el músico con la boquilla y el instrumento. Dichas visualizaciones parten de la relación establecida por Jacobs utilizando su analogía del principio del Bernoulli de considerar el cuerpo humano como un tubo con diferentes secciones transversales. Recordando que el aire fluye a través del cuello (considerado como una primera cavidad de un tubo), después la lengua cierra o abre parcialmente la cavidad oral para disminuir o aumentar la abertura por donde pasa el aire provocando una mayor o menor presión en el cuello respectivamente. La otra sección del tubo es la boca y finalmente la parte extrema se localizan los labios acoplados con la boquilla.

Siguiendo las suposiciones de esta analogía se considera necesario estudiar los siguientes aspectos:

1. La cantidad de aire que capta el músico durante su inhalación.
2. La influencia que la boquilla y el instrumento tiene sobre la capacidad física del músico, principalmente para administrar el aire inhalado para ejecutar el instrumento.

Analizar la variabilidad humana resulta complicado pues los factores anatómicos del cuerpo no son los únicos que intervienen. Por otro lado, aunque el sonido que se genera es importante, finalmente se concluye que es reflejo de todo lo que sucede entorno al sistema. Entonces para analizar los factores en el músico se requiere establecer ciertas deducciones ideales basadas en los análisis mostrados en este capítulo. Estas parten de la cantidad de aire que un músico necesita en función al tipo de instrumento de metal que utiliza. Se establece que:

- La fuerza y velocidad del flujo del aire son importantes factores para generar cambios de registro de notas y están en función al tipo de instrumento de metal que se emplea.
- El músico administra la cantidad del aire al momento de tocar una pieza musical por lo que depende del tipo de instrumento de metal que emplea.
- El tamaño de la boquilla interviene de manera directa en la habilidad del músico para controlar las vibraciones de los labios, entre tensar y relajar dependiendo de la nota que se toca en el momento.

Estas relaciones asociadas con las condiciones físicas del músico, es como se plantean las condiciones ideales entre el músico y la boquilla con cada uno de los instrumentos de metal. Además, se puntualiza que una condición necesaria (no idealizada) en el músico ya sea de tuba, trompeta o trombón es el desarrollo de gran capacidad pulmonar para desempeñar su labor, única que está presente en todos los casos.

Respecto a la tuba, las condiciones que marcan una diferencia importante se plantean en base a sus dimensiones por ser el instrumento de metal de mayor tamaño:

- El instrumento exige al músico cantidades considerables de aire para ser ejecutado.
- El músico no está obligado a generar un soplido de gran fuerza al hacer registro de notas agudas.
- El músico debe administrar la cantidad de aire necesaria para generar notas graves ya que la tensión de los labios es menor y permite un mayor paso de flujo de aire.
- La vibración de los labios está determinada por el control de la cantidad del flujo de aire y la nota que toca el músico en ese momento.

Respecto a la trompeta, sus condiciones cambian con respecto a la tuba pues es el instrumento de metal con menor dimensión. Sus condiciones son las siguientes:

- El instrumento no exige cantidades considerables de aire, sin embargo el músico debe mantener una gran capacidad para inhalar/exhalar aire para desempeñar de forma notable su labor.
- El músico requiere generar un soplido de gran fuerza para generar notas agudas así como notas graves debido a las dimensiones de la boquilla generando mayor restricción en el flujo del aire que va hacia el instrumento.
- La vibración de los labios está determinada en sus condiciones de tensar los labios para generar la nota sin necesidad de administrar la cantidad de aire.

En el caso del trombón, se considera que sus dimensiones están en un punto intermedio entre la tuba y la trompeta por tanto sus condiciones son las siguientes:

- El instrumento exige al músico una mayor cantidad de aire con respecto a la trompeta por lo que debe mantener una gran capacidad para inhalar/exhalar aire.
- El músico de trombón requiere generar un soplido con una fuerza considerable al hacer registro de notas agudas.
- El músico debe administrar la cantidad de aire necesaria para generar notas graves ya que hay poca tensión de los labios lo que permite un paso más libre del flujo del aire.
- La vibración de los labios está determinada en el control de la cantidad del flujo del aire y en tensar los labios.

2.4.4 Planteamientos sobre la relación del músico y la boquilla.

Formuladas las condiciones ideales del músico con respecto al instrumento que ejecutan, también es necesario establecer condiciones de relación entre el músico con la boquilla con base al tipo de instrumento de metal. Los análisis previos brindaron la orientación necesaria para hacer estos planteamientos.

En el caso de la boquilla para la tuba, se estableció la siguiente condición:

- La boquilla de la tuba no restringe el movimiento de los labios para que el músico logre generar las vibraciones apropiadas para cada nota. Es decir, el músico es quien controla las vibraciones a través de tensar o relajar sus labios donde la boquilla es un elemento de apoyo.

Para la boquilla del trombón se establecieron dos condiciones:

- La boquilla genera una mayor restricción del movimiento de los labios (con respecto a la tuba) para que el músico logre generar las vibraciones necesarias en cada nota. Además debe administrar la cantidad del flujo de aire que pasa al instrumento.
- Por las dimensiones de la boquilla la fuerza del soplido es mayor con respecto al caso de la tuba.

En el caso de la boquilla de la trompeta sus condiciones planteadas fueron las siguientes:

- La boquilla de la trompeta es la que mayor restricción tiene sobre el movimiento de los labios del músico por ser la de menor dimensión entre los instrumentos de metal.
- Por las dimensiones de la parte interna de la boquilla la fuerza necesaria del soplo es mayor por lo que la configuración de sus factores debe generar la menor oposición posible al flujo del aire.

Las condiciones de la boquilla en cada instrumento son diferentes pues un músico que ejecuta una trompeta posiblemente se le dificulte utilizar una boquilla para tuba y generar sonidos. En el caso de la trompeta por limitar más el flujo del aire del soplo y el movimiento de los labios del músico provoca que la configuración de los factores de dimensión y restricción de la boquilla tengan una relación recíproca con respecto a la tuba, es decir, entre mayores son las restricciones del flujo del aire y movimiento de los labios las dimensiones de la boquilla son menores. En el caso de la boquilla para la tuba por sus condiciones de permitir mayor flujo de aire y movimiento de los labios del músico, las disposiciones de los factores de restricción y dimensión cambian ya que por tener mayor tamaño se generan menores limitaciones tanto en el flujo del aire así como en el movimiento de los labios. En el trombón se considera que las condiciones están en un punto medio entre la tuba y trompeta. Éste le exige al músico cierto esfuerzo en particular porque sus condiciones no son las mismas que la tuba o la trompeta.

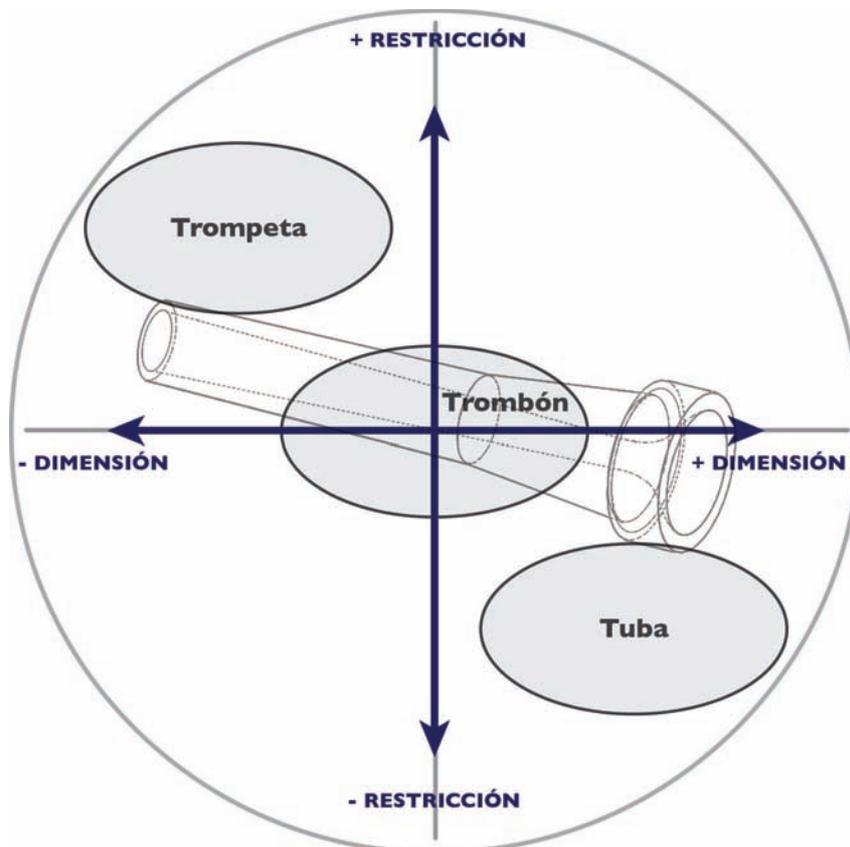


Figura 2.31. Escenarios generales de los factores de la boquilla en los instrumentos de metal.

Cada configuración de los factores de la boquilla conlleva condiciones ciertamente específicas en el músico dependiendo del instrumento de metal. La Figura 2.31 se trata de una gráfica cartesiana que tiene una disposición ordenada de los factores de dimensión y restricción y se le asocian las condiciones planteadas de cada instrumento de metal; la trompeta está en el cuadrante inferior derecho y la tuba en el cuadrante superior izquierdo ya que sus condiciones son opuestas. A los factores de dimensión y restricción se les vincula juntos porque en el análisis de las patentes se observa que las dimensiones definen las condiciones de restricción por lo cual se trata de una relación condicionada. A través de la gráfica se busca visualizar el rango de las condiciones y los factores que la boquilla tiene en cada uno de los instrumentos de metal (representado conceptualmente por los óvalos grises), además también se busca observar las cualidades comerciales del diseño de la boquilla al permitir cierto flujo de aire o en su caso mayor/menor libertad de movimiento de los labios de acuerdo a los objetivos que desea cumplir.

Con esto se busca explicar que los factores de dimensión y restricción tienen un rol trascendental en la configuración de la boquilla para cada instrumento de metal siendo los más críticos y de mayor cuidado a tratar. Los factores de forma tienen la propiedad de adaptarse a las necesidades de cada condición del instrumento en un rango para los tres instrumentos. Los factores del acoplamiento y de material son considerados como complementarios pues influyen en los otros tres pero no de manera significativa. Hasta el momento los cuadrantes superior derecho e inferior izquierdo no hay una representación de la boquilla por lo que se consideran áreas de diseño aún sin explorar.

2.5 La Usabilidad en la relación del músico con la boquilla del instrumento de metal.

Conociendo los principales factores que intervienen en el músico, la boquilla y el instrumento, lo siguiente es vincular el concepto de Usabilidad a las condiciones de la relación del músico con la boquilla (fundamentalmente) del instrumento de metal. Como se sabe, la Usabilidad ayuda a entender como favorece o perjudica un objeto (producto) al usuario durante el desarrollo de sus actividades para alcanzar un objetivo en particular. Por lo tanto, es necesario conocer como es que se entabla la relación usuario-objeto en este caso específico.

Siendo el músico un usuario con una profesión orientada hacia la interpretación de composiciones musicales, tiene como objetivos primordiales los siguientes:

1. Desarrollar habilidades y formar una técnica de ejecución en el instrumento.
2. Generar sonidos con características particulares (notas) en función al estilo musical que este desea interpretar.

Además, la relación entre el usuario y un objeto son influenciadas por cierto número de requerimientos específicos pues definen las necesidades del usuario sobre la funcionalidad del objeto. En el caso del músico del instrumento de metal los

requerimientos que comúnmente se establecen son ciertamente necesidades en aspectos acústicos y físicos:

- Desarrollar adecuadamente las notas musicales. Es decir, generar los sonidos con características establecidas del género (musical) en que se desempeñan.
- La reacción inmediata de la boquilla ante las acciones del músico.
- Realizar la actividad con el menor esfuerzo posible.
- La rápida adaptación del músico con respecto a la boquilla.

Por lo general, estos requerimientos se evalúan por medio de parámetros (o criterios) tanto subjetivos así como cuantificables en los instrumentos, y que también han formado parte en la investigación sobre los aspectos que envuelven a la boquilla (Plitnik et al, 1999). Además se proponen otros dos parámetros (acoplamiento y esfuerzo) teniendo en términos generales los siguientes:

- *Tonalidad*; las notas (sonido a una determinada frecuencia) con las que es capaz de producir el músico en la boquilla.
- *Respuesta*; la reacción que la boquilla tiene durante la ejecución del instrumento.
- *Resistencia*; la oposición que la boquilla desarrolla sobre las acciones del músico para generar los sonidos (soplido y vibración de los labios principalmente).
- *Esfuerzo*; El consumo de aire que se le exige al músico para ejecutar una pieza musical al utilizar una boquilla.
- *Calidad tonal*; El color del sonido que genera el músico con la boquilla (los armónicos que acompañan a la nota). También se le conoce como timbre y se le asocia con intensidades de luz que va del oscuro (armónicos de baja frecuencia) al brillante (armónicos de alta frecuencia).
- *Acoplamiento*; La forma de cómo los labios del músico se ajustan a la boquilla para generar los sonidos.

La mayoría de los diseños de boquillas buscan que estos parámetros tengan el más alto rendimiento en la actividad del músico en la ejecución del instrumento de metal. Pero ¿Cómo son las relaciones de los factores (del músico y la boquilla) para que esto sea así? Por tal razón, en este trabajo se plantea que a través de la Usabilidad se proyecten las relaciones de dichos factores que permitan cumplir de manera satisfactoria los objetivos primordiales del músico tal como lo establece su definición. Por otro lado la Usabilidad aplicada al desarrollo de productos generalmente se ha interesado principalmente en aspectos cuantitativos... y la Ingeniería Kansei es tal vez la que más enfatiza la importancia de los aspectos subjetivos de la Usabilidad (Han et al, 2000a). Se comenta esto porque en el ámbito de la música la relación que se analiza presenta ambos aspectos que están correlacionados con los parámetros expuestos.

A pesar de que es difícil conceptualizar los aspectos subjetivos con los elementos de diseño de un objeto y distinguirlos claramente se han sugerido otras formas de observación de la Usabilidad como es el caso de Sung H. Han (Han et al, 2000b) que conceptualiza las relaciones de los elementos de diseño de un producto con la Usabilidad mediante la utilización de las Dimensiones de Usabilidad para establecer un

planteamiento de estudio. Se trata de un modelo para crear descripciones más precisas entre el usuario con el producto y proveer una forma de comprensión sobre la Usabilidad en diferentes contextos (Quesenbery, 2003). Además, permite comparar la jerarquía de los requerimientos del usuario y crear objetivos específicos (de Usabilidad) en los productos, y de guiar el proceso de diseño mediante el establecimiento de los valores más importantes y los objetivos que dicho producto debe cumplir. Por ello, este trabajo se orienta en la perspectiva de este modelo para vincular la Usabilidad considerando las circunstancias que rodean y condicionan la relación del músico con la boquilla del instrumento de metal.

El objetivo primordial al diseñar la boquilla es que el músico genere los sonidos (notas) característicos del género musical en que se desenvuelve de la mejor manera posible, lo cual es coherente con la Usabilidad, pues en esta, la meta primordial es que esto sea de la manera más eficiente, efectiva y satisfactoria. Por otro lado las circunstancias que envuelven la relación entre el músico y la boquilla son cuestiones acústicas y físicas relacionadas con los parámetros antes mencionados. ¿Qué factores intervienen en estas circunstancias? Mediante la exploración de las investigaciones previas se ha determinado que las factores que intervienen son los factores físicos¹² del músico, su rendimiento musical y los factores propios de la boquilla del instrumento de metal, representados en la Figura 2.32.

Esquemáticamente, los factores de la boquilla están encerrados en el círculo blanco lo cual indica la jerarquía que tiene en todo el contexto de la relación del músico con la boquilla. Posteriormente está un círculo mayor (azul de saturación media) que representa otro nivel de jerarquía de los factores involucrados en el rendimiento musical y finalmente en un círculo de mayor tamaño (azul oscuro) esta representado los factores físicos que encierra tanto a los factores del rendimiento musical así como los de la boquilla.

Mediante esta representación se plantea que la Usabilidad de la boquilla depende de la siguiente relación y predominio (o influencia) de los factores involucrados:

“Los factores físicos del músico influyen en su rendimiento musical, lo cual establece condiciones en las que el diseño de la boquilla debe respetar mediante el diseño de un número finito de configuraciones de sus propios factores.”

Es decir, en la boquilla se deben establecer combinaciones específicas de sus factores en función de las virtudes y desventajas de las habilidades físicas del músico para ejecutar el instrumento de metal. Si se observan los diagramas concernientes a los análisis de los diseños patentados (Figuras 2.20, 2.21, 2.22, 2.23 y 2.24), se puede distinguir que las posibilidades de diseño son muchas, por tal razón es que existe una gran variedad de boquillas en el mercado tan solo de un fabricante. Si embargo, no todas esas posibilidades son viables para un músico en particular debido a que tiene características

¹² Se establece este nombre ya que se busca mantener los conceptos de Jacobs descritos en el libro: Arnold Jacobs “Wind and Song.”

físicas y de habilidad muy específicas así como de requerimientos acústicos en función al estilo musical en que desenvuelve.

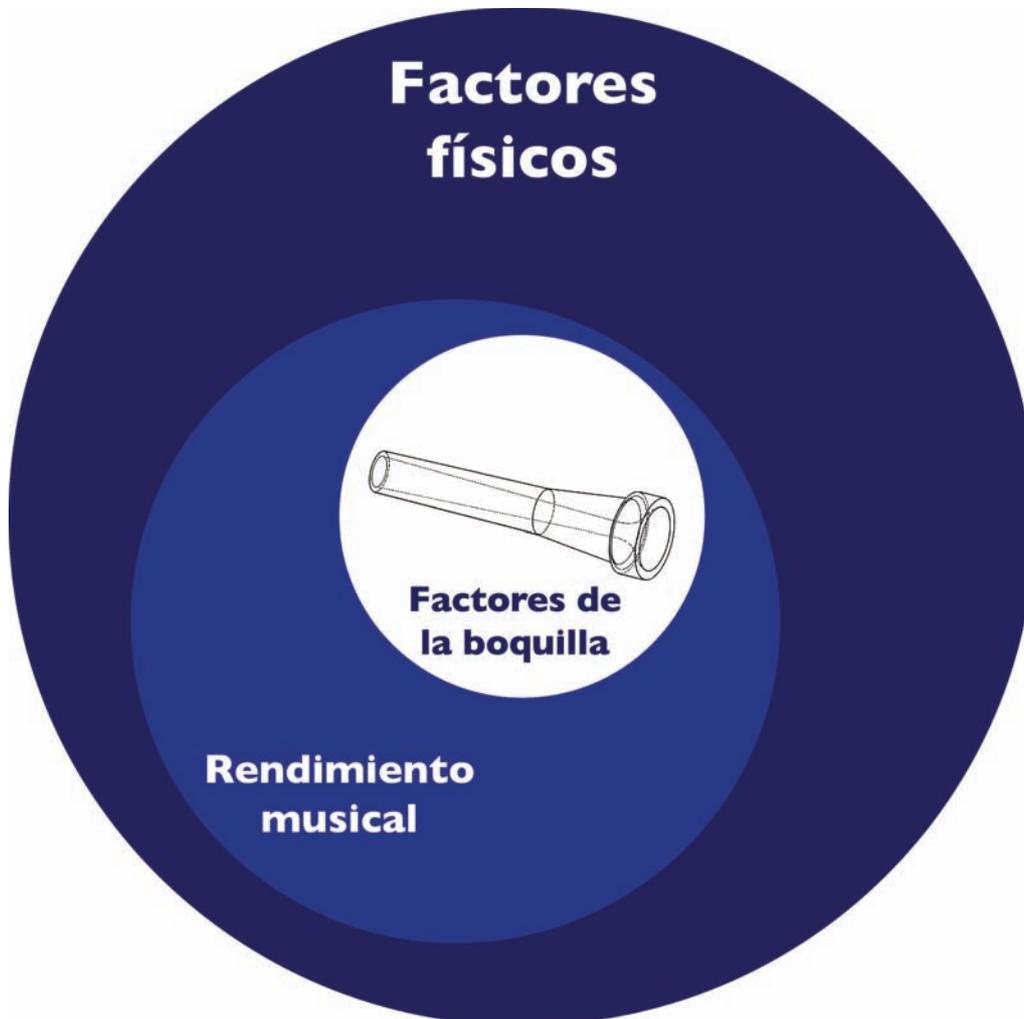


Figura 2.32. Esquema de la Usabilidad de la boquilla considerando las circunstancias que envuelven las relaciones de los factores físicos, el rendimiento musical del músico y la boquilla.

Se propone este planteamiento de estudio pues se observa que al menos en los diseños analizados, gran parte de ellos toman por concluido muchos aspectos de los factores físicos y habilidades del músico pues establecen las condiciones ya que el diseñador define la función de la boquilla por sus propiedades acústicas. Algunos de ellos consideran ciertos aspectos del músico (la presión que sufren los labios o la manera de cómo se enlazan los labios con el aro de la boquilla), sin embargo, no logran contemplar plenamente las condiciones que los propios músicos establecen.

Se hace la aclaración de que por los límites de estudio establecidos, los factores intrínsecos (principalmente acústicos) del instrumento se simplifican pues se considera que proyecta los resultados que emiten la relación músico-boquilla y solo se contempla

el planteamiento definido de que cada boquilla tiene condiciones particulares en función al tipo de instrumento de metal. Además, también se considera que el músico tras su continuo entrenamientos ha conceptualizado mentalmente los sonido (notas) característicos del instrumento lo que le permite generarlos de la misma manera independientemente si se está en una sala de conciertos o un salón de clases. Es cierto, el entorno influye de alguna manera en su rendimiento musical (un caso puede ser que esté nervioso en el escenario frente a un gran número de personas), pero en la realidad ya sea a nivel escolar o profesional, el músico se desenvuelve en diversas partes (casa, salón de clases, en la acera de una calle congestionada tanto de gente como de autos, sala de conciertos, etc.) siendo estas las circunstancias más reales en su vida cotidiana en lo que se refiere al entorno.

Desglosando cada rótulo de los factores involucrados, este estudio plantea los siguientes ya que se consideran como los más imprescindibles en la relación del músico con la boquilla (Figura 2.33).

1. Factores físicos:

- a. Capacidad pulmonar.
- b. La fisionomía de los labios.
- c. Embocadura.
- d. Vibración de los labios.

2. Rendimiento musical:

- a. Conceptualización del sonido.
- b. Nivel de habilidad.
- c. Conocimientos musicales (particularmente del estilo musical).

3. Factores de la boquilla:

- a. Forma.
- b. Dimensión.
- c. Restricción.
- d. Acoplamiento.
- e. Material.

La capacidad pulmonar, la embocadura, la fisionomía y la vibración de los labios tienen la misma importancia dentro del predominio de los factores físicos pues en conjunto establecen condiciones en la cual el rendimiento musical se desenvuelve. Pero dentro de éste la conceptualización del sonido, los conocimientos musicales y la habilidad musical igualmente tienen la misma importancia dentro del predominio del rendimiento musical estableciendo también condiciones específicas considerando que ya están condicionadas por los factores físicos.

En el caso de los factores de la boquilla no sucede de la misma forma ya que por estar bajo las condiciones de los factores físicos y del rendimiento musical, se deben definir

una jerarquía en cada uno de ellos. Es decir, es posible que en algunos casos los factores de forma y dimensión tengan mucho más importancia (o jerarquía) ya que el músico tiene conceptualizado un sonido en particular y sus habilidades le permiten adaptarse a las condiciones y cambios que generen estos haciendo que los factores de restricción, acoplamiento y material pasen a segundo término.

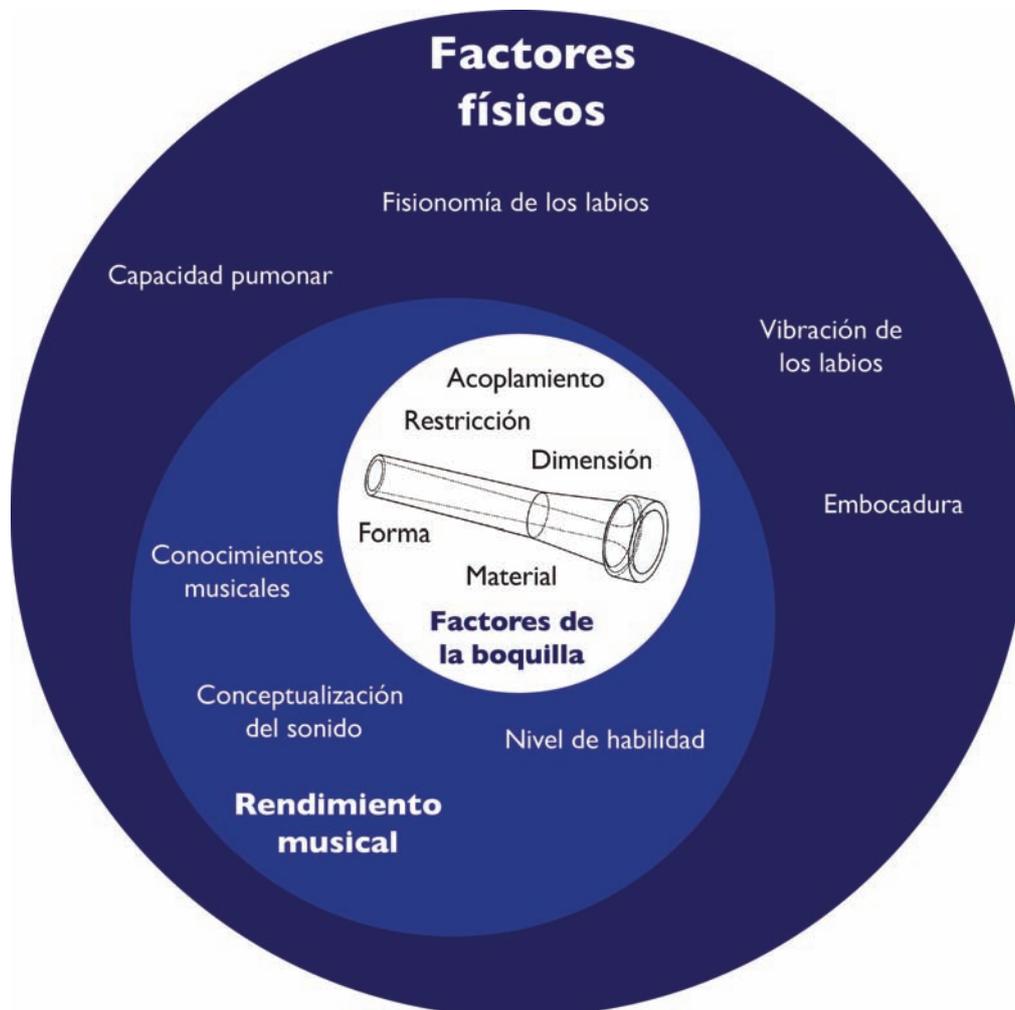


Figura 2.33. Esquema de la Usabilidad de la boquilla de los principales factores del músico y la boquilla.

Para corroborar este modelado de las relaciones existentes de los factores involucrados en necesario desarrollar un estudio de campo en la cual se defina un número específico de configuraciones de los factores de la boquilla para la elaboración de prototipos y ser evaluados en un grupo específico de músicos, pues se plantea que cada instrumento de metal establece una relación muy particular debido a las dimensiones que cada uno tiene. Además, mediante el estudio de campo se pueden detectar los factores de la boquilla que más afectan al músico.

2.6 Configuración de los factores de la boquilla para el caso de estudio.

Para el desarrollo del estudio de campo se establece un número limitado de configuraciones a fin de facilitar la comprensión sobre como los factores de la boquilla influye en el músico. Para lograrlo, se determina una jerarquía de cada uno de los factores representados en la Figura 2.34. Se plantea que los factores de forma, dimensión y restricción tienen la misma jerarquía pues se busca flexibilidad en las posibilidades de configuración. Los círculos de la forma (F), dimensión (D) y restricción (R) tienen el mismo tamaño mientras que los factores de material (M) y acoplamiento (A) tienen una jerarquía inferior por lo que sus respectivos círculos son de menor tamaño. Esto significa que en ellos se consideran menos opciones de diseño debido a los límites de estudio pues se estableció no experimentar con nuevos materiales, además los recursos de manufactura son limitados para desarrollar nuevas formas de acoplamiento, por tanto el prototipo se visualiza como solo un elemento.

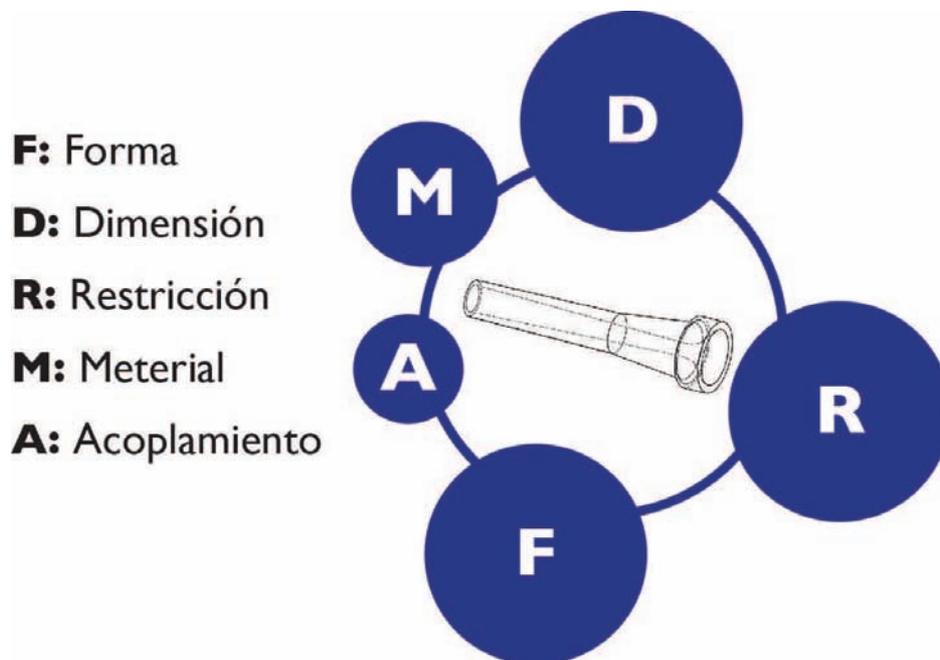


Figura 2.34. Jerarquía de los factores de la boquilla para la limitar su configuración.

Especificada esta jerarquía, entonces se detallan las configuraciones de cada uno de los factores de la boquilla para concebir el diseño de prototipos. Esta combinación de los factores fundamentales está pensado para los tres instrumento de metal los cuales son los siguientes (Figura 2.35):

- I. Factores de dimensión basados en los modelos existentes en el mercado, teniendo la siguiente configuración:
 - a. La parte externa del tudel es la región de acoplamiento con respecto al instrumento, sus dimensiones son constantes.

- b. Manejo de dos casos en el diámetro del cuello de la boquilla ya que interviene en la cantidad del aire que el músico suministra al instrumento. Además las dimensiones del cuello involucran diferentes resultados en el sonido del instrumento.
- c. Diámetro de entrada y longitud de la copa constantes, basados en mediciones estandarizadas de boquillas disponibles en el mercado.
- d. Dimensiones del aro constantes (diámetro máximo y longitud) con base a los modelos que actualmente están disponibles en el mercado.
- e. Debido a que el diámetro del cuello cambia, también lo hace el diámetro de entrada así como el ángulo de inclinación de la conicidad de la parte interna del tudel pero se mantienen constantes el diámetro de salida y su longitud.

2. Factores de forma en las siguientes partes de la boquilla:

- a. Forma del tudel: perfil cónico.
- b. Forma del cuello: perfil cilíndrico.
- c. Una forma de aro: a determinar en un primer estudio de campo.
- d. Dos perfiles en la copa: en curva cóncava y en sección recta porque generan circunstancias diferentes de resistencia y volumen en el flujo del soplo del músico.

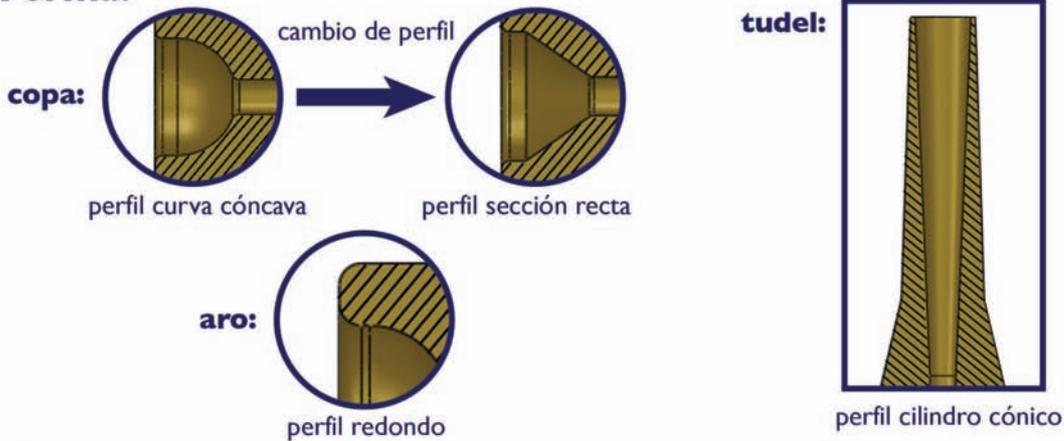
3. Factores de restricción bajo las siguientes circunstancias:

- a. La vibración de ambos labios son los que generan el sonido del instrumento por lo que no hay restricciones especiales.
- b. Dos restricciones del flujo del aire debido al cambio de las dimensiones de la parte del cuello de perfil cilíndrico.
- c. La restricción de posición de la boquilla con respecto al instrumento determinados por dimensiones constantes de la parte externa del tudel. Medidas estandarizadas a lo disponible en el mercado.
- d. La restricción de posición de los labios del músico con respecto al aro de la boquilla a determinar en un primer estudio de campo.

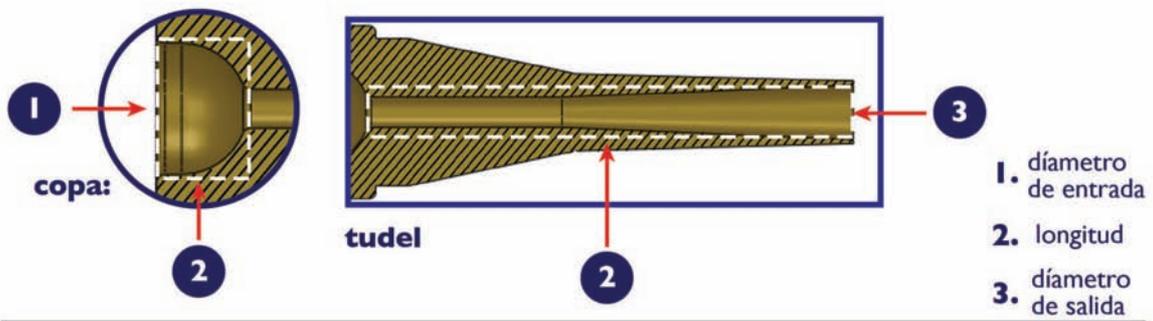
4. Material bajo las posibilidades de manufactura y disponibilidad comercial para la elaboración de los prototipos: Latón.

5. Número de elementos que conforman la boquilla reducido a uno solo para facilitar la manufactura y por el número de configuraciones que se establecen en los anteriores puntos.

Forma:

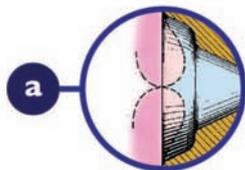


Dimensiones constantes:

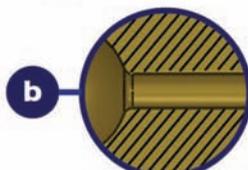


Restricciones:

movimiento:



flujo:



posición:

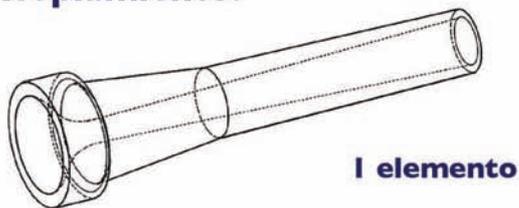


a. vibración ambos labios

b. sección cilíndrica sin protuberancias

c. a determinar.

Acoplamiento:



Material:

Latón



Figura 2.35. Configuración de los factores de la boquilla para el desarrollo de prototipos.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO CAMPO.

Partiendo de la previa investigación documental, se comprende que la capacidad pulmonar del músico y las vibraciones de los labios deben ser puntos importantes en el estudio de campo bajo la consideración de que están relacionados con los factores de la boquilla y que los factores del instrumento de metal se simplifican. Por ello, es importante considerar la medición inmediata de los factores más relevantes para corroborar el modelado planteado en el capítulo 2 sobre las tendencias de diseño de las boquillas del instrumento de metal y sus relaciones con el músico.

Para lograrlo, se establece la siguiente metodología para el desarrollo de un estudio de campo conformada por las siguientes etapas:

1. *Realización de un estudio piloto mediante la aplicación de una encuesta y una serie preliminar de exámenes de espirometría en un grupo de músicos.* Se considera necesario hacer una primera exploración en los músicos de los tres instrumentos de metal ya que cada uno de ellos tiene aspectos y relaciones particulares con la boquilla. Con la finalidad de conocer aspectos referentes a la técnica de ejecución y conocimientos musicales, esta encuesta es parte fundamental para el esclarecimiento de los planteamientos de Usabilidad y de la relación del músico con la boquilla. Con base a los resultados se selecciona un caso de estudio comparativo para la realización de una segunda serie de pruebas. Se recurre a la encuesta ya que la interpretación musical, la percepción del uso de los instrumentos y la boquilla están asociadas muchas veces en apreciaciones cualitativas por lo que se requiere hacer una recopilación sistematizada de este tipo de información.
2. *Formulación de los factores fundamentales de la boquilla para la creación de prototipos de boquillas.* Con base a los resultados del estudio piloto y en las configuraciones definidas en el capítulo anterior, se especifica en definitiva los cinco factores fundamentales para la creación de cuatro prototipos de boquillas con el fin de ser utilizados en una evaluación comparativa.
3. *Modelado de los prototipos y la simulación del comportamiento del flujo del aire en su parte interna.* Realización de un modelado virtual de los prototipos por medio de un software de Diseño Asistido por Computadora (CAD por sus siglas en inglés) para hacer la simulación del comportamiento del flujo del soplo del músico considerando condiciones similares idealizados cuando este ejecuta el instrumento. El método de simulación es por medio de elemento finito donde el software realiza cálculos de un flujo del aire dentro de una sección interna de un conducto o espacio limitado (parte interna de los prototipos) mostrando los resultados de forma gráfica. Dichos resultados se aplican para ser una primera referencia de los posibles comportamientos de los prototipos.
4. *Evaluación comparativa de los prototipos de boquilla.* Esta etapa consiste en una evaluación comparativa de los prototipos por parte de los músicos con la finalidad de esclarecer las relaciones de los factores del músico con la boquilla.

La Figura 3.1 ilustra los pasos de la metodología del estudio de campo donde la herramienta de simulación es un importante punto de comparación con los resultados obtenidos pues se busca predecir el comportamiento de los factores de los prototipos de boquilla.

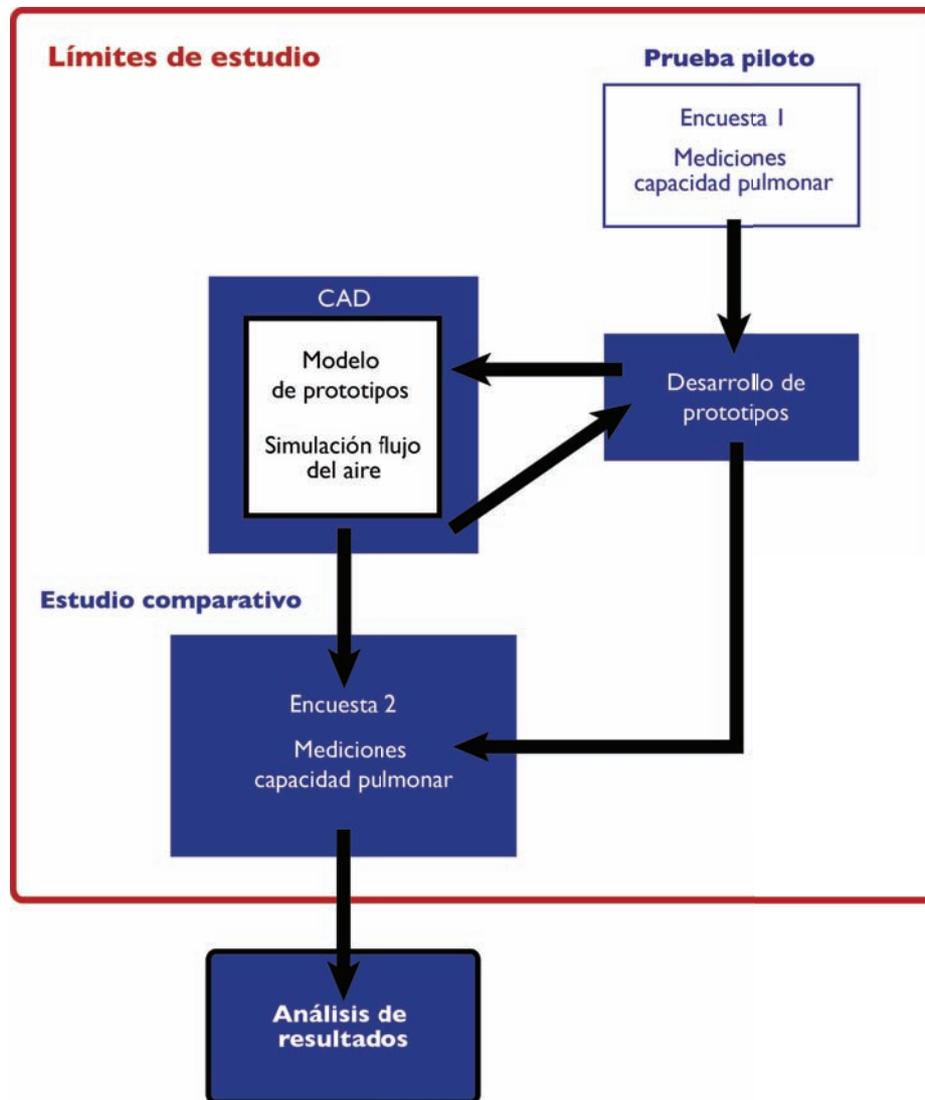


Figura 3.1. Esquema de la metodología del estudio de campo establecido en la investigación.

3.1 Las muestras de población de los músicos participantes.

La población elegida para el estudio de campo lo conforman músicos que laboran a nivel profesional en las siguientes orquestas de instituciones culturales del Distrito Federal y Área Metropolitana:

- La Orquesta Filarmónica de la UNAM (OFUNAM).
- Orquesta del Teatro de Bellas Artes (OTBA).
- Orquesta Filarmónica de la Ciudad de México (OFCM).

- Orquesta Sinfónica Nacional (OSN).
- Banda Sinfónica de Tlalnepantla.

En esta muestra de población de músicos también se encuentran estudiantes de la Escuela Nacional de Música de la UNAM y del Conservatorio Nacional de Música que actualmente realizan sus estudios y laboran en grupos artísticos para adquirir experiencia laboral y poder participar en concursos de oposición.

Con respecto a esta muestra de población de músicos se menciona que;

1. Se trata de un grupo particular de personas que han desarrollado habilidades específicas para tocar alguno de los instrumentos de metal a nivel profesional dentro del género musical de orquesta, por tanto no son una población genérica. Debido a esto, el estudio de campo no puede ser aplicado a personas ajenas a la profesión de la música.
2. El conocimiento y la experiencia de los músicos de los niveles semiprofesional y profesional de instrumentos de metal es un punto importante en la evaluación del estudio comparativo de los prototipos de boquilla pues se busca que los resultados sean uniformes. Además este estudio de campo no puede ser implementado a otros músicos que ejecutan instrumentos diferentes a la tuba, trombón y trompeta.

La Tabla I muestra datos de la muestra de población en la primera etapa del estudio de campo. Para la etapa de la evaluación comparativa, la muestra de población es más reducida ya que está planteado hacer el estudio comparativo en un grupo de músicos para un solo instrumento de metal. El número de participantes consta de ocho de los cuales, seis laboran en orquestas profesionales del área metropolitana como la Orquesta Filarmónica de la UNAM (OFUNAM), Orquesta Sinfónica Nacional (OSN) y la Orquesta del Teatro de Bellas Artes (OTBA) teniendo como promedio una edad de 49 años y con 32.5 años de tocar el instrumento. Los otros dos participantes (nombrados como E1 y E2) son estudiantes pertenecientes al Conservatorio Nacional de Música cuya edad promedio es de 20 años y con 6.5 años en promedio de estar tocando el instrumento. Para mayor detalle de los datos generales de las muestras de población estas se muestran en las Tablas A1 y A3 del Anexo 2.

Músicos participantes:	14
Músicos por Instrumento:	
Trompeta	3
Tuba	5
Trombón	6
Actividad:	
Estudiar	4
Trabajar	6
Ambos casos	4
Edad promedio:	29.28

Tabla I. Muestra de la población del estudio piloto.

3.2 Parámetros e índices de evaluación en el estudio de campo.

Los parámetros necesarios en la evaluación del estudio de campo se basan en las previas investigaciones del capítulo anterior. A continuación se presentan dichos parámetros y la definición de índices siguiendo la relación de los elementos del sistema Músico-Boquilla-Instrumento.

3.2.1 Parámetros e índices en el primer elemento: el músico.

Se ha planteado que un músico de un instrumento de metal tiene una gran capacidad pulmonar con respecto a la población en general debido a su actividad, pero para corroborar esto es necesario hacer mediciones por medio de pruebas espirométricas. Además la correlación entre el tamaño de los labios del músico con las dimensiones del aro de la boquilla es un índice importante en el estudio de campo.

3.2.1a Índice de área entre los labios del músico y el aro de la boquilla.

Por la importancia de evaluar la unión entre los labios del músico con respecto al aro de la boquilla se define el cálculo del índice de área entre los labios y el aro de la boquilla. Para ello se recurre a medir los siguientes puntos somáticos establecidos por Comas (Comas, 1963) para realizar las siguientes mediciones en el rostro (Figura 3.2):

- Longitud de labios. Distancia total entre los puntos extremos de unión de labios.
- Distancia entre los puntos labial superior (*ul*) y labial inferior (*ll*)

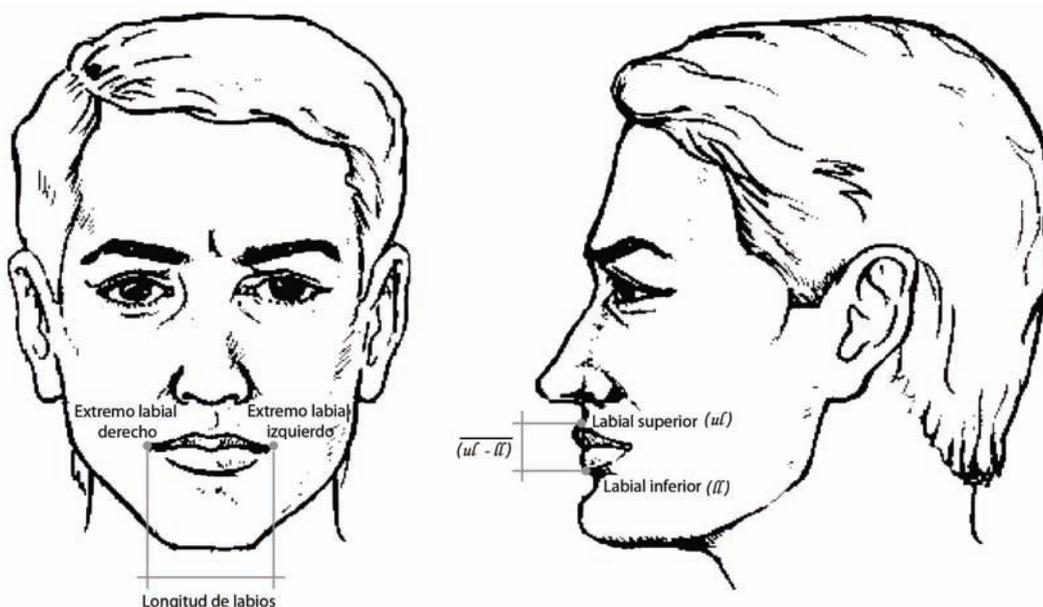


Figura 3.2. Puntos de medición en el rostro del músico.

El área de labios se define con la siguiente relación:

$$\text{Área}_{labios} = (\text{Longitud labios})(\overline{ul - ll})$$

En el caso del aro de la boquilla su área corresponde a su grosor, es decir, a la diferencia entre el diámetro exterior (r_{ext}) y el diámetro interior (r_{int}) del aro de la boquilla elevado al cuadrado y multiplicado por el valor constante π (valor de 3.1416). Esto se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Área}_{aro} = \pi(r_{ext} - r_{int})^2$$

Establecidas las áreas de los labios y el aro de la boquilla, entonces el índice de áreas de estos dos parámetros se define como el cociente de ambas, expresado de la siguiente manera:

$$I_{\text{área labios-aro}} = \frac{\text{Área}_{aro}}{\text{Área}_{labios}}$$

3.2.1b Parámetros de capacidad pulmonar en el músico.

La obtención de parámetros de capacidad pulmonar se realiza mediante pruebas de espirometría y su aplicación principal es diagnosticar problemas respiratorios en una persona. En este estudio, su utilidad es para medir la cantidad de aire que el músico del instrumento de metal es capaz de inhalar/exhalar en una respiración forzada, es decir cuando realiza una acción enérgica al inhalar o exhalar el aire. Entonces los parámetros de interés en la prueba de espirometría son las siguientes:

1. **La Capacidad Vital Forzada (FVC):** que es el volumen total que expulsa una persona en una inspiración hasta la espiración máxima
2. **Flujo Espiratorio Máximo (PEF):** que es la cantidad de aire que expira una persona en un determinado tiempo.

Se consideran estos parámetros porque Arnold Jacobs (Frederiksen, 1996m) estableció que un músico para tocar el instrumento requiere aplicar el mayor esfuerzo posible a sus pulmones para lograr los sonidos apropiados. En sus propias palabras “*respirar para vivir no es lo mismo que respirar para tocar el instrumento.*” Jacobs fue uno de los primeros en correlacionar las pruebas espirométricas con la ejecución del instrumento de metal con el fin de comprender y hallar la mejor forma de aprovechar las capacidades físicas del sistema respiratorio del músico. Hacer una inhalación/exhalación normal no puede ser tomado en cuenta dado que las condiciones y exigencias que tiene un músico al momento de tocar el instrumento son totalmente lo opuesto. El músico requiere forzar y/o adaptar sus pulmones dependiendo del tipo de instrumento que toca. Las pruebas de espirometría tienen que realizarse mediante una serie de pasos ya establecidos en la práctica médica. Se toma como referencia los pasos del Grupo MBE (Núñez, Penin y Moga, 2004) quienes desarrollaron un manual clínico para dichas pruebas. Con base a este manual se establecen los siguientes pasos:

- *Establecer las condiciones necesarias para realizar la prueba:* Se considera importante explicar al músico participante la razón por la que se hace la prueba: recopilar información sobre los factores físicos que intervienen en ellos con el fin de ser utilizados en la generación de un modelado que permita identificar tendencias sobre la usabilidad en la boquilla. Además, toda información que proporcionen es para fines de investigación y completamente confidencial.
- *Llenar el formato de la prueba solicitando datos generales y médicos:* Se le pide al músico participante sus datos generales: nombre y apellidos, estatura, peso, si tiene problemas de salud crónicos y que medicamentos actualmente toman. También se le pregunta si tiene hábitos de consumo de alcohol y tabaco ya que son datos necesarios en la comparación de los parámetros de las pruebas de espirometría.
- *Preparación de la prueba espirométrica:* El músico participante se le sitúa en posición sentada, sin ropa que le ajuste. Se le coloca una pinza nasal en la nariz. Se comprueba que la boca esté libre de elementos que impidan una buena colocación de la boquilla del espirómetro (Figura 3.3).

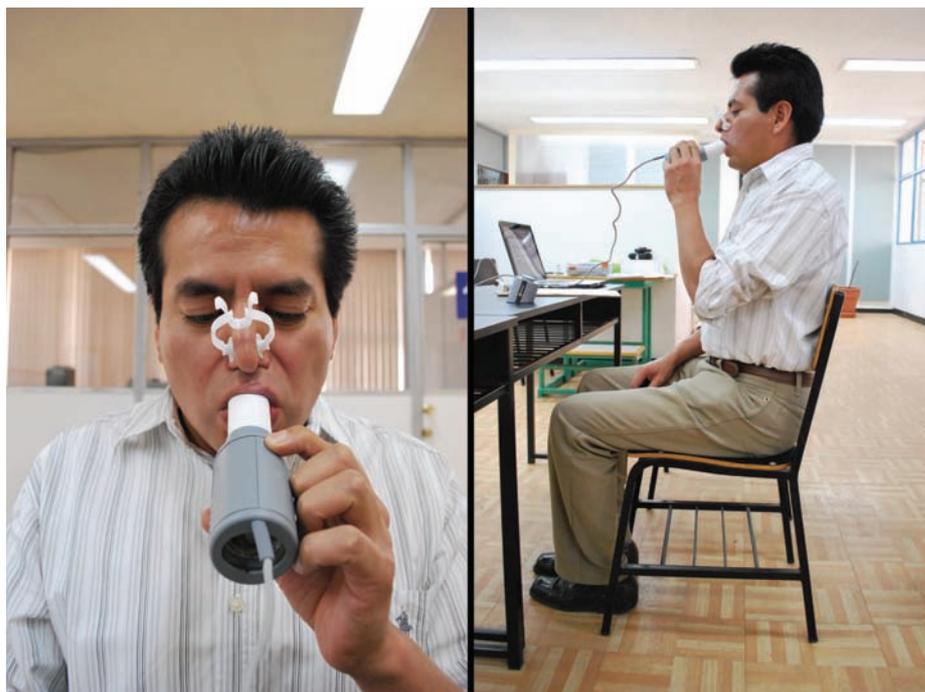


Figura 3.3. Ejemplificación de la postura del músico durante la prueba de espirometría.

- *Ejecución de la prueba espirométrica.* Se le pide al músico participante que realice una inspiración relajada hasta captar el máximo volumen de aire. Hecho esto, se coloca la boquilla del espirómetro en la boca y con una orden enérgica se le indica el comienzo de la espiración forzada¹³. Es decir, que expulse el aire de sus

¹³En esta etapa se recomienda que la prueba dure como mínimo, 6 segundos, durante los cuales se le anima al participante continuar, vigilando que expulse el aire continuamente y asegurar que se mantiene un flujo constante.

pulmones con el mayor esfuerzo posible.

- *Finalización de la prueba:* La prueba se finaliza, cuando se obtengan 3 curvas técnicamente satisfactorias siendo aquellas que duren más de 6 segundos y con diferencias entre los índices FVC y los PEF de las tres curvas inferiores al 5% o 100 ml (especificaciones del manual del equipo). Recomiendan que el número máximo de curvas a realizar sea entre 8 a 9 intentos pero por cuestiones de tiempo disponible para la realización de las pruebas solo se toma en cuenta las tres curvas que necesita el equipo para realizar la curva representativa de la prueba.
- *Cálculo de la mejor curva espirométrica:* Es aquella en que la suma del PEF y de FVC es la máxima. Por las características del instrumento, dicha curva se obtiene directamente ya que lo calcula inmediatamente.

El equipo para las pruebas espirométricas es el modelo Spiro USB, de Micro Medical, el cual incluye un software (Spida 5) que ayuda al procesamiento de las curvas espirométricas en la obtención de valores promedio después de tres pruebas exitosas. Los datos son obtenidos de forma directa en el informe que el software genera.

3.2.2 Factores constantes y cambios en el segundo elemento: la boquilla.

Para realizar los prototipos y la simulación en la parte interna de la boquilla, se toman en cuenta las configuraciones de sus factores establecidos en el capítulo anterior y que en resumen se muestran en la Figura 3.4. Sobre esto se comenta dos aspectos importantes:

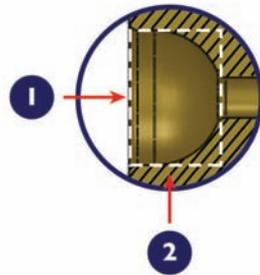
- Las dimensiones de la parte interna de la boquilla son los factores más relevantes para la simulación pues dependiendo del perfil de la copa, el cuello y el tudel de la boquilla el fluido tiene un comportamiento particular.
- Las dimensiones externas del aro no intervienen de forma directa en el flujo del aire por lo que no forman parte en la simulación.

Por ello, las dimensiones de las siguientes partes de la boquilla se mantienen constantes para simplificar el número de configuraciones posibles de todos sus factores:

- Diámetro máximo del aro y su longitud.
- Longitud total de la boquilla.
- Parte externa del tudel.
- Diámetro de salida en la parte interna del tudel.
- Longitud y diámetro de entrada de la copa.
- Los bordes de toda la boquilla están redondeados pues su función es evitar cortes e irritaciones que son causadas por las orillas afiladas y virutas generadas por el corte del maquinado del prototipo.
- El perfil del aro.

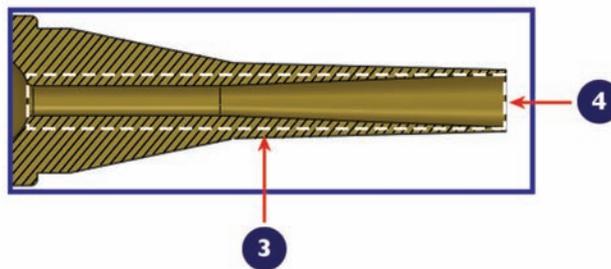
Dimensiones constantes:

Copa de la boquilla



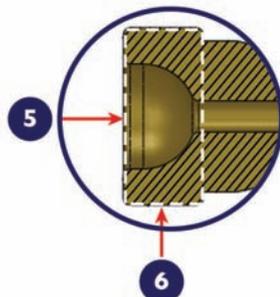
1. diámetro de entrada
2. longitud

Cuello y tudel de la boquilla



3. longitud total cuello tudel
4. Diámetro de salida

Parte externa de la boquilla



5. diámetro máximo del aro
6. longitud del aro

Figura 3.4. Parámetros establecidos en el desarrollo de prototipos de boquilla.

Por otro lado, los cambios que se generan en la boquilla son los siguientes:

- *La forma del perfil de la copa:* Compuesto por 2 formas elementales determinados en el análisis de las patentes: copa de perfil cóncavo y copa de sección recta. Como se trata de una parte sensible que influye tanto en el sonido del instrumento así como el desempeño del músico es un factor que requiere ser evaluado en el estudio.
- *El diámetro de cuello y su longitud:* Mediante este factor se manipula la restricción de la cantidad del flujo de aire que pasa a través de la boquilla. Un mayor diámetro del cuello implica mayor esfuerzo por parte del músico para generar sonidos.
- *La forma interna del tudel.* El perfil establecido es un cilindro cónico pero como las dimensiones del cuello cambian su ángulo de inclinación se ve alterado.

Con estos cambios se establece la evaluación de cada uno de los diseños propuestos donde los comentarios de los músicos es parte vital de la información que se busca obtener del estudio. Finalmente dependiendo de los resultados posiblemente se busque cambiar otro factor de dimensión en la boquilla.

3.2.2a Factores y condiciones para la simulación del flujo del aire en la boquilla a través del método por elemento finito.

Para realizar la simulación es necesario establecer ciertas suposiciones y condiciones que representen el momento real del soplido del músico al momento de ejecutar el instrumento de metal. El método de simulación por elemento finito es muy utilizado para el análisis de la dinámica de fluidos donde se especulan una serie de condiciones y suposiciones, dado que el movimiento y trayectoria del flujo de un fluido son fenómenos de alta complejidad que hasta el momento sus ecuaciones fundamentales solo pueden ser resueltas por métodos numéricos o a través de este tipo de simulación. Para ello es necesario establecer las siguientes suposiciones:

1. El aro de la boquilla no interviene de forma directa en la trayectoria que sigue el flujo del aire.
2. No hay intercambio de calor considerables entre el medio ambiente y el flujo de aire del soplido del músico, por lo que la temperatura del material de la boquilla se mantiene constante.
3. Se considera que el diámetro de entrada de la copa recibe todo el flujo del aire en el momento de la ejecución del instrumento, es decir toda la columna de aire que genera el músico pasa a través de la boquilla.
4. El movimiento de la vibración de los labios se simplifican pues se analiza el comportamiento del flujo del aire a condiciones de turbulencia.
5. La rugosidad de las paredes del perfil de la boquilla es mínima dado que la manufactura de una boquilla tiene un acabado superficial de pulido.
6. A la salida de la boquilla las condiciones límite de la simulación son la presión y temperatura del ambiente ya que se simplifica los efectos del instrumento de metal.
7. No hay corrientes externas que alteren el trayecto del flujo del aire en el interior de la boquilla.

Con estas suposiciones, se establecen los siguientes parámetros como condiciones para la simulación:

- a. El valor de la temperatura ambiente tiene un valor de 21 °C.
- b. La rugosidad de las paredes del perfil de la boquilla es de $10\mu m$, es decir, se considera que el prototipo real es de acabado fino por maquinado por torno.
- c. La presión atmosférica es de 101325 Pa (valor de entrada establecido por el software).
- d. El porcentaje de humedad del aire del soplido músico es de un 50%.
- e. El valor de la cantidad del flujo del aire es el promedio de los valores máximos y mínimos de la primera serie de las pruebas de espirometría.

Dado que las dimensiones de entrada y salida de la boquilla se mantienen constantes solo hay cuatro casos en la simulación debido a los cambios y configuraciones de los factores establecidos en las anteriores secciones. Por otro lado el software con el que se apoya este estudio es SolidWorks versión 2010, un producto muy utilizado en la industria y en la investigación. En dicho software está el módulo de simulación de flujos para secciones cerradas finitas Flow Simulations. Los resultados que se obtienen en la simulación son velocidades, gastos volumétricos y diferencia de presiones representadas en forma gráfica mediante la coloración de las trayectorias de las líneas de flujo del propio fluido.

3.3 Recopilación de información a través de encuestas y entrevistas.

La encuesta es una recopilación sistemática de información sobre las creencias de la gente, sus actitudes, valores y comportamientos. (Wickens et al, 1998a), por lo que es un medio importante para obtener información de tipo cualitativo. El propósito de la encuesta es para conocer a fondo la técnica del músico y lo que alcanza a percibir cuando utiliza una boquilla mediante un conjunto de preguntas escritas cuyas respuestas están graduadas en escalas numéricas ya que de esta manera son utilizadas en investigaciones experimentales o descriptivas (Wickens et al, 1998b). Para el estudio de campo se plantean dos encuestas donde cada una tiene una serie de preguntas abiertas sobre aspectos específicos relacionados con la actividad de la ejecución del instrumento de metal con la boquilla y otros donde las respuestas se limitan a solo un grupo de opciones. En otros casos las respuestas se escalan numéricamente para facilitar el análisis desde una perspectiva cuantitativa.

3.3.1 La encuesta del estudio piloto.

La estructura general de la encuesta para el estudio piloto está conformada en dos partes donde cada una tiene un propósito. La primera parte está orientada para obtener información sobre la técnica que el músico utiliza al tocar el instrumento con su boquilla tomando los dos casos más comunes de configuración de perfil de la copa; el perfil de curva suave (conocido como forma en V) y de perfil de curva cóncava (conocido como forma C). La segunda parte esta estructurada para validar o descartar las condiciones establecidas en el capítulo anterior donde la formulación de los reactivos no son preguntas específicas sino afirmaciones de hechos comunes cuando el músico utiliza su boquilla y el instrumento. Entonces Las partes principales de la encuesta tienen las siguientes secciones:

1. Datos generales (sección naranja). Con la finalidad de que la información se clasifique en grupos de músicos profesionales y estudiantes. También es importante conocer sus años de experiencia laboral y de estudios (Figura 3.6a).
2. Sección I: Técnica de respiración y utilización de la boquilla (sección azul). Orientado para obtener información sobre la técnica que aplica el músico al utilizar la boquilla y el instrumento de metal (Figura 3.6a y 3.6b).

3. Sección 2: Preferencias del músico hacia la boquilla (sección verde). Con esta información se busca orientar mejor las propuestas de diseño de los prototipos (Figura 3.6b y 3.6c).
4. Sección 3: Percepciones generales sobre la ejecución del instrumento de metal. Se les expone a los músicos ciertos enunciados que manifiestan un hecho respecto a apreciaciones subjetivas en la ejecución del instrumento de metal con el fin de orientar los planteamientos establecidos en el capítulo anterior. (Figura 3.6c y 3.6d).

Para ampliar la información la entrevista forma parte del estudio como medio de apoyo de las encuestas pero solo es llevada a cabo bajo el consentimiento del músico participante.

3.3.2 La encuesta del estudio comparativo de boquillas.

La encuesta esta estructurada con preguntas cerradas con la finalidad de que los participantes respondan sobre un limitado número de opciones. Hay varias ventajas para usar este tipo de preguntas, el más sobresaliente es que es más fácil convertir los resultados hacia aspectos cuantitativos (Wickens et al, 1998c). De esta forma se busca exponer los resultados de forma gráfica para facilitar su interpretación y análisis. La encuesta tiene las siguientes partes:

1. Datos generales. Para hacer una distinción entre los participantes en la etapa de estudio comparativo de las boquillas (Figura 3.7a).
2. Prueba espirométrica: Con la finalidad de hacer anotaciones sobre los parámetros respiratorios del músico participante al realizarse la prueba de espirometría (Figura 3.7a). Se busca conocer las capacidades respiratorias de los músicos participantes.
3. Mediciones antropométricas: Para obtener las dimensiones de los labios del músico participante y determinar el índice de área “labios-boquilla” (Figura 3.7a) en cada músico.
4. Prueba de “tiempo vs soplido del músico.” Considerando el análisis de Bromage de que los labios al acoplarse a la boquilla se comportan como una válvula de paso, se establece medir el tiempo en el cual el músico puede mantener generando las notas (sonidos específicos) Do grave y Do agudo respectivamente (Figura 3.5) como parte de una prueba para conocer el control de la vibración de los labios y si el perfil interno de cada prototipo influye de manera importante en sus habilidades de ejecución (Figura 3.7a).
5. Cuestionario de evaluación del prototipo de la boquilla. En esta sección el músico juzga las características de los prototipos de boquilla, donde los reactivos preguntan los parámetros acústicos y físicos establecidos en la sección de Usabilidad de la boquilla. Los considerados para la encuesta son los siguientes (Figura 3.7b y 3.7c):
 - a. La tonalidad.
 - b. La respuesta.
 - c. La facilidad para generar una nota.

- d. La resistencia que la boquilla crea al músico para generar una nota, así como la comodidad al acoplarlo en sus labios.
- e. El esfuerzo para hacer vibrar sus labios.
- f. El color del sonido (timbre).

Por cada uno de los prototipos, el músico participante contesta un cuestionario. Como tienen una configuración de factores muy específicos se busca correlacionar sus características con las apreciaciones del músico a fin refinar el modelo planteado de Usabilidad. Los reactivos preguntan situaciones generales durante la interpretación de una composición musical. Por ejemplo, para darle mayor expresión a los sonidos (notas) a los músicos se les especifican ciertas intensidades siendo las más comunes las notas suave (hacer el sonido quedo), y notas fuerte (hacer el sonido muy intenso).

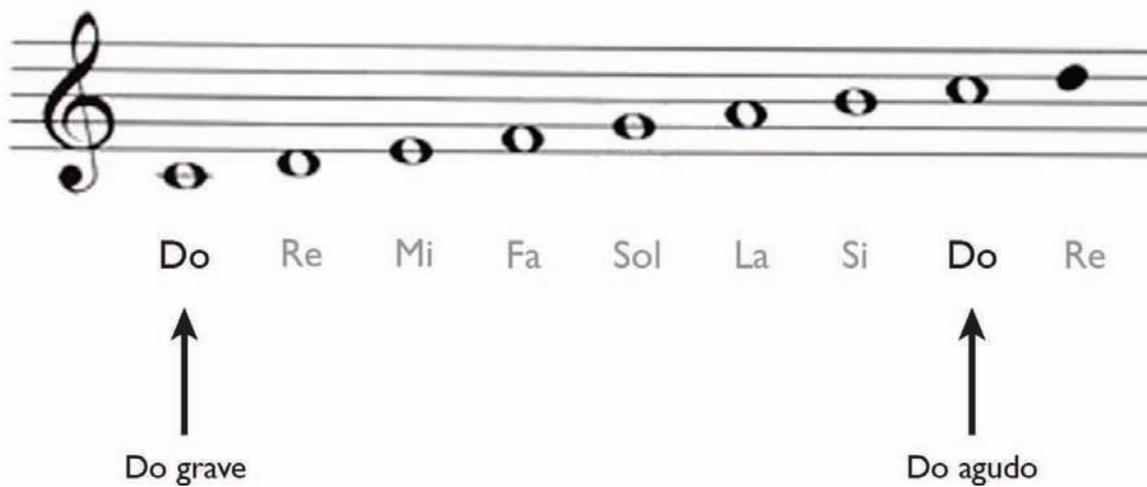


Figura 3.5. Notas empleadas en las pruebas. Escala musical en clave de sol.

Cuestionario.

No Folio: _____

Datos Generales:

Edad: _____ Trabaja en la música: Estudia música: Lugar: _____

Marque el tipo de instrumento que toca:

Trombón: Trompeta: Tuba:

Género: M F

Años de tocar el instrumento: _____

- Al momento de tocar el instrumento. ¿Qué parte de su cuerpo utiliza para inhalar aire?

Nariz: Boca: Nariz y boca:

- ¿Cuál es el grado de dificultad que tiene al inhalar aire estando frente a la boquilla y el instrumentos

Ninguna: Poca: Moderada: Mucha: Excesiva:

- Al momento de tocar el instrumento. ¿Cómo coloca la boquilla sobre sus labios?

Ligeramente hacia el lado derecho: En la parte central:

Ligeramente hacia el lado izquierdo: Otro caso: _____

- ¿Existe alguna razón por la cual usted coloca de manera especial la boquilla en sus labios?

- ¿Con la boquilla qué tanta presión ejerce sobre sus labios?

Ninguna: Poca: Moderada: Mucha: Excesiva:

- ¿A qué se debe esta acción de ejercer presión?

Para aumentar la vibración de los labios: Mejorar el sonido del instrumento:

Tener una mayor respuesta para hacer los cambios de tonos:

Otro razón: _____

Figura 3.6a. La encuesta de la prueba piloto. Hoja 1 de 4.

- En su opinión ¿Cuáles son los aspectos físicos que un músico debe cuidar al momento de tocar el instrumento? (Puede marcar mas de una opción)

La técnica de respiración (inhalar-exhalar aire): El cuidado de los labios:

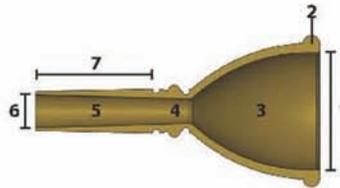
El control de la vibración de los labios: La dentadura:

La cantidad de aire inhalado: La postura:

Otros aspectos: _____

- A continuación se muestra diagramas sobre las partes de la boquilla. Esto con la intención de guiarlo para contestar las siguientes preguntas.

1. Diámetro de la copa.
2. Aro de la boquilla.
3. Copa.
4. Cuello de la boquilla.
5. Cono interior.
6. Diámetro máximo del cono.



- En su opinión ¿Cuáles son los aspectos de la boquilla que le afectan para tocar el instrumento? (Puede marcar mas de una opción)

Los diámetros internos de la copa y el tudel: La forma externa de la boquilla:

El material con el que está hecho: La forma interna de la copa:

La longitud del tudel: El tamaño del rin:

Desconozco cuales son los aspectos que me afectan:

Otro: _____

- Cuando usa por primera vez una boquilla ¿Qué dificultades se le han presentado? (Puede marcar mas de una opción)

Le resulta incomodo para sus labios: El instrumento se desafina:

Dificultad para inhalar y exhalar aire:

Dificultad para hacer vibrar sus labios:

No alcanza el tono apropiada a una nota:

Otra razón: _____

Figura 3.6b. La encuesta de la prueba piloto. Hoja 2 de 4.

• ¿Cuál es la forma del aro que mejor le acomoda para hacer vibrar sus labios?

Redondeado: Plano: Grueso: Delgado:

Otro: _____

• En la forma de la copa ¿Cuál es el perfil que más utiliza?



Copa en forma de C:



Copa en forma de V:

¿Cuales son las razones de su elección?

La siguiente sección encontrará enunciados, los cuales son afirmaciones de situaciones a las que un músico enfrenta al momento de tocar su instrumento. Marque solo un recuadro sobre que tan de acuerdo o en desacuerdo esta con el enunciado.

Requiero inhalar mucho aire para mantener una nota alta.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Requiero inhalar mucho aire para mantener una nota baja.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Requiero inhalar poco aire para mantener una nota alta.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Requiero inhalar poco aire para mantener una nota baja.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Figura 3.6c. La encuesta de la prueba piloto. Hoja 3 de 4.

Requiero hacer mucho esfuerzo para alcanzar una nota alta.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Requiero hacer mucho esfuerzo para alcanzar una nota baja.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Requiero hacer poco esfuerzo para alcanzar una nota alta.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Requiero hacer poco esfuerzo para alcanzar una nota baja.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Encuentro resistencia en la boquilla para producir una nota alta.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Encuentro resistencia en la boquilla para producir una nota baja.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Puedo generar la nota de forma rápida.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Puedo repetir las notas sencillamente.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Puedo adaptar mis labios fácilmente en cualquier boquilla para generar una nota.

0	1	2	3	4
Completamente en desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		Completamente de acuerdo

Si tiene algún otro comentario respecto a tema de la boquilla, puede escribirlo en la parte de atrás de esta página.

Gracias por su participación.

Figura 3.6d. La encuesta de la prueba piloto. Hoja 4 de 4.

Datos Generales:

Edad: _____ Institución donde labora: _____ Género: M F

Años de tocar el instrumento: _____ No. Folio: _____

Prueba de Espirometría:

Capacidad Vital Forzada (FVC): _____

Flujo Expiratorio Máximo (PEF): _____

Mediciones antropométricas:

Longitud labios: _____

Longitud (ul-II) : _____

Nota: Obtener fotografía.

Etapas de prueba: boquilla con el instrumento.

1. Decir al músico que pruebe la boquilla libremente.
2. Comentar al músico que haga sus ejercicios de calentamiento usando la boquilla. Tiempo máximo 5 minutos.

Pruebas de tiempo-flujo del soplido.

Pedirle al músico que genere la nota do grave y do agudo soplando con la mayor fuerza posible hasta donde pueda sostenerlo.

Boquilla copa en C, cuello 3/16 Do_{grave}: T₁ _____ Do_{agudo}: T₂ _____

Boquilla copa en C, cuello 5/32 Do_{grave}: T₁ _____ Do_{agudo}: T₂ _____

Boquilla copa recta, cuello 3/16 Do_{grave}: T₁ _____ Do_{agudo}: T₂ _____

Boquilla copa recta, cuello 5/32 Do_{grave}: T₁ _____ Do_{agudo}: T₂ _____

Figura 3.7a. La encuesta del estudio comparativo (Hoja 1 de 3).

Boquilla Copa en C aro redondo cuello 3/16 pulg.

A continuación hay una serie de preguntas para evaluar el prototipo de boquilla. Favor de contestar lo más franco posible.

Sección I.

¿Cómo considera el contacto del aro de la boquilla con sus labios?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy Incómodo			Neutral poca diferencia				Muy cómodo		

¿Cómo considera la vibración de sus labios en la boquilla?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Me cuesta mucho hacerlos vibrar			Neutral poca diferencia				Fácilmente puedo hacerlos vibrar		

¿Cuánto aire requiere para mantener una nota *forte*?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requiero poco aire			No encuentro diferencia				Requiero mucho aire		

¿Cuánto aire requiere para mantener una nota *piano*?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requiero poco aire			No encuentro diferencia				Requiero mucho aire		

Figura 3.7b. La encuesta del estudio comparativo. Cuestionario para el caso I de los prototipos de la boquilla (Hoja 2 de 3).

Sección 2.

¿Cómo es la respuesta de la boquilla cuando genera una nota?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy lenta			Neutral poca diferencia				Muy rápida		

¿Cómo considera la repetición de un registro medio a triple corchea (32va.)?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Difícil de hacer			No encuentro diferencia				Fácil de hacer		

¿Con que facilidad puede generar una nota en forte?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy difícil			No encuentro diferencia				Muy fácil		

¿Con que facilidad puede generar una nota en piano?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy difícil			No encuentro diferencia				Muy fácil		

¿Cómo considera la calidad tonal de la boquilla?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy oscuro			Neutral				Muy brillante		
Apropiado para el género que toca?									

¿Con que facilidad puede encontrar el centro tonal de las notas en la boquilla?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy difícil			Neutral				Muy fácil		

Figura 3.7c. La encuesta del estudio comparativo. Cuestionario para el caso I de los prototipos de la boquilla (Hoja 3 de 3).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos del estudio de campo con los músicos y las condiciones planteadas sobre la boquilla del instrumento de metal se exponen en este capítulo. Cada una de las etapas tuvieron el objetivo de obtener información valiosa para conocer a fondo las necesidades del músico así como estimar la influencia de un diseño particular de la boquilla en la generación de sonidos.

4.1 Resultados del estudio piloto.

Sobre la muestra de población del estudio piloto se mencionan los siguientes aspectos:

- Los participantes son alumnos de la Escuela Nacional de Música de la UNAM y músicos a nivel profesional de la Orquesta Filarmónica de la UNAM, Orquesta Filarmónica de la Ciudad de México y de la Banda Sinfónica del Municipio de Tlalnepantla. Las edades comprende desde los 16 hasta los 72 años de edad. Los años de tocar el instrumento de los músicos profesionales ronda entre los 16 hasta los 40 años.
- Los estudiantes de música que participaron en el estudio piloto comentaron tener la posibilidad de laborar pero no necesariamente en orquestas a nivel profesional. Por lo general, forman grupos compuestos entre 5 a 8 integrantes y tocan música para eventos o reuniones sociales. En algunos casos son parte de orquestas juveniles que son un primer eslabón hacia las condiciones de la labor profesional.
- La muestra se desarrolló dependiendo de la disponibilidad de las actividades de los participantes por lo que no en todos los casos accedieron a ser entrevistados una vez aplicada la encuesta.

4.1.1 La técnica de respiración y uso de la boquilla.

Los resultados obtenidos de la encuesta sobre como inhalan/exhalan aire para tocar el instrumento de metal y uso de la boquilla se muestra en la Figura 4.1. En los resultados obtenidos de la encuesta se observó lo siguiente:

- Es más recurrente que los músicos inhalen aire por la nariz y la boca al mismo tiempo ya que lo intentan realizar en el menor tiempo posible. Algunos participantes comentaron que buscan conceptualizar en sus mentes esta acción pues consideran que mediante esta manera es como obtienen mejores resultados.
- La boquilla así como el instrumento puede impedir que el músico inhale/exhale aire de forma libre al estar en frente de su rostro. Independientemente de esto el músico busca de alguna forma adaptarse a esta situación y conseguir el máximo rendimiento de sus capacidades respiratorias.

Partes del cuerpo que utilizan para inhalar aire:



solo la boca

5 músicos



nariz y boca

9 músicos



Dificultad para inhalar aire frente a la boquilla e instrumento:

ninguna

6 músicos

poca

3 músicos

moderada

5 músicos

Colocación de los labios en la boquilla:



centro

11 músicos



ligeramente
lado derecho

3 músicos



ligeramente
lado izquierdo

1 músico

Presión sobre los labios con la boquilla:

poca

4 músicos

moderada

9 músicos

mucha

1 músico

Razones:

- 1 Control en los tonos
- 2 Embocadura
- 3 Mayor tensión en los labios
- 4 Mejor sonido

Aspectos físicos que un músico debe cuidar:

- 1 Técnica de respiración
- 2 Control en la vibración de los labios
- 3 Cuidado de los labios o la postura
- 4 Cantidad de aire inhalado
- 5 Dentadura

Figura 4.1. Respuestas de los músicos sobre la técnica de respiración y uso de la boquilla.

- La posición más recurrente para colocar la boquilla en los labios es en el centro. Son pocos los casos donde la posición cambia significativamente hacia alguno de los lados debido a que el músico padece alguna deformación dental en la parte frontal de la boca.
- La presión de los labios sobre la boquilla tiende a ser moderada pues el músico solo buscan acoplarse a este para hacer un empalme que selle a fin de hacer

continuo el flujo del aire procurando no lastimarse durante la ejecución del instrumento. Hubo el caso de un participante que ejerce gran presión sobre la boquilla porque de esta forma ha desarrollado su técnica de ejecución.

- Para los músicos encuestados es más importante tener un control adecuado de los tonos de las notas musicales y desarrollar una embocadura adecuada para conseguir resultados óptimos al tocar el instrumento de metal.
- Los músicos participantes consideran que la técnica de respiración y el control de la vibración de los labios son los aspectos físicos más importantes en la ejecución de los instrumentos de metal.

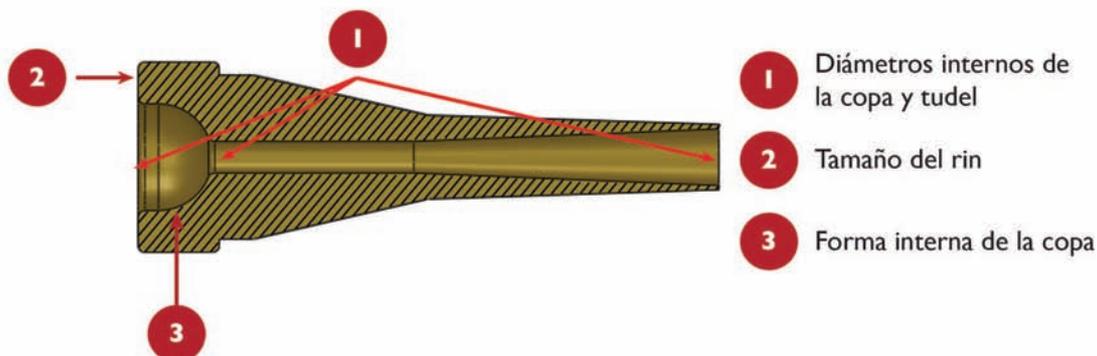
Cabe destacar que los músicos profesionales comentaron que continuamente buscan desarrollar una buena técnica de ejecución y tratar de no depender en gran medida en las cualidades del equipo (refiriéndose al instrumento y la boquilla). Para comprobar este hecho fue necesario hacer el estudio comparativo utilizando las configuraciones de los factores establecidos para el diseño de los prototipos.

4.1.2 Preferencias del músico hacia la boquilla.

Respecto a las preferencias de la boquilla por parte del músico, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.2 y se observó lo siguiente:

- Los músicos consideran que los diámetros internos de la copa y el tudel son los aspectos de la boquilla que más afectan al músico, por lo que son factores importantes a tomar en cuenta.
- El tamaño del aro es el factor que más influye en los labios del músico para que estos se acomoden en la boquilla, por lo que es un factor importante a considerar en etapas posteriores.
- Cuando el músico usa otra boquilla tienen que volver a adaptarse a ella debido a dos razones principales:
 - En principio el aro de la boquilla les resulta incómodo para sus labios.
 - Su embocadura puede variar y por tanto influir en la vibración de los labios.
- El perfil de copa más utilizado es de curva cóncava (copa en C). Con este perfil los músicos buscan comodidad para generar el sonido. En sus propias palabras, “el sonido entra directo.” Por tratarse de la música orquestal, el intérprete busca un sonido de gran proyección.
- Generalmente un músico se orienta a partir de las opiniones de otros o sencillamente su selección fue porque su aprendizaje comenzó con una configuración particular de boquilla.

Aspectos de la boquilla que afectan al músico al tocar el instrumento:



Dificultades al usar por primera vez una boquilla:

- 1 Incomodidad para vibrar los labios
- 2 El instrumento se desafina
- 3 Dificultad para inhalar/ exhalar aire
No alcanzar el tono de la nota apropiadamente

Perfil de copa que más utiliza:



Razones:

- ✓ El sonido entra directo
- ✓ Calidad, mayor amplitud del sonido
- ✓ Comodidad
- ✓ El único que he usado
- ✓ Recomendación del profesor

Figura 4.2. Resultados sobre las preferencias del músico hacia la boquilla.

4.1.3 Percepciones generales sobre la ejecución del instrumento.

Los resultados obtenidos de la tercera sección de la encuesta fueron una primera aproximación sobre las percepciones que el músico tiene sobre la ejecución del instrumento musical. Al tratarse de un enunciado que afirma un hecho planteado, el músico evaluó su veracidad a través de la escala numérica anexa al reactivo. La recopilación y análisis de los datos fue a través de distinguir la repetición de los valores numéricos determinando así las tendencias de las respuestas. Cada uno de los enunciados planteados se presentan y seguido a ellos su respectiva observación:

Requerir inhalar mucho aire para mantener una nota alta.
Observación: Hay un consenso entre los músicos participantes sobre este enunciado. Ellos procuran tener el máximo rendimiento en sus capacidades respiratorias.
Requerir inhalar mucho aire para mantener una nota baja.
Observación: Las opiniones coinciden que por tratarse de una nota baja no significa que tengan que suministrar una menor cantidad de aire. En todo momento de la ejecución del instrumento debe ser con el máximo rendimiento de respiración y de forma continua.
Requerir hacer mucho esfuerzo para alcanzar una nota alta. Ó requerir hacer mucho esfuerzo para alcanzar una nota baja.
Observación: Las opiniones sobre estos dos enunciados concuerdan en que para generar notas altas el músico no debe esforzarse más de lo requerido. En el caso de las notas bajas sucede de forma similar, el esfuerzo del músico no necesariamente debe ser mayor del necesario.
Un músico requiere hacer poco esfuerzo para alcanzar una nota alta. Ó un músico requiere hacer poco esfuerzo para alcanzar una nota baja.
Observación: Las opiniones de los músicos sobre estos dos enunciado no muestran una tendencia clara. Cada quien opina a modo personal cual debe ser el esfuerzo mínimo necesario para la ejecución del instrumento musical.
Encontrar resistencia en la boquilla para producir una nota alta. Ó encontrar resistencia en la boquilla para producir una nota baja.
Observación: Las opiniones de los músicos participantes no muestran una tendencia clara que permita puntualizar la apreciación del término “resistencia” de la boquilla para generar una nota baja o alta. Aún cuando se comenta mucho sobre este aspecto entre la comunidad de los músicos, es una de las apreciaciones más subjetivas y difíciles de aclarar. Por tanto cada músico es un caso particular y necesariamente requieren experimentar con la boquilla antes de decidir si este le es útil para sus actividades.
Poder generar notas de forma rápida.
Observación: Hay una ligera tendencia sobre este argumento, aunque se sabe de antemano que esto depende de las habilidades particulares del músico, sus años de experiencia y el entrenamiento continuo.
Poder repetir las notas sencillamente.
Observación: De forma similar que en el anterior caso, hay una ligera tendencia que afirma esta aseveración en las opiniones de los músicos. Sin embargo se considera necesario que el músico experimente con la boquilla para determinar si le resulta útil en su actividad.
Adaptar los labios en cualquier boquilla para generar los sonidos en el instrumento.
Observación: En este caso las opiniones de los músicos sobre este enunciado expresan que requieren de tiempo para adaptarse a la boquilla. Con esto se reafirma que en definitiva ellos requieren experimentar con las características de la boquilla para saber si les será útil en su actividad.

La información que se obtuvo de esta encuesta ayudó a orientar la formulación de la segunda encuesta. En los enunciados respecto a la resistencia de la boquilla, el esfuerzo para generar la nota de forma rápida y repetidamente se consideraron nuevamente para la segunda encuesta ya que son importantes parámetros musicales que evalúan las características de la boquilla ya que no posible indagar con mayor objetividad mediante en esta encuesta. Respecto a la cantidad de aire que requieren para generar una nota con la boquilla fue necesario hacer otra prueba en la segunda encuesta ya que estos resultados no permiten indagar con claridad sobre como el músico administra la cantidad de aire inhalado para hacer vibrar sus labios en la boquilla.

4.1.4 Las pruebas espirométricas del estudio piloto.

En la muestra de población de los músicos participantes en el estudio piloto se les realizó la prueba de espirometría con el fin de tener valores y curvas de Capacidad Pulmonar (FVC) y de Flujo Espiratorio Máximo (PEF). Estos valores fisiológicos son parte de las condiciones de entrada de la simulación del flujo del aire que pasa a través de la boquilla por el método del elemento finito.

El total de las curvas obtenidas fueron 43 ya que por cada participante se realizaron 3 mediciones de los cuales el software del espirómetro las discrimina proporcionando solo una considerándola como la de mejor medición. Además, por las características del software solo proporciona los valores mínimos y máximos así como el valor medio de cada uno de parámetros fisiológicos y las gráficas son una ilustración de la tendencia de la medición por lo que no proporcionan valores punto a punto a través del periodo del tiempo de la prueba espirométrica. Estos valores mínimos y máximos de los parámetros fisiológicos fueron suficiente información para hacer la estimación por medio de la simulación. En la Figura 4.3 se ilustran los casos de las curvas del valor mínimo y máximo de la Capacidad Vital Forzada (FVC) y del Flujo Espiratorio Forzado (PEF) de toda la serie de pruebas espirométricas. Los valores obtenidos son los siguientes:

- Máximo valor FVC: 5.25 litros.
- Mínimo valor FVC: 3.77 litros.

Para representar a la muestra de población se obtuvieron las medias de cada uno de estos parámetros, obteniéndose los siguientes valores:

- \overline{FVC} mínimo: 3.26 litros. Desviación estándar: 0.5689
- \overline{FVC} máximo: 4.27 litros. Desviación estándar: 0.7228
- \overline{PEF} mínimo: 6.37 litros/seg. Desviación estándar: 0.9512
- \overline{PEF} máximo: 10.05 litros/seg. Desviación estándar: 1.4157

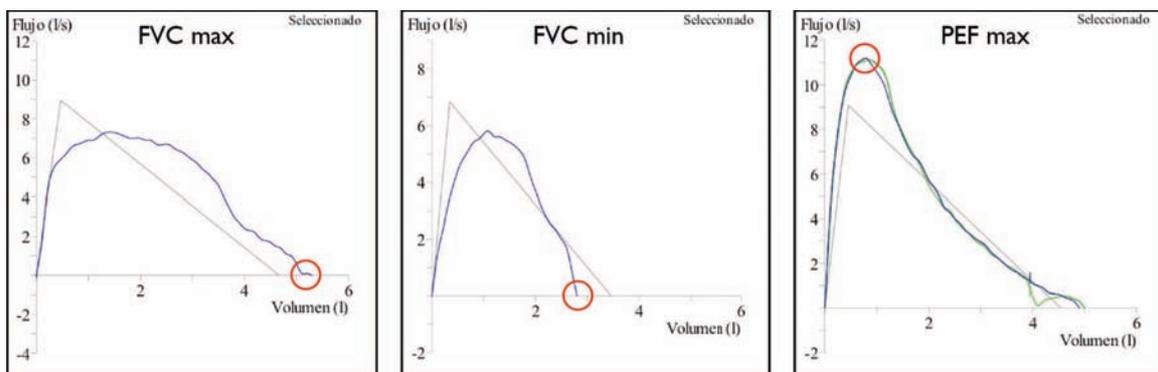
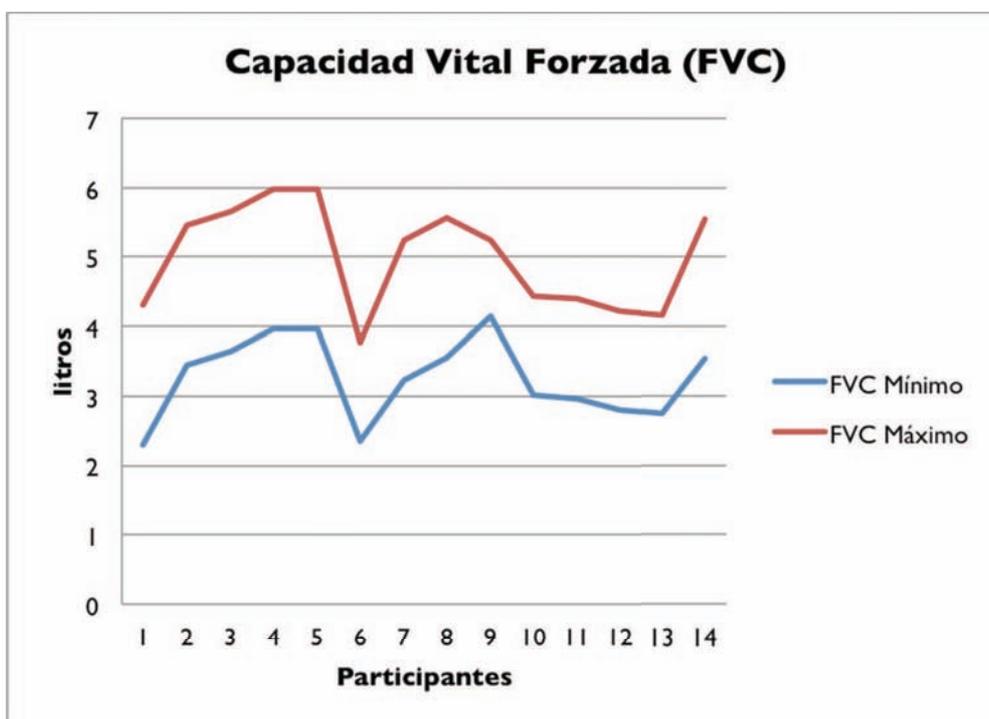


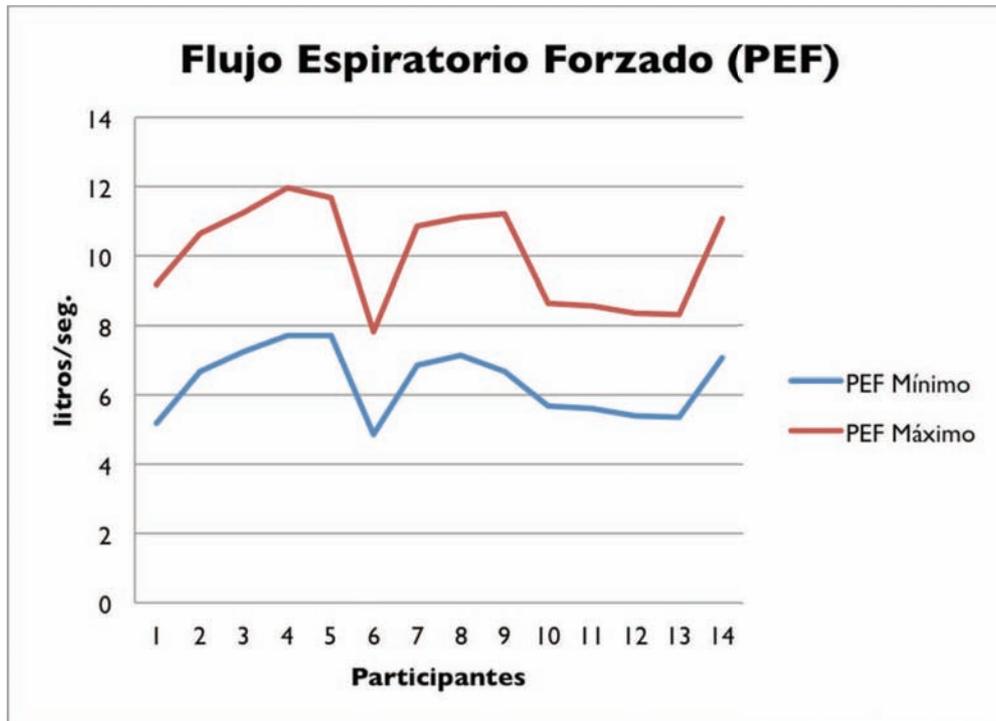
Figura 4.3. Curvas de la capacidad vital forzada (FVC) mínima, capacidad vital forzada máxima y flujo espiratorio forzado (PEF) respectivamente.

En el caso de la Capacidad Vital Forzada (Gráfica 1), se aprecia que el valor máximo ronda entre los 4 hasta los 6 litros. En las condiciones planteadas en secciones anteriores se había establecido que el valor recomendado es alrededor de los 6 litros pero pocos fueron los músicos que obtuvieron este resultado. En circunstancias reales, los hábitos de alimentación, consumo de alcohol y tabaco, además de la disciplina de entrenamiento juegan un papel importante en las capacidades físicas del músico. En este trabajo no se pretendió debatir sobre como el músico lleva a cabo su ejercicio profesional, se trata de comprender la situación real del músico al ejercer su oficio con el fin de orientar de la mejor forma posible el diseño de la boquilla. Por ello, es importante comentar que hubo casos de músicos que mencionaron tener problemas de salud como presión alta, enfermedades crónicas respiratorias (asma) e incluso haber sufrido un ataque al corazón. En estos casos, están forzados a tomar medicamentos, lo cual influyen en los resultados de las pruebas espirométricas. Se hace la aclaración que el valor de los 6 litros de capacidad vital planteado en los capítulos anteriores es una idealización ya que no se consideran enfermedades crónicas o hábitos alimenticios y de salud.



Gráfica 1. Curvas de la Capacidad Vital Forzada (FVC) mínima y Capacidad Vital Forzada máxima.

En el caso del parámetro del Flujo Espiratorio Forzado, en la Gráfica 2 se muestra la tendencia de los resultados obtenidos con los músicos participantes. Hay que resaltar que este parámetro tiene un comportamiento similar a las curvas obtenidas de la Capacidad Vital Forzada. El Flujo Espiratorio Forzado fue el parámetro utilizado en la caracterización del soplido del músico en el desarrollo de la simulación por elemento finito. Ya que el músico está obligado a desarrollar un soplido continuo en el mayor tiempo posible, donde la boquilla influye de forma directa por medio de su perfil interno generando condiciones que favorecen o perjudican el flujo de dicho soplido.



Gráfica 2. Curvas del Flujo Espiratorio Forzado (PEF) mínimo y Flujo Espiratorio Forzado máximo.

En las gráficas 1 y 2, los participantes están ordenados conforme al número que se les asignó en la encuesta (número de folio). Para mayor detalle, los datos se encuentran en las Tabla A del Anexo 2.

4.2 Configuración final de los prototipos.

Observadas las opiniones del músico sobre los factores de la boquilla que consideran afectan su labor, se concluyó que su configuración final en los prototipos tenía que ser el siguiente (Figura 4.4):

1. Parte externa.

- El diámetro máximo del aro se mantiene constante en todos los prototipos.
- El perfil del aro tiene un solo caso: redondo.
- El perfil del tudel se mantiene constante como un cilindro cónico.
- El cuerpo de la boquilla se mantiene constante. Su perfil fue concebido a formas simples para facilitar su elaboración.
- La longitud total de la boquilla es constante.
- Los redondeos de los bordes del cuerpo de la boquilla tienen el mismo valor en todos los casos pues solo se busca evitar cortes e irritaciones generados por los perfiles afilados.

2. Parte interna.

- Dos casos en el perfil de la copa: en forma cóncava (en C) por ser el caso más utilizado y el caso de perfil de copa de sección recta.
- La longitud de la copa se mantiene constante independientemente de los cambios de su perfil.
- Dos casos en el diámetro del cuello: ancho (diámetro de 3/16 pulgadas) y delgado (diámetro de 5/32 pulgadas).
- Diámetro de entrada del tudel en proporción al diámetro del cuello: 3/16 pulgadas y 5/32 pulgadas.
- La longitud del tudel cambia dependiendo del diámetro del cuello.

3. Los labios del músico.

- Se toma la posición central de los labios por ser el caso más repetido entre los músicos participantes.
- Se considera que ambos labios intervienen en la generación de sonidos del instrumento por lo que no hay restricciones salvo el diámetro máximo de la copa.

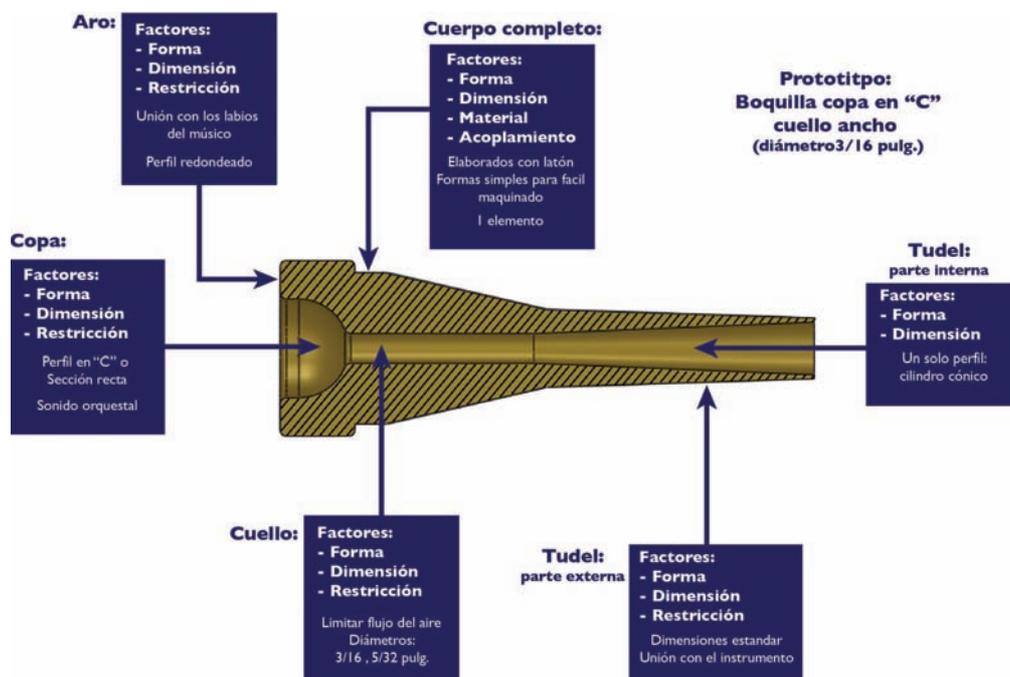


Figura 4.4. Factores de forma, dimensión, restricción, material y acoplamiento de cada una de las partes de la boquilla.

Para la siguiente parte del estudio de campo se eligió a la población de músicos de trompeta porque es el instrumento de metal con mayor número de integrantes en una orquesta profesional (de 3 a 4 integrantes). Además, su soplido requiere de mayor fuerza para ejecutar el instrumento a diferencia de los otros dos instrumentos de metal generando así condiciones particulares que se consideran necesarios explorar.

Los prototipos fueron conceptualmente hechos utilizando el software SolidWorks 2010. Se diseñaron cuatro de acuerdo a la configuración establecida de sus factores y se muestran en la Figura 4.5 con un corte de sección transversal para ilustrar las diferencias de los perfiles de la copa (curva en C y sección recta), las dimensiones del cuello (ancho y delgado) y la forma del tudel. En los modelos que tienen el cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas) la longitud y conicidad del tudel es mayor en comparación de los modelos de cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas). Además para facilitar a que tipo de boquilla se hace referencia, se utiliza el nombre que se localiza en la parte superior de prototipo de la Figura 4.5 y para mayor detalle de las dimensiones y perfiles de cada uno de los ellos se muestran sus respectivas láminas (Figuras 4.5a, 4.5b, 4.5c y 4.5d).



Figura 4.5. Prototipos de boquilla para trompeta. El tamaño del aro es estándar, el perfil de la copa son dos casos y el tudel en su parte externa tiene dimensiones comerciales.

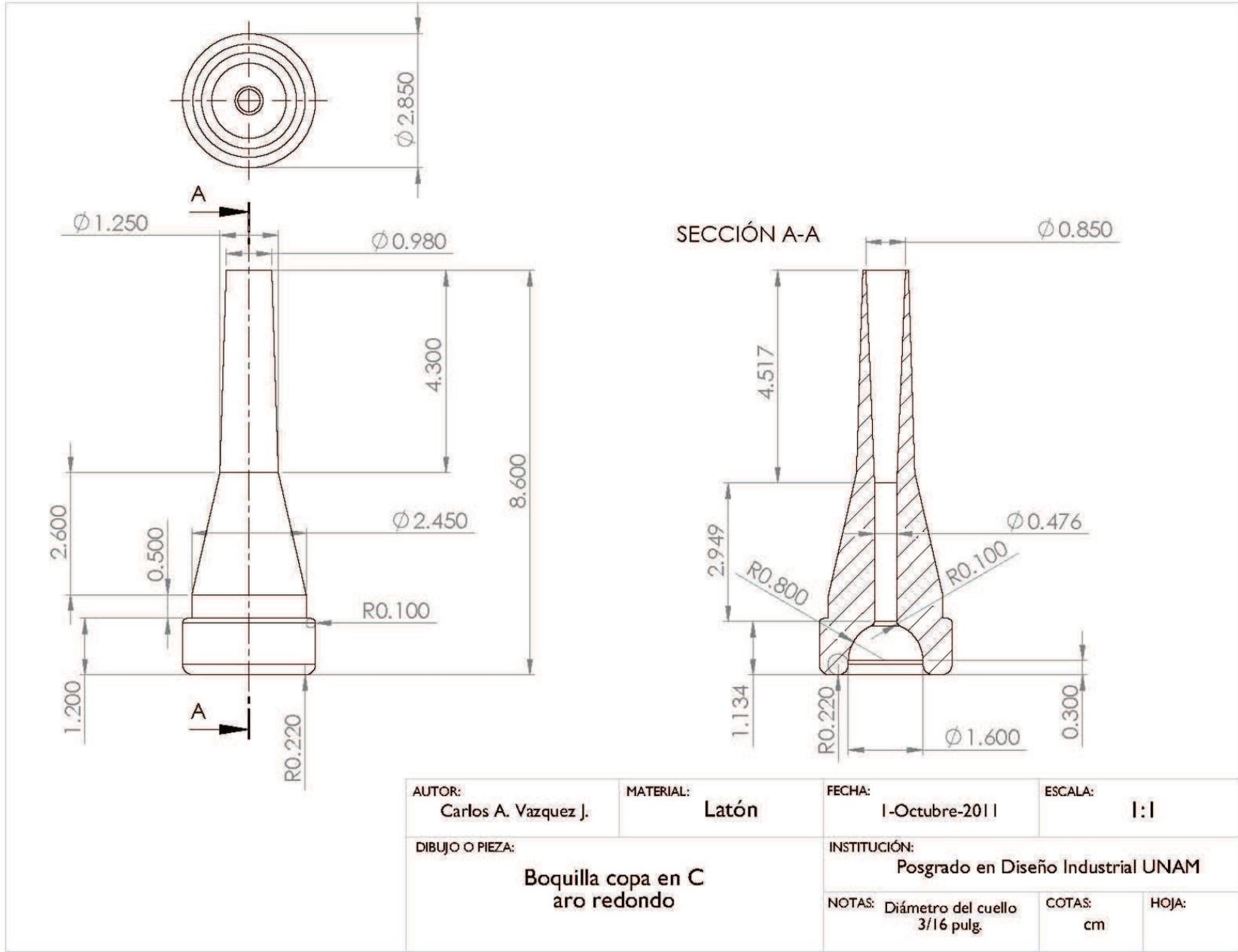


Figura 4.5b. Lamina del prototipo de boquilla copa recta, cuello ancho.

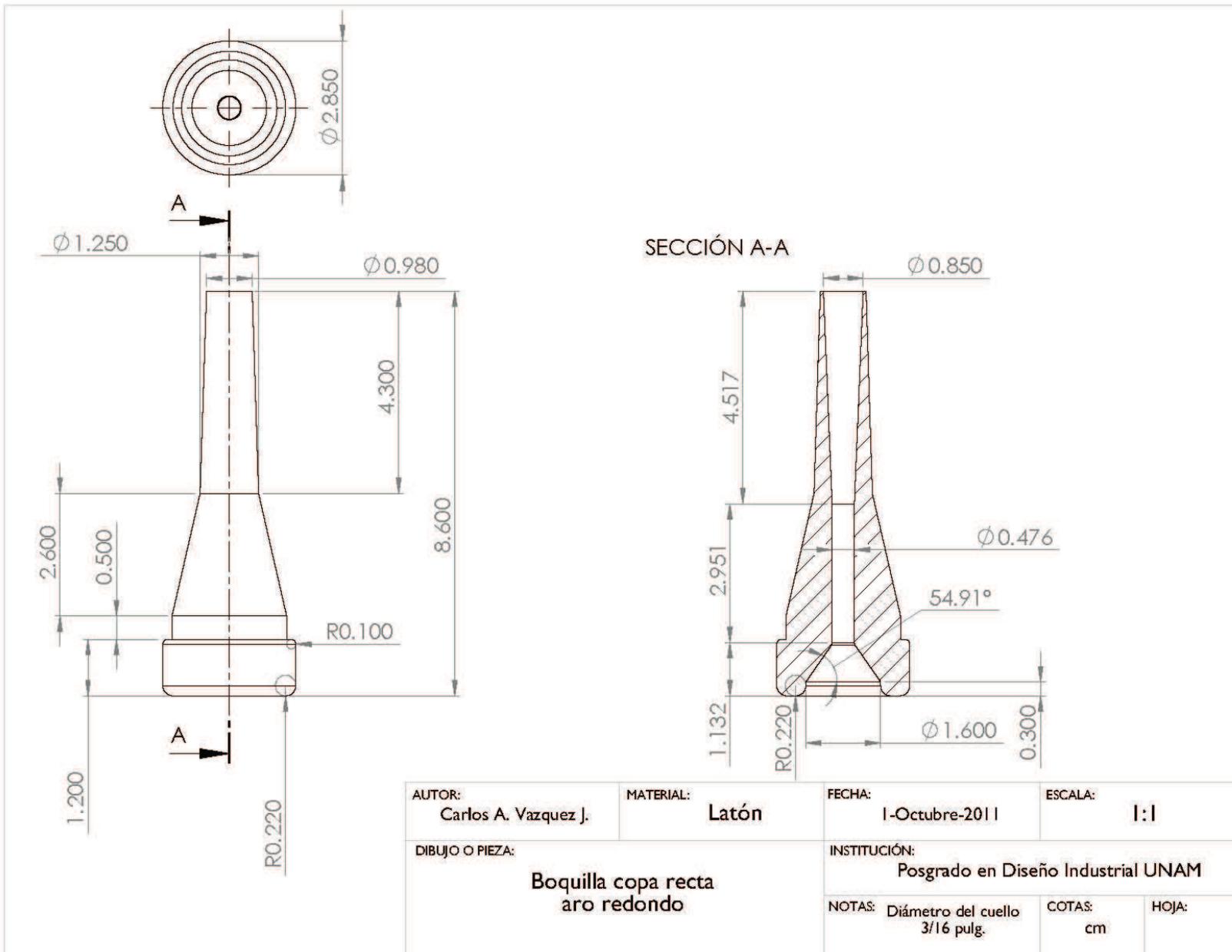


Figura 4.5c. Lamina del prototipo de boquilla copa en C, cuello delgado.

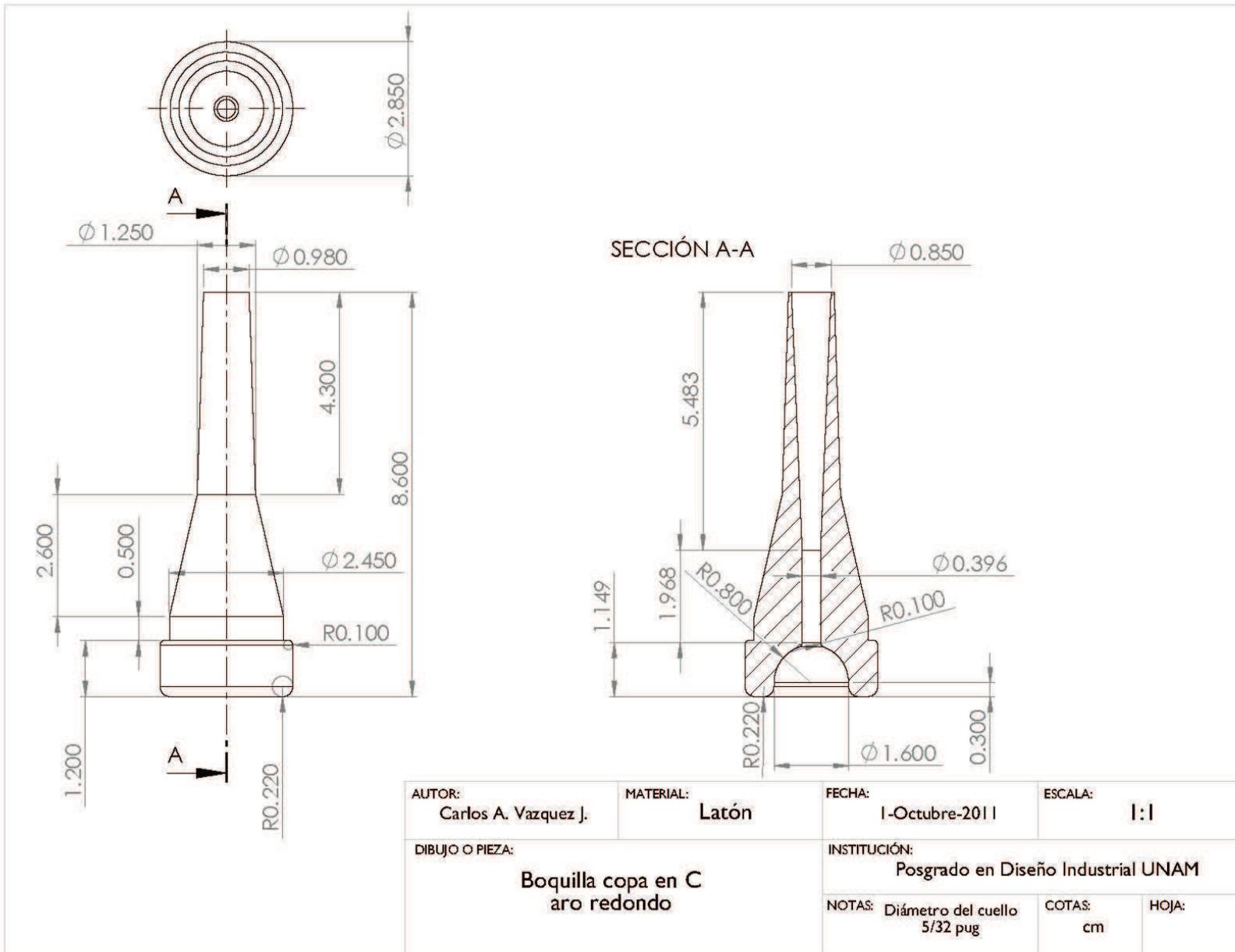
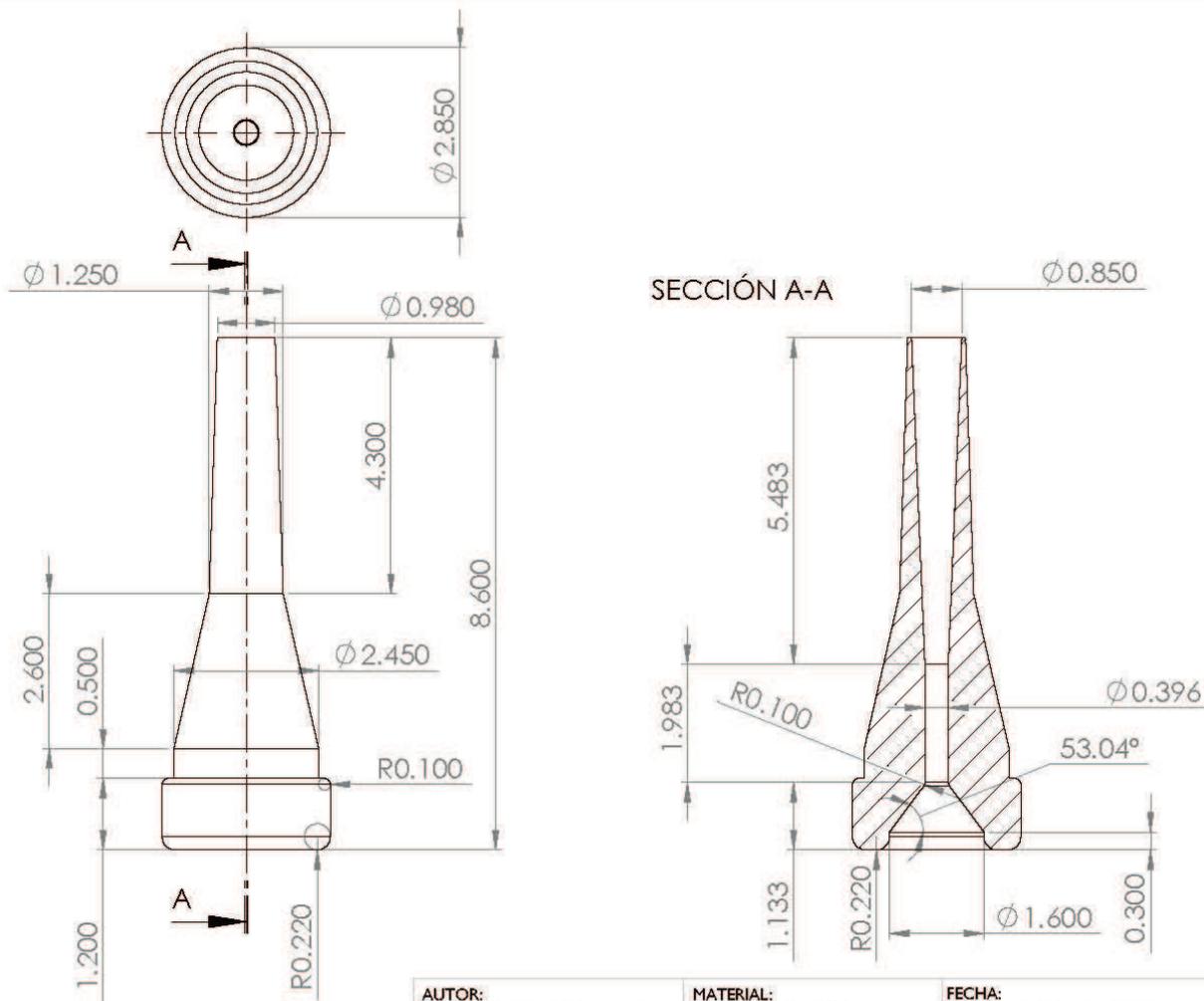


Figura 4.5d. Lamina del prototipo de boquilla copa recta, cuello delgado.



AUTOR: Carlos A. Vazquez J.	MATERIAL: Latón	FECHA: 1-October-2011	ESCALA: 1:1
DIBUJO O PIEZA: Boquilla copa recta aro redondo		INSTITUCIÓN: Posgrado en Diseño Industrial UNAM	
NOTAS: Diámetro del cuello 5/32 pulg		COTAS: cm	HOJA:

4.3 Simulación del flujo del aire en el interior de los prototipos por el método de elemento finito.

La Tabla 2 indica los datos y valores de los parámetros utilizados en la simulación del flujo del aire en el interior de la boquilla. Las dimensiones de sus partes internas fueron establecidas como fronteras constantes y los perfiles de la copa y tudel fueron los factores que cambiaron las condiciones del flujo del aire (Figura 4.6).

Datos generales	
Nombre del proyecto	Simulación del flujo del aire en el interior de la boquilla del instrumento de metal.
Sistema de unidades	SI (m-kg-s)
Tipo de análisis	Flujo en sección interna
Versión del Software	SolidWorks 2010 SP387315712
Modelos	Prototipos para boquilla de trompeta. 2 Perfiles de Copa. 2 diámetros del cuello: 3/16 pulg. y 5/32 pulg.
Material a analizar	Fluido: Aire Relación de calor específico (C_p/C_v): 1.399 masa molecular: 0.02896 kg/mol
Características Físicas	
Condiciones de calor en sólidos	No
Efectos Gravitacionales	No
Tipo de flujo	Laminar y turbulento
Humedad relativa	50%
Rugosidad	10 micrómetros
Condiciones de pared	Pared diabática
Condiciones iniciales	
Parámetros Termodinámicos	Presión estática 101325 Pa Temperatura: 293.2 K
Parámetros de Turbulencia	Intensidad: 2 % Longitud: 0.00027 m
Condiciones de frontera	
Tipo 1	Entrada de volumen de flujo
Parámetros de flujo	Dirección del vector de flujo: Normal a la cara. Tasa del volumen de flujo: 0.00637 m ³ /s
Tipo 2	Presión atmosférica 101325 Pa Temperatura: 293.2 K

Tabla 2. Datos de los parámetros en la simulación del comportamiento del aire en el interior de la boquilla por elemento finito.

En cada uno de los casos el valor de la condición de entrada fue el valor promedio del Flujo Espiratorio Forzado mínimo obtenido en las pruebas de espirometría del estudio piloto y la condición de salida fue la presión atmosférica ya que se simplificó los efectos del instrumento de metal. Concluido el proceso de cálculo, el software mostró los resultados en valores de presión y velocidad representados mediante tonos de color distribuidos en las líneas de la trayectoria del flujo del aire en todo el interior de la boquilla. Cada tono de color es un valor estimado, donde el color azul representa los valores mínimos (iniciando desde cero), el color verde representa los valores en un rango intermedio y color rojo son los valores máximos estimados de la presión y velocidad del flujo del aire. Mediante estos valores se pueden apreciar diferencias importantes en los comportamientos de cada prototipo de boquilla establecido anticipando así su comportamiento. Sin embargo, fue necesario que el músico haya evaluado cada uno de los prototipos para establecer relaciones con los valores obtenidos pues generaron condiciones que a continuación se explican de forma esquemática.

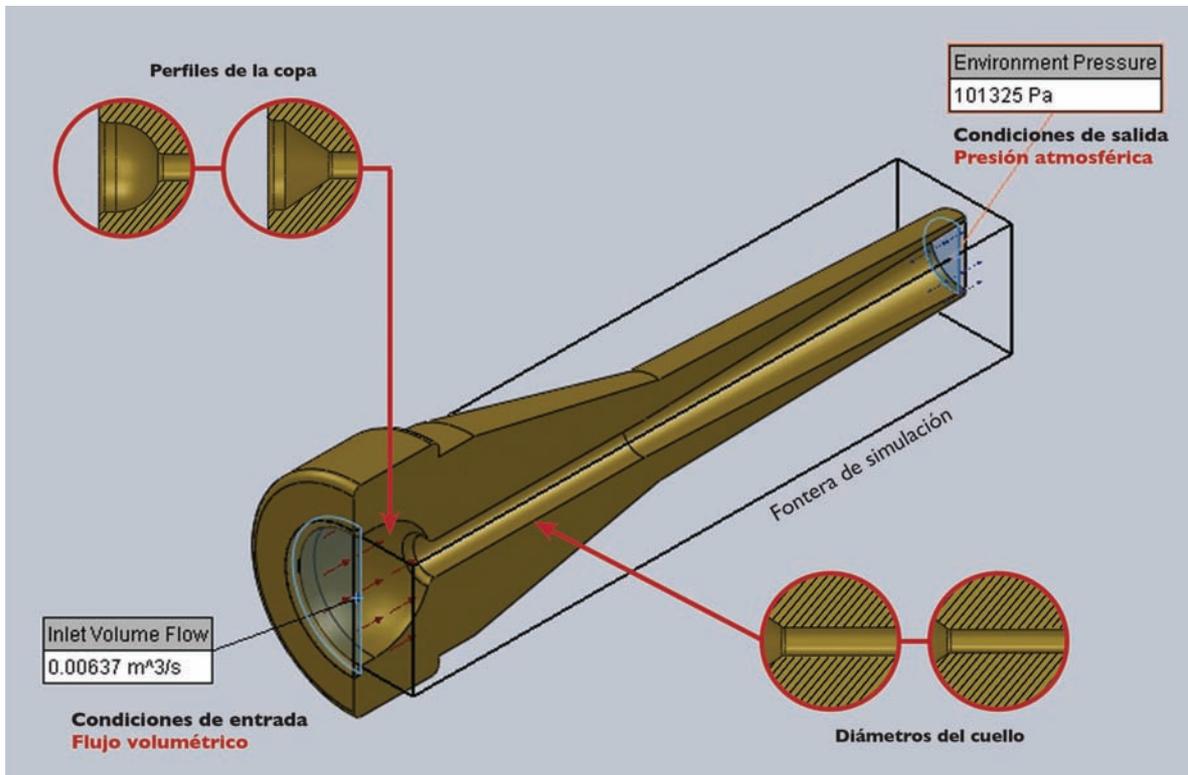


Figura 4.6. Visualización previa de las condiciones de frontera para la simulación en SolidWorks Flow Simulation.

Los resultados obtenidos de cada uno de los perfiles internos se presentan en las Figuras 4.7a, 4.7b, 4.7c y 4.7d. Las Figuras 4.7a y 4.7b muestran los resultados del flujo del aire en términos de presión que sufre el fluido al pasar por todo el perfil de la parte interna del prototipo de boquilla. Las Figuras 4.7c y 4.7d muestran los resultados en términos de la velocidad del flujo del aire al pasar por las diferentes partes del perfil de la parte interna. En las figuras referentes a los resultados por presión (4.7a y 4.7b) el

flujo del aire tiene valores muy elevados en la parte de la copa pero una vez que pasa hacia la zona del cuello estos disminuyen drásticamente. La copa es la zona donde el aire se comprime y una vez que pasa hacia el tudel se expande produciendo efectos acústicos que emite el instrumento. En los casos de los prototipos que tienen cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas) de la Figura 4.7a, la simulación muestra que el perfil de la copa en forma de “C” tiene menores valores de presión a comparación con el perfil de copa recto.

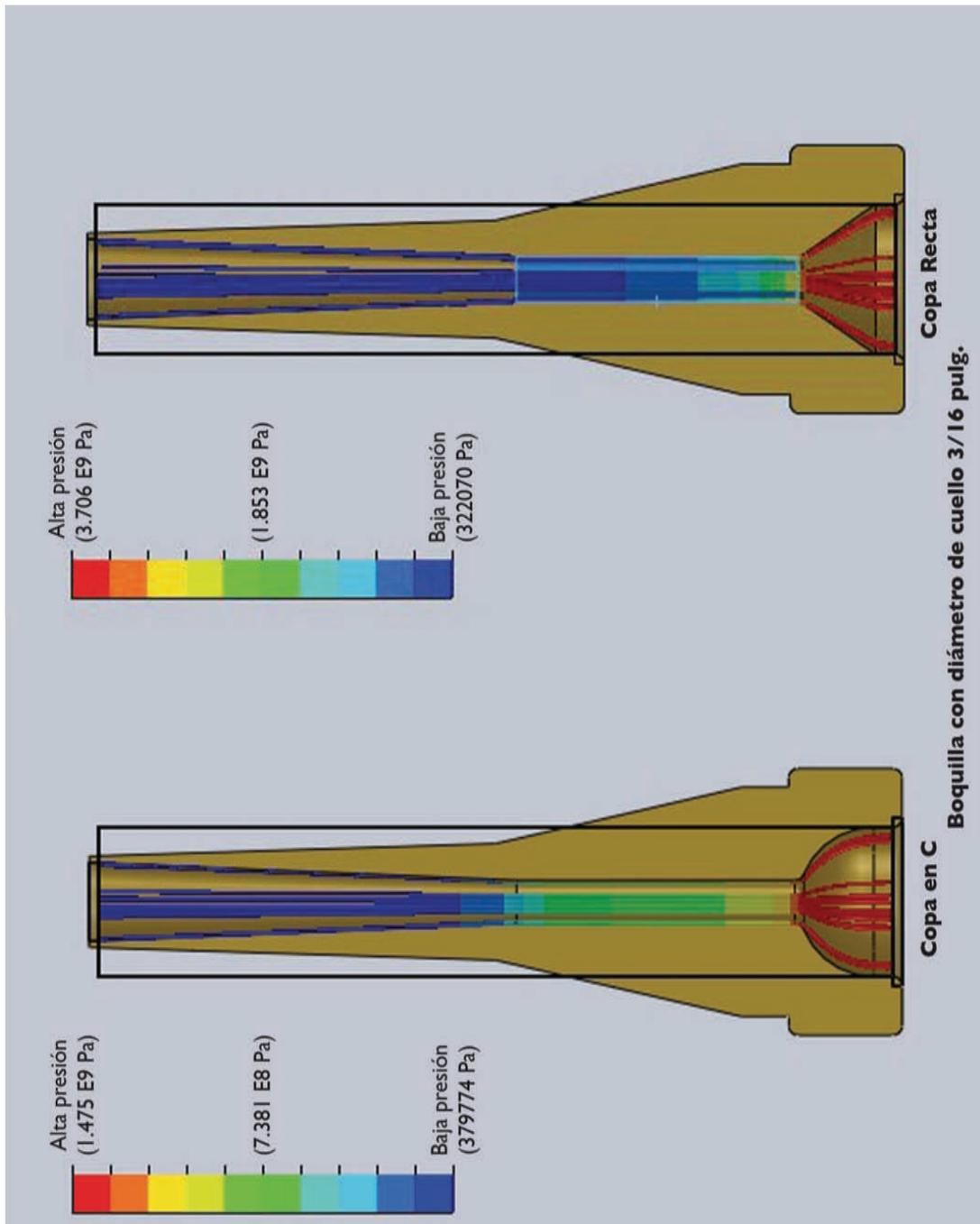


Figura 4.7a. Resultados de la simulación en los prototipos con cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas). Valores estimados de presión en el flujo del aire.

En el caso de los prototipos que tienen un cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas) de la Figura 4.7b, los resultados muestran que los valores de presión aumentan significativamente ya que la restricción del flujo del aire es mayor, y se observa que el prototipo de boquilla de perfil de copa en “C” sufre mayor presión en comparación con el de perfil de copa recto, es decir los efectos de presión se invierten en comparación a los dos primeros prototipos (diámetro de cuello ancho).

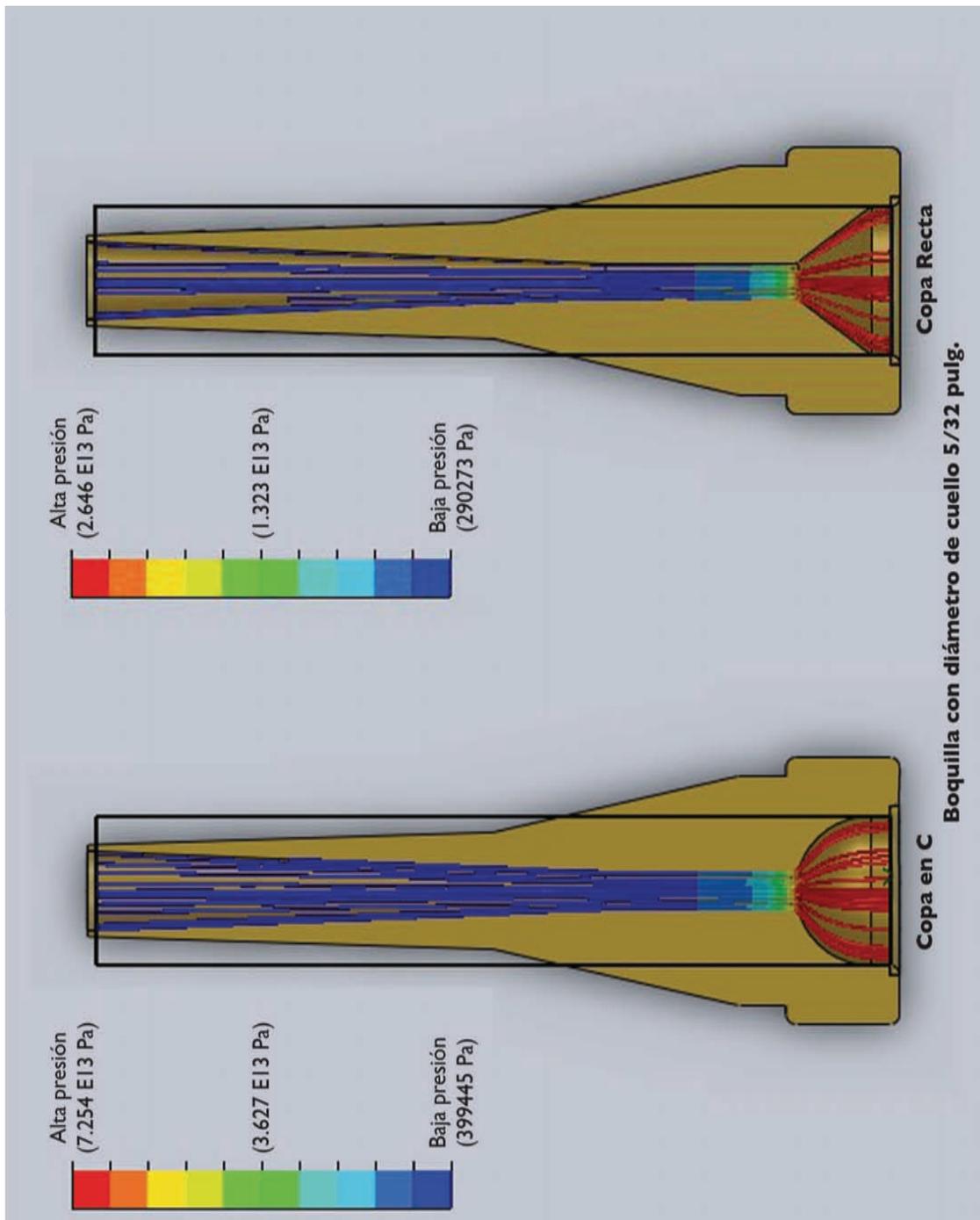


Figura 4.7b. Resultados de la simulación en los prototipos con cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas). Valores estimados de presión en el flujo del aire.

Concerniente a la velocidad del flujo del aire que pasa por el perfil interno de los prototipos de boquilla, las Figuras 4.7c y 4.7d muestran que en la parte de la copa el aire casi llega al punto de estancamiento pero una vez que ha pasado por la zona del cuello, la velocidad aumenta drásticamente. Esto significa que por lo menos en términos de velocidad del flujo, la copa de la boquilla es un elemento que restringe su paso y puede ayudar al músico a administrar la cantidad de aire necesario para tocar el instrumento sin embargo esto puede generar efectos acústicos poco favorables.

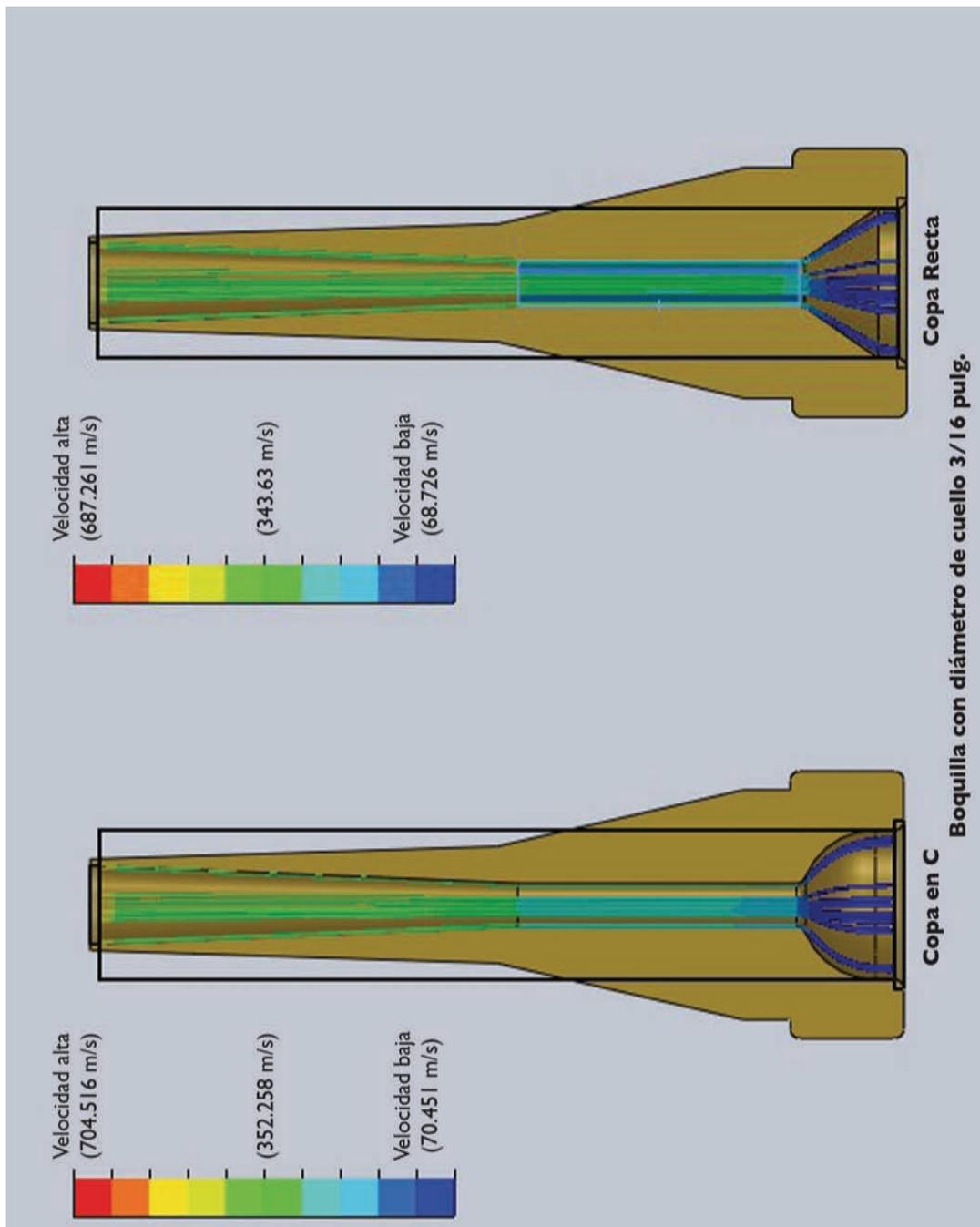


Figura 4.7c. Resultados de la simulación en los prototipos con cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas). Valores estimados de velocidad en el flujo del aire.

En la figura 4.7c, los prototipos con cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas), el de perfil de copa en “C” su flujo alcanza mayores velocidades con respecto al de perfil de copa recto. Cuando se cambia a las dimensiones del cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas), se restringe más el flujo del aire por lo que los valores de la velocidad disminuyen relativamente pero en el prototipo de perfil de copa en “C” el flujo del aire tiene mayor velocidad con respecto al de perfil de copa recto (Figura 4.7d).

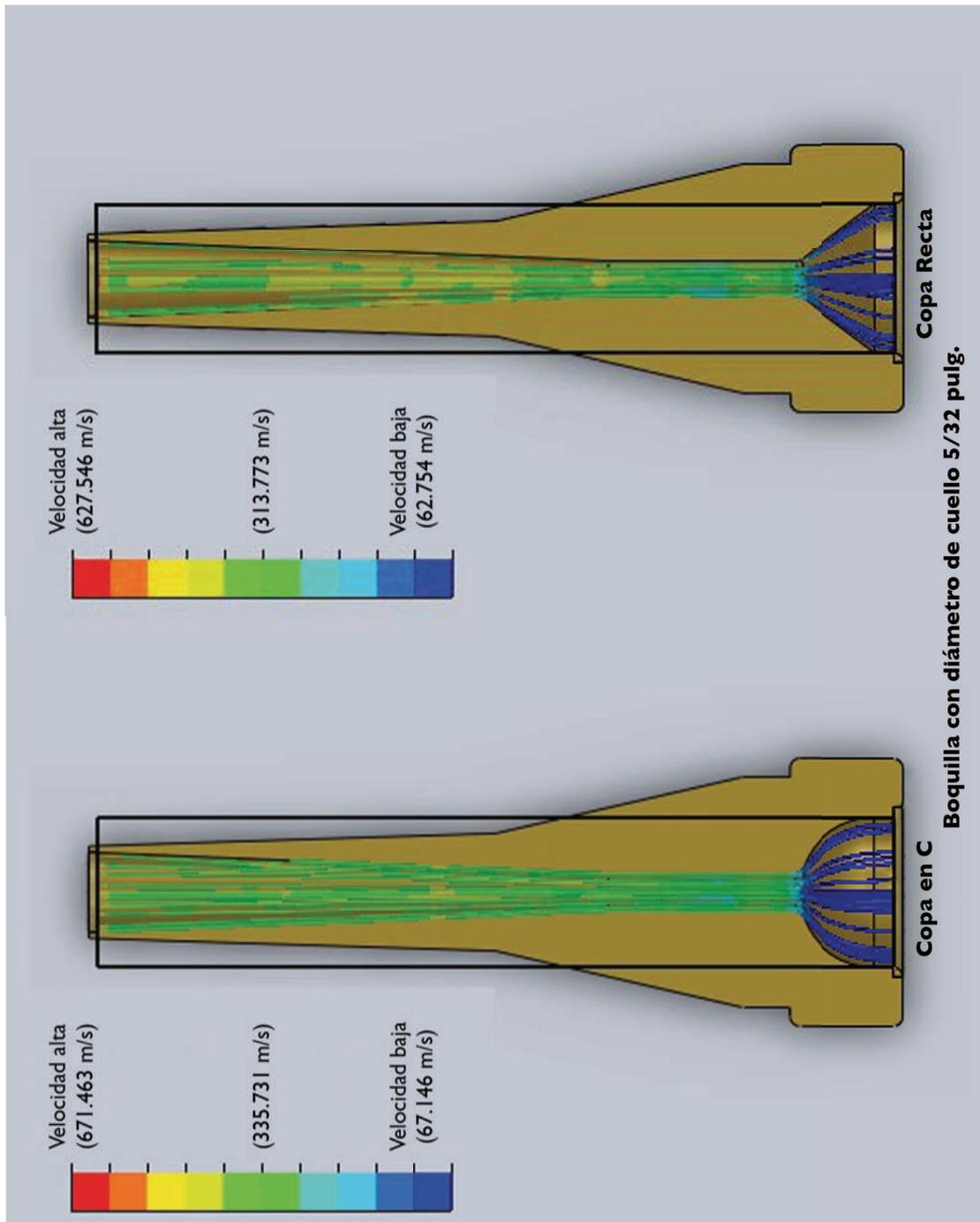


Figura 4.7d. Resultados de la simulación en los prototipos con cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas). Valores estimados de velocidad en el flujo del aire.

En concreto, la simulación estableció las siguientes condiciones del flujo del aire en los prototipos diseñados:

- El prototipo de boquilla con perfil de copa en “C” y cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas) desarrolló las condiciones de velocidad más altas. Su comportamiento acústico puede tender a ser diferente con respecto a los demás.
- El prototipo de boquilla de perfil de copa en C y cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas) generó condiciones de velocidad similares al prototipo de copa recta y cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas) por lo que ambos tienen comportamientos acústicos similares.
- El prototipo de boquilla de copa recta y de cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas) generó las velocidades de flujo más lentas en comparación con los demás por lo que se trata de otra condición acústica diferente.

Tres condiciones particulares fueron las que se determinaron en la simulación, sin embargo, este método solo permite estimar las posibles condiciones del flujo del aire y establecer las relaciones de los efectos acústicos a través de los valores de presión y velocidades determinados en la etapa del procesamiento de datos. Las evaluaciones musicales de los músicos en los prototipos son otro tipo de información que requirió ser recopilado por medio de la encuesta y la entrevista a fin de lograr correlacionar las condiciones establecidas por la simulación. Para ello, la última etapa del análisis correspondió al estudio comparativo donde los músicos dan sus opiniones sobre los prototipos y que a continuación se exponen.

4.4 La evaluación comparativa de los prototipos de boquillas.

Los resultados obtenidos de la última etapa del estudio de campo en el músico de trompeta reflejaron aspectos muy particulares que ameritaron ser discutidos a profundidad. Las respuestas de cada uno de los participantes hicieron cambiar la perspectiva del análisis sobre la relación del músico con la boquilla.

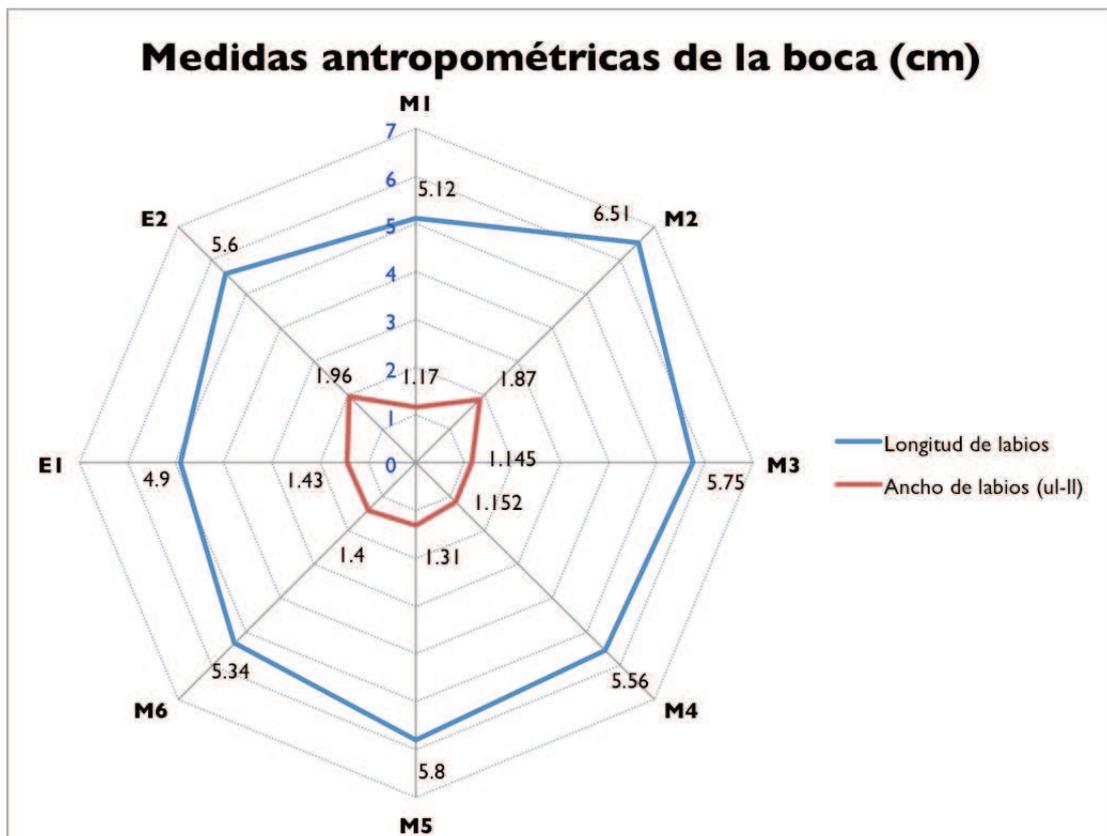
En esta última etapa, la muestra de población fue un grupo de músicos que utilizan la trompeta. De los ocho participantes, seis (nombrados como M1, M2, M3, M4, M5 y M6) laboran en orquestas profesionales y dos participantes (nombrados como E1 y E2) son estudiantes. Todos ellos examinaron los mismos prototipos, pero cada vez que fueron utilizados los prototipos se higienizaron en solución desinfectante y esterilizante que se aplica para material quirúrgico y dental (Glutaraldehído al 2%).

Con este estudio se determinaron diversos factores físicos así como de apreciación en los músicos participantes obteniéndose resultados muy particulares que a continuación se exponen.

4.4.1 Particularidades físicas de los participantes: La boca y el acoplamiento con la boquilla.

La Gráfica 3 muestra las mediciones antropométricas de la boca obtenidas de los músicos participantes en el estudio comparativo. Dicha gráfica es de tipo radial donde que cada uno de sus ejes están posicionados los valores obtenidos de los participantes, ordenados en sentido al movimiento de las manecillas del reloj teniendo así dos grupos; músicos que actualmente laboran en orquestas a nivel profesional (M1, M2, M3, M4, M5 y M6) y estudiantes (E1 y E2). De esta forma es como se logró visualizar las diferencias existentes de cada uno facilitando así el análisis de los resultados.

En dicha gráfica se encuentran los valores de las mediciones de la longitud y el ancho de los labios ($\overline{ul} - \overline{ll}$). El centro de la gráfica representa el origen y los valores se ubican en un punto sobre el eje por donde pasan las líneas (azul y rojo). Entre más alejado esté el punto del centro el valor es mayor. Ordenados de esta manera se puede apreciar que las diferencias dimensionales de la boca de cada uno de los músicos participantes es poco disperso por lo que se puede decir que al menos en cuestiones antropométricas los músicos tienen condiciones similares. Sin embargo, las diferencias más relevantes se ubican en la fisonomía de los labios de cada uno ellos.



Gráfica 3. Medidas antropométricas de la boca obtenidas de los músicos participantes. Longitud de labios y ancho de labios.

En la Figura 4.8 se muestran las fotografías de los labios de cada músico que participó. Se puede apreciar que la forma, el grosor y la definición del contorno de los labios de cada uno tiene diferencias importantes por lo que realizar o deducir una fisonomía promedio de los labios no garantiza que se represente las características individuales más importantes de la fisonomía bucal en un músico.

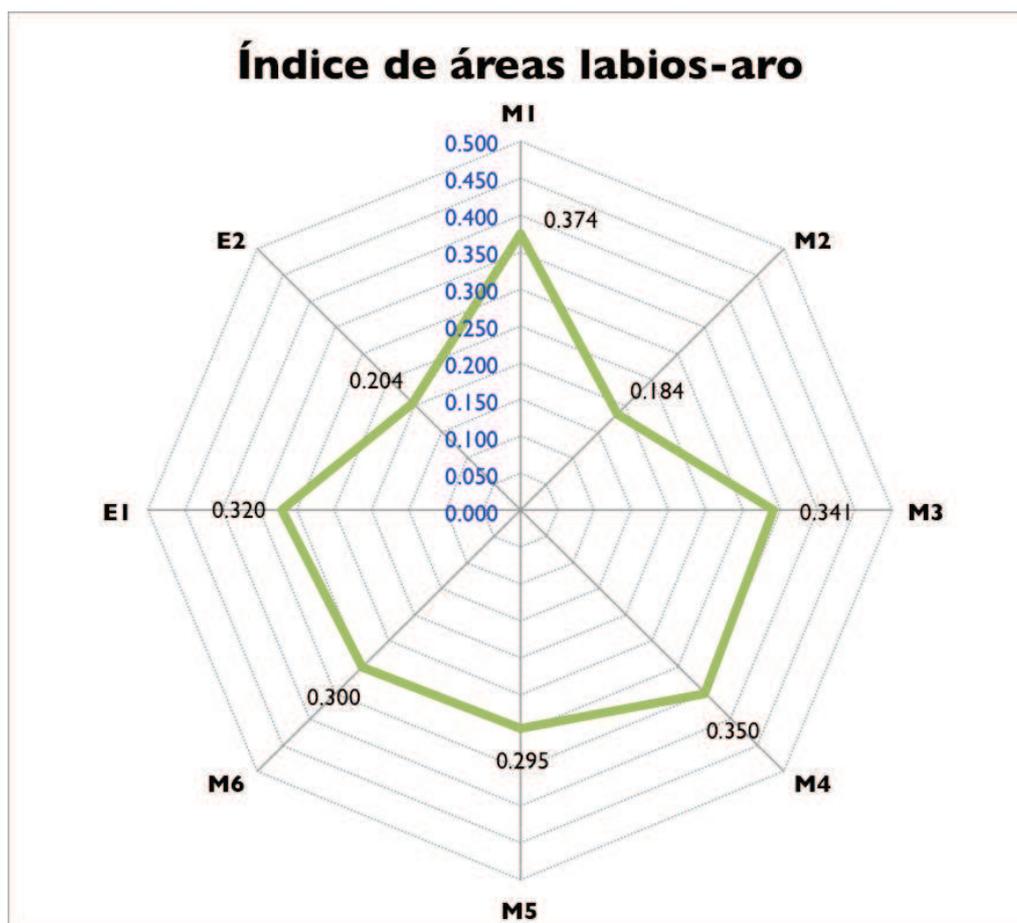


Figura 4.8. Imágenes de los labios de los músicos participantes en la etapa de evaluación comparativa de los prototipos de boquilla para trompeta.

En algunos de ellos la forma de sus labios está bien definida (M1, M4 y E2), en otros no es tan marcado dicho contorno (M2, M3, M5). Además, los labios de los músicos participantes M4 y E2 son carnosos por lo que su volumen es mayor, mientras que en los casos de los participantes M2, M3 y M5 sus labios son delgados pero tienen mayor

longitud. En los casos de los músicos M1 y E1, la definición de sus labios es marcada, no son delgados y poco carnosos pues su volumen no es grande. Estas descripciones solo concierne a los aspectos físicos de la boca pues en las primeras etapas de la investigación se planteaba que a partir de la forma de los labios es como se definía el tipo de boquilla apropiado para cada músico. En realidad, la fisionomía de los labios es uno de los múltiples factores a tomar en cuenta para hacer la elección más adecuada de boquilla en un músico, factores que conforme de fue desarrollando la última etapa de evaluación comparativa se fueron deduciendo y que se explican conforme se desglosan los resultados.

También se hizo la relación de áreas de los labios y del aro de la boquilla conforme a sus dimensiones con el propósito de caracterizar las diferencias entre ambos parámetros. En la Gráfica 4 de tipo radial se muestran los valores de cada músico. En cuanto a las diferencias numéricas de este índice, los participantes M2 y E2 son los que tienen las diferencias mayores mientras que los participantes M1, M3, M4, M5, M6 y E1, mantienen una cierta homogeneidad. Dicho índice muestra la correlación de la superficie que alcanza a cubrir el aro en los labios del músico. Las diferencias faciales no se distingue en este valor, solo proporcionan una comparación de las condiciones de los factores de dimensión y restricción del aro de cada uno de ellos.



Gráfica 4. Índice de áreas entre los labios del músico y el aro de la boquilla.

Un aumento de este valor significa que la restricción del movimiento de los labios es menor, es decir, la vibración que el músico genera puede cambiar lo cual puede ser beneficioso o completamente desfavorable, pero eso depende complementemente de la técnica del músico para hacer vibrar sus labios. Hasta ahora, los valores del índice de los músicos que participaron en la encuesta solo representa de manera esquemática las diferencias de las condiciones que genera el aro de la boquilla en cada uno de ellos. Para determinar un índice que muestre las condiciones más idóneas en el músico es necesario continuar haciendo pruebas con diferentes dimensiones en la parte del aro de la boquilla hasta encontrar la proporción con la cual el músico se siente más cómodo o del cual está más acostumbrado, siendo en gran medida una apreciación plenamente subjetivo.

Respecto a la técnica que el músico utiliza para hacer vibrar sus labios en la boquilla (cuando acoplado al instrumento de metal) se observó que al momento de que los participantes comenzaron el previo calentamiento utilizando cada uno de los prototipos, tienen una forma particular de acomodarlo. En la Figura 4.9 se muestran las que se observaron entre los músicos que colaboraron en el estudio piloto y en la evaluación comparativa.

¿Cuál es la manera más apropiada de acomodar la boquilla en los labios del músico? Es difícil de indagar ya que es necesario establecer un seguimiento y análisis de las diversas formas de estudio y desarrollo de la técnica de ejecución del músico en cada uno de los instrumentos de metal. La Figura 4.9 muestra las formas de unión vistas en los músicos participantes que ejecutan la trompeta debido a que la última parte del estudio se enfocó en las boquillas para este instrumento. Sin embargo se puede deducir que las dimensiones de la boquilla para tuba y trombón al ser mayores las opciones de ajuste se limitan ya que los labios prácticamente los cubre el aro. Además, la libertad de vibración es mayor en comparación al caso de la boquilla analizado.

Se observó que en la boquilla para trompeta, los músicos tienen mayor libertad para colocarla en sus labios y buscan la forma más propicia para adaptarse a ella y desarrollar bajo estas circunstancias la embocadura necesaria para generar los sonidos (notas) requeridos en el género musical en que se desenvuelven. La virtud de los músculos de los labios es que pueden moldearse a las formas del aro de la boquilla y forman condiciones particulares donde el músico logra hacerlos vibrar por medio de su soplido. Si este tiene alguna deformación dental importante, entonces el acomodo cambia a lo que comúnmente se observa, una posición de la boquilla centrada con respecto a la boca y con una ligera inclinación si se toma como referencia un eje imaginario horizontal. La deformación dental es la razón más común que se tuvo entre los músicos participantes donde el ángulo de posición de la boquilla-instrumento y la fuerza que ejercen sobre sus labios cambiaron significativamente.



Figura 4.9. Formas de ajustes entre el músico y la boquilla vistos durante el desarrollo del estudio.

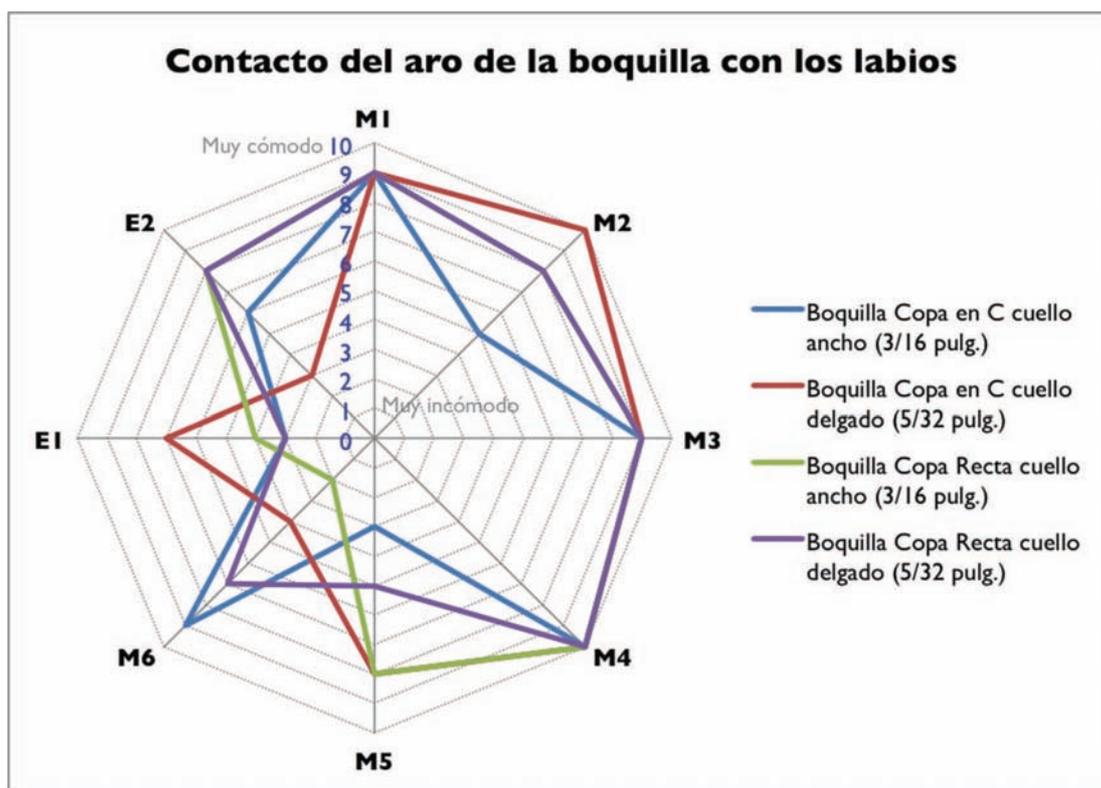
4.4.2 Evaluación comparativa del contacto entre los labios y el aro de la boquilla.

A pesar de haberse planteado que los factores de forma, dimensión y restricción en la parte del aro de la boquilla (área de contacto con los labios del músico) hayan sido constantes en los cuatro prototipos, y haber considerado dimensiones comerciales los resultados sobre la evaluación del contacto entre los labios y el aro no tuvo una tendencia homogénea pues cada músico fundó su evaluación en sus experiencias previas con otras boquillas. A través de la entrevista se averiguó que el músico al desarrollar su técnica de ejecución (el entrenamiento de sus labios para que estos vibren) generalmente se adiestran bajo las condiciones que le establece la boquilla con la cual inicio sus estudios. Es decir, en una determinada configuración de los factores en el aro de la boquilla el músico es capaz de desarrollar su técnica para hacer vibrar sus labios sin dificultad. En algunos casos fue muy importante para el músico que dichas condiciones se mantengan prácticamente intactas pero en otros tuvo poca relevancia ya que son capaces de adaptarse a otro aro con facilidad y hacer vibrar sus labios. En la Gráfica 5 están representadas las evaluaciones de los músicos participantes sobre cada prototipo de boquilla. Se les preguntó cómo consideraban el contacto del aro con sus labios y sus respuestas fueron contabilizadas en una escala numérica de 1 a 10, donde 1 significa muy incómodo (en la parte central de la gráfica), 5 neutral y 10 muy cómodo (punto exterior de la gráfica).

En los participantes M1, M3 y M4 sus respuestas fueron prácticamente iguales, en cambio los participantes M2, M5, M6, E1 y E2 sus respuestas fueron diferentes en cada prototipo. Antes de la evaluación comparativa se esperaba que cada uno de ellos tuviera la misma respuesta en todos los prototipos ya que los factores del aro son las mismas en todas ellas. Sucedió que en algunos músicos al cambiar las condiciones que habitualmente están acostumbrados alteró por completo sus valoraciones por tanto las respuestas fueron completamente diferentes. Para aquellos que no les afectó los cambios de las condiciones evaluaron el contacto con alta calificación, y a quienes si les afectó evaluaron con baja calificación. Se les preguntó las causas por la cuales consideraban que el contacto no era el adecuado y comentaron lo siguiente:

1. El diámetro de entrada de la copa es mayor o menor a lo que habitualmente utilizan.
2. El diámetro externo del aro es mayor a lo que usualmente utilizan.
3. El perfil del aro tiene una sección muy plana.
4. Los bordes del aro son diferentes y lo consideraron afilados.

A pesar de que los labios tienen la posibilidad de moldearse fácilmente a diversos perfiles no significa que el músico pueda adaptarlos a las condiciones que establece un aro en particular para ejecutar el instrumento. La técnica del músico para hacer vibrar los labios y generar los sonidos (notas) puede ser muy sensible y alterarse con el más mínimo cambio.



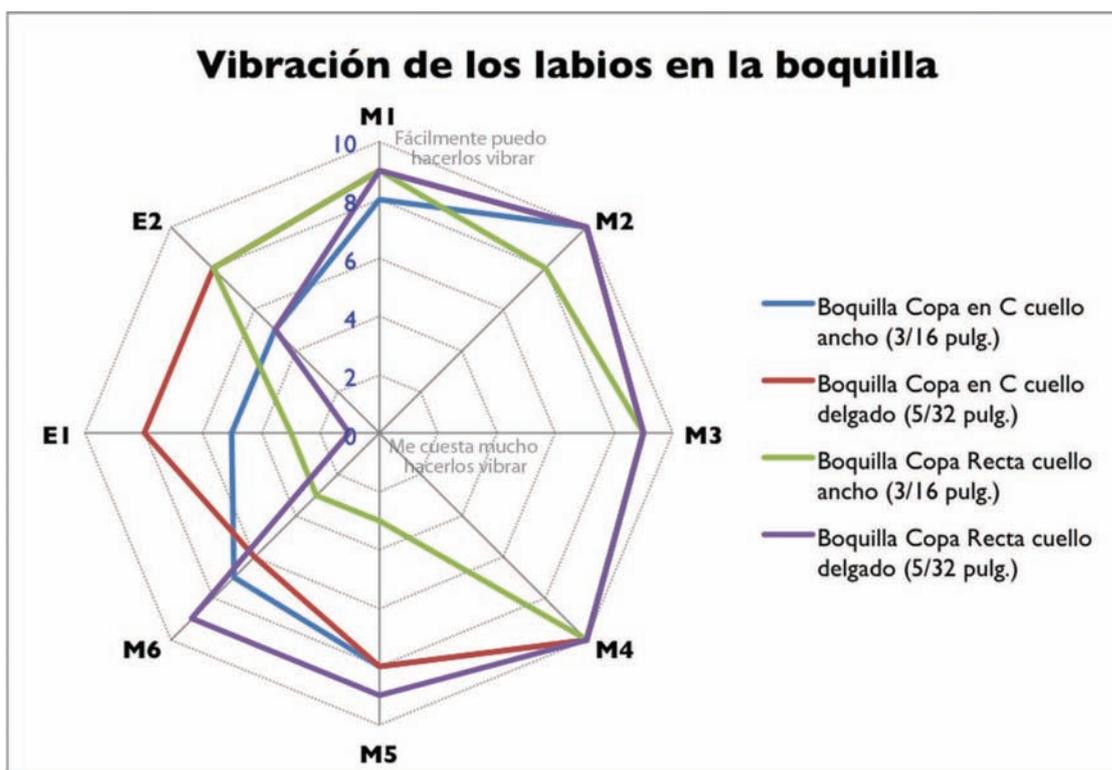
Gráfica 5. Evaluaciones de los músicos participantes sobre el contacto del aro de los prototipos con los labios.

Respecto a la vibración de sus labios en los prototipos, se les preguntó si se les dificultaba o se les facilitaba hacerlo. Sus respuestas nuevamente fueron contabilizadas en la misma escala numérica, mostrando una tendencia poco uniforme en cada prototipo de boquilla. La Gráfica 6 muestra dichas tendencias donde el centro (1) de la grafica significa que les costó trabajo hacerlos vibrar y el punto más lejano (10) significa que fácilmente lo pudieron hacer.

En los casos M1, M2 M5, M6, E1 y E2 manifestaron que los prototipos presentaban condiciones (configuración de los factores) diferentes al aro que usualmente tienen en su boquilla por lo que el movimiento de sus labios resultó afectado. Comentaron que se debió por las siguientes causas:

1. Cambio del diámetro de entrada de la copa ya que distinguieron que este aumentó.
2. El área de contacto del aro sobre los labios es mayor a lo habitual.

En otros casos (M3 y M4) comentaron no distinguir alguna diferencia por lo que sus evaluaciones tuvieron una tendencia más regular. Con esto se comprendió que en algunos músicos es vital que se mantengan las condiciones de la boquilla (por lo menos del aro) a las que están acostumbrados.

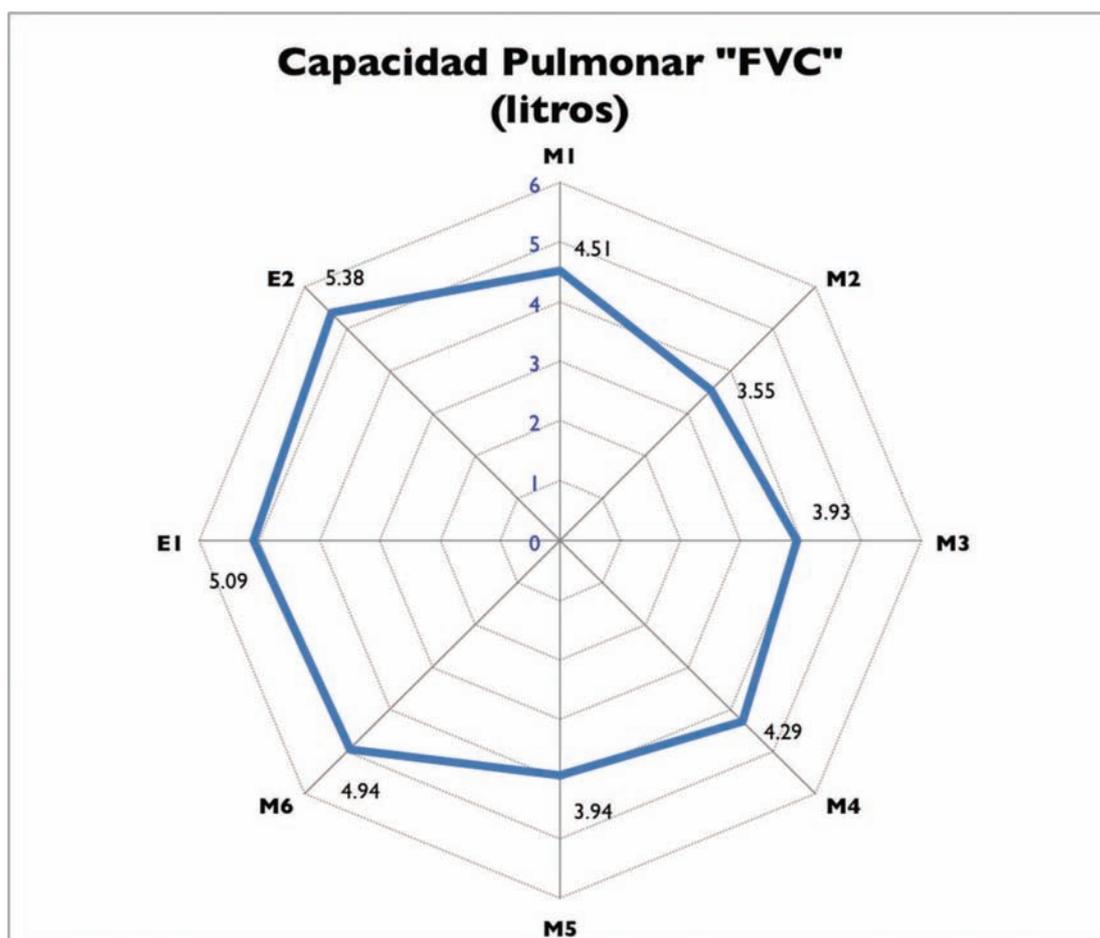


Gráfica 6. Evaluaciones de los músicos participantes sobre la vibración de los labios con el aro.

4.4.3 Características físicas entre los músicos participantes: Capacidades respiratorias y ejecución de sonidos.

En la Gráfica 7 de tipo radial se muestran los valores obtenidos de la Capacidad Vital (FVC) de los músicos participantes donde el centro representa el valor mínimo (“0” litros) y el valor máximo el punto más alejado. Claramente se puede ver que los participantes (M1, M2, M3, M4, M5 Y M6) que laboran en las orquestas profesionales no muestran considerables diferencias. En el caso de los estudiantes (E1 y E2) si existen diferencias con los músicos que laboran por el contraste de edad que hay entre ellos, pues conforme envejece una persona su capacidad vital de respiración disminuye paulatinamente. Por tal motivo la gráfica en su lado izquierdo tiene los valores más altos y en el lado derecho los valores son menores.

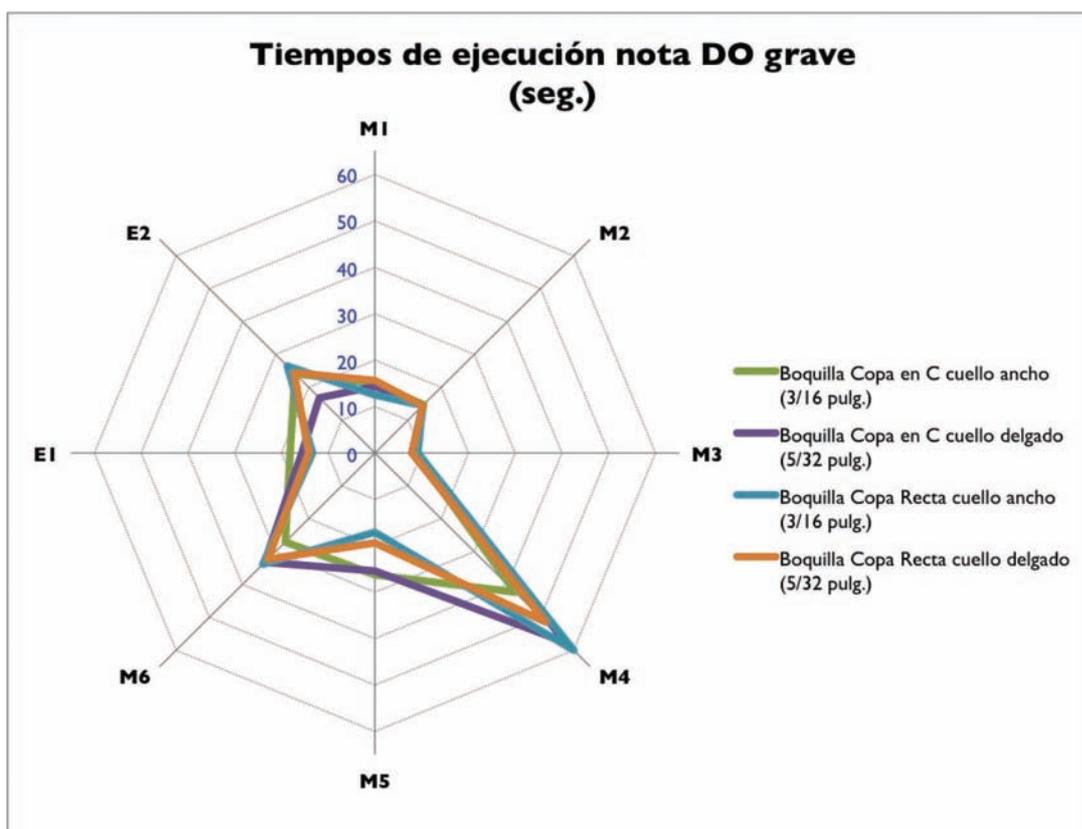
Los datos de la Gráfica 7 muestra que los participantes E1 y E2 en cuestiones de capacidad respiratoria, son los que tienen mejores condiciones. Sin embargo, como se explicó anteriormente, ejecutar el instrumento de metal conlleva otras habilidades. Por tal razón se realizó la prueba en la que se les pidió a los participantes generar una nota de registro grave (Do grave) y mantenerla en el mayor tiempo posible utilizando los cuatro prototipos de boquilla. Los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica 8 de tipo radial.



Gráfica 7. Resultados de la Capacidad Vital Forzada (FVC) entre los músicos participantes en la evaluación comparativa de los prototipos de boquilla.

Los resultados muestran aspectos interesantes sobre las habilidades de cada músico que participó en la evaluación. Mientras que la tendencia de los datos de la Capacidad Vital tiene una cierta semejanza entre los participantes, los tiempos individuales de ejecución de cada uno es completamente lo contrario. Con esto se pudo observar que:

1. Hay diferencias mínimas en los tiempos de ejecución de la nota Do en registro grave en los casos M1, M2 y M3 independientemente del prototipo que utilizaron.
2. En los casos de los participantes M4, M5, M6, E1 y E2 los tiempos no muestran regularidad al realizar la prueba en cada uno de los prototipos. En algunos fue muy errático (M5 y E2) por lo que el perfil interno de la boquilla influyó de manera importante en el rendimiento físico de la ejecución de las notas.
3. La capacidad respiratoria de cada uno de los participantes no es proporcional a los tiempos de ejecución de la nota. En los casos E1 y E2 a pesar de tener los valores más elevados de capacidad respiratoria no lograron tener los tiempos más altos. El caso del participante M4 desarrolló los tiempos más prolongados de ejecución de la nota Do grave a pesar de tener una capacidad respiratoria inferior a los participantes E1 y E2.

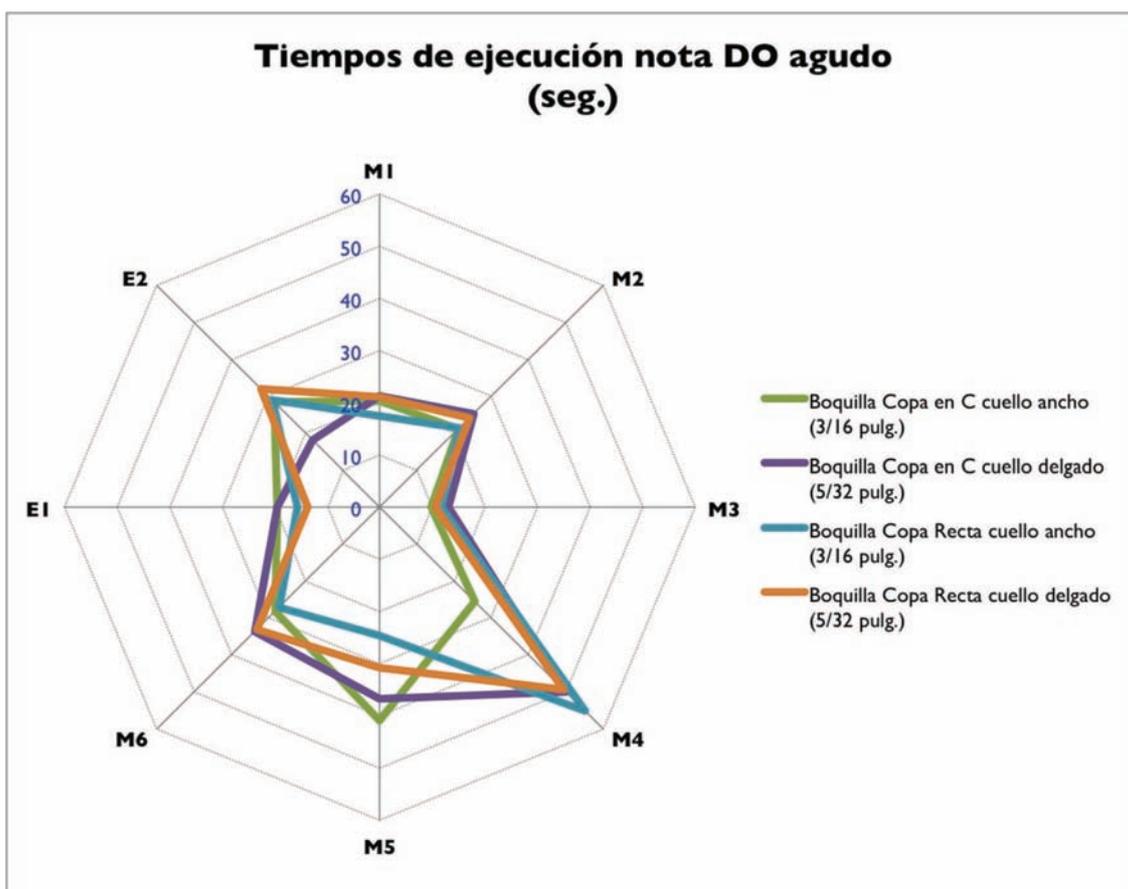


Gráfica 8. Tiempos de ejecución de una nota Do en registro grave entre los músicos participantes utilizando cada uno de los prototipos de boquillas.

Con estos resultados se puede apreciar que la técnica de cada músico depende de la cantidad de aire que requieren para desarrollar la vibración necesaria y así generar la nota musical. Esto sucedió nuevamente cuando se les hizo la misma prueba de tiempo pero ejecutando la nota Do de registro agudo. Los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica 9 de tipo radial.

En estos resultados hubo una diferencia importante con respecto a los anteriores (Gráfica 8) pues los tiempos de ejecución de la nota Do agudo fueron más prolongados con respecto a la nota Do grave debido a que los músicos tensaron más sus labios para generar la vibración necesaria y desarrollar la nota aguda, por lo que el consumo de aire fue menor.

Nuevamente se aprecia que los casos M1, M2 y M3 sus tiempos fueron regulares independientemente del prototipo utilizado, mientras que en los participantes M4, M5, M6, E1 y E2 no fueron regulares al haber utilizado cada uno de los prototipos. Una vez más el caso del participante M4 desarrolló los tiempos más prolongados de ejecución en comparación con los participantes E1 y E2, lo que reafirma que en estos participantes el control de la vibración de sus labios es irregular y requieren de mayor aire para conseguir los mismos resultados.

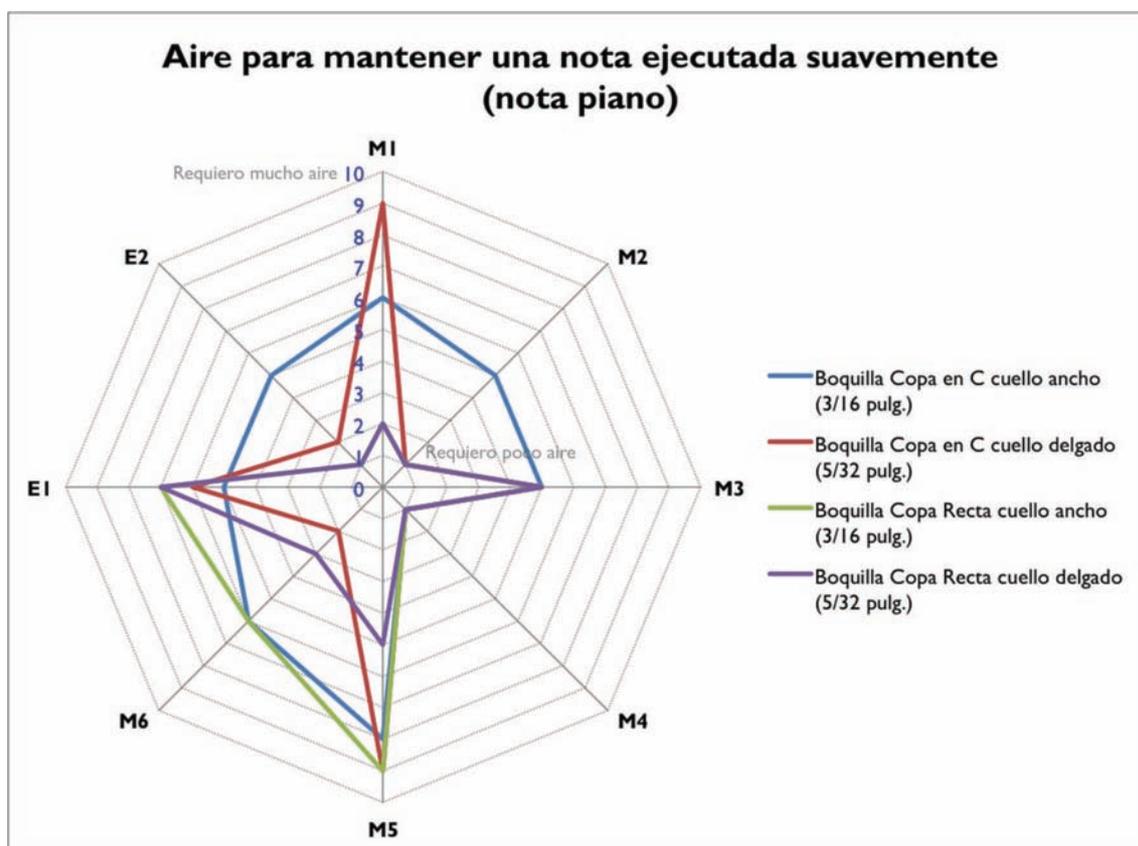


Gráfica 9. Tiempos de ejecución de la nota Do en registro agudo entre los músicos participantes utilizando cada uno de los prototipos de boquillas.

Referente a las evaluaciones sobre la cantidad de aire que requerían para mantener una nota ejecutada suavemente (*nota piano*), es decir, que el soplido es suave y una nota ejecutada enérgicamente (*nota forte*), que el soplido es fuerte, las tendencias de las respuestas en cada uno de los participantes fueron irregulares en todos los prototipos. La opinión de “requerir poco aire” está representado en la zona central de la gráfica y la opinión de “requerir mucho aire” en su parte externa. Los resultados se muestran en las Gráficas 10 y 11 respectivamente.

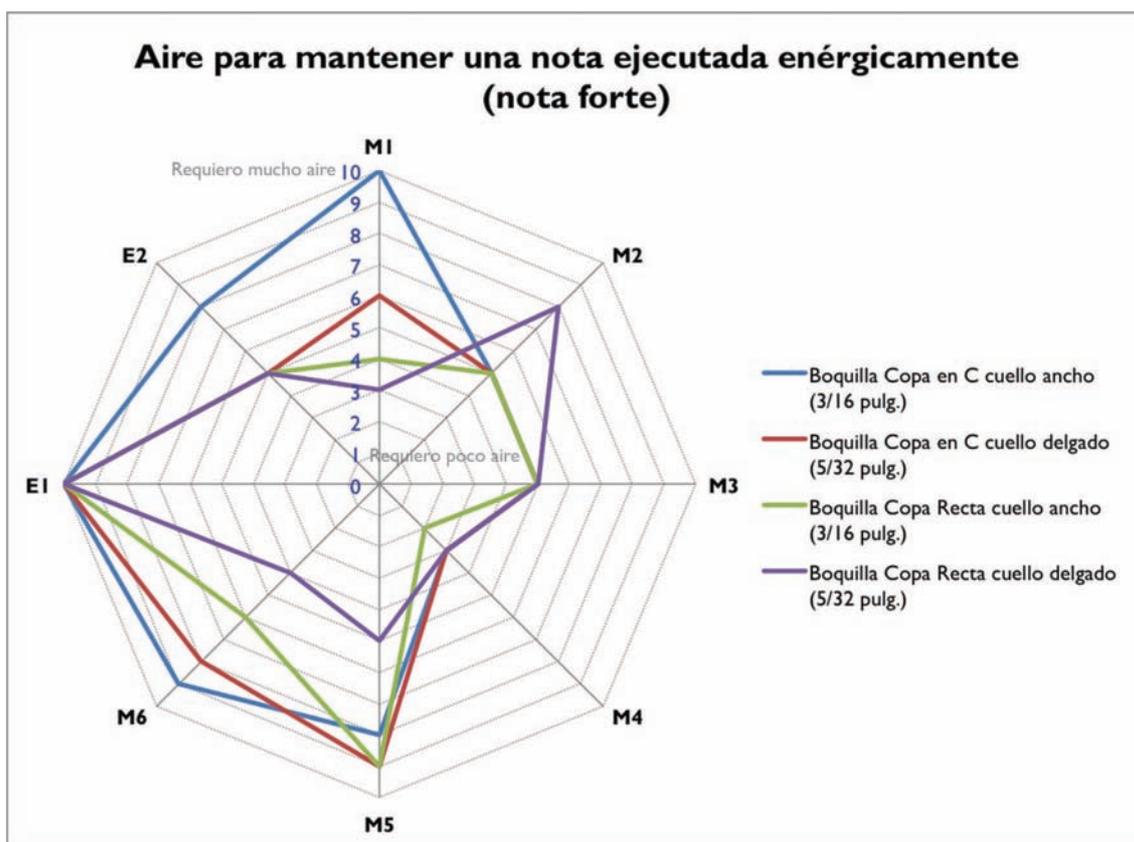
El comportamiento de las evaluaciones de los músicos son poco uniformes a como sucede en la gráfica de la capacidad respiratoria (Gráfica 7). Uno pensaría que un músico al tener gran capacidad pulmonar sus apreciaciones de consumo de aire hubiesen sido de que requería poco, sin embargo no fue así. Los resultados del estudio mostraron que el participante E1 fue quien obtuvo un alto valor del parámetro FVC, pero comentó que requería de mucho aire para generar el sonido que se le había pedido hacer en los prototipos. Agregó que está acostumbrado a condiciones (configuración de los factores) que exigen menos flujo del aire en la boquilla, es decir, las condiciones de restricción del flujo del soplido son mayores en los prototipos a lo que usualmente tiene en su boquilla. De la Gráfica 10 en los casos M2 y M6, los prototipos con cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas) tuvieron las evaluaciones más bajas en cuanto al consumo de aire

(requirieron de menos aire para generar el sonido) con respecto a los prototipos de cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas) pues también están acostumbrados a condiciones donde la boquilla exige menos consumo de aire. En otros casos (M3 y M4) la diferencia de restricción del flujo del aire no fue tan significativo.



Gráfica 10. Evaluación comparativa de los músicos participantes al generar una nota de sonido suave (*nota piano*).

Cuando se les pidió desarrollar una nota enérgicamente (*nota forte*) sus respuestas nuevamente se comportaron diferentes (Gráfica 11) y poco similares cuando ejecutaron las notas suavemente (Gráfica 10). Solamente en los casos M3 y M4 sus respuestas fueron similares debido a que no apreciaron algún cambio importante en cuanto al consumo de aire que les exigían los prototipos de cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas). Esto significa que al cambiar las condiciones donde la técnica de ejecución está acostumbrada a desempeñarse, las apreciaciones del músico cambian.



Gráfica 11. Evaluación comparativa de los músicos participantes al generar una nota de sonido enérgico (*nota fuerte*).

4.4.4 Evaluación comparativa de los parámetros musicales de los prototipos.

Respecto a las evaluaciones de los aspectos de ejecución y parámetros musicales de los prototipos no presentaron con claridad una disposición uniforme cuando se graficaron debido a la influencia de los cambios de las condiciones (configuración de los factores) que algunos músicos señalaron. A pesar de ellos se pudo observar lo siguiente:

- *La respuesta de la boquilla para generar una nota;* En algunos casos (M1, M3 y M4) las apreciaciones fueron similares independientemente del prototipo utilizado. En los casos M2, M5, M6, E1 y E2 sus opiniones cambiaron dependiendo del prototipo utilizado debido al cambio significativo del consumo del aire. Entre mayor fue el diámetro del cuello y más profunda la copa (longitud) se les dificultó más desarrollar las notas rápidamente (Gráfica 12).
- *La repetición de las notas a ritmos rápidos (triple corchea o 32va. de tiempo);* En algunos casos (M1, M3, M4, M6 y E1) las respuestas fueron relativamente similares. Sin embargo no quedó claro cuál de los cuatro prototipos utilizados fue el que ofreció las mejores condiciones para que los músicos repitan las notas con facilidad (Gráfica 13).
- *Facilidad para generar una nota enérgicamente (nota fuerte);* En algunos casos los prototipos con diámetro de cuello más delgado fueron los que mejor valoración

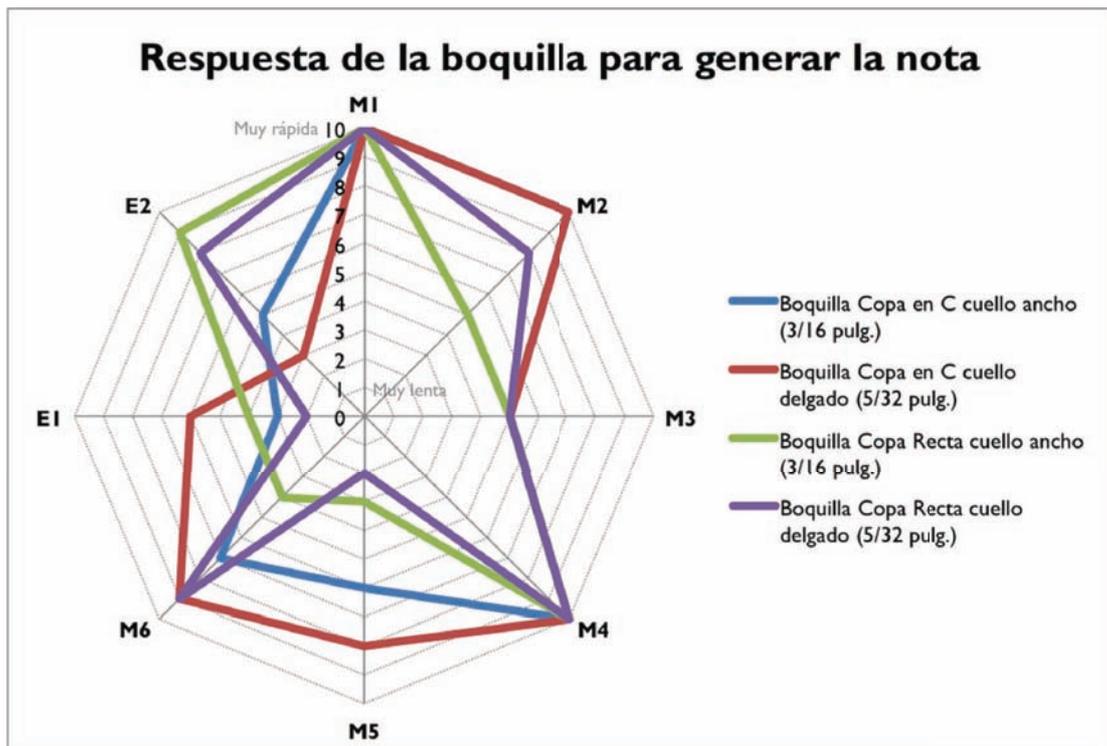
tuvieron, sin embargo no se pudo establecer con claridad si con mayor restricción del paso del flujo ofrece las condiciones más idóneas para ejecutar este tipo de notas (Gráfica 14).

- *Facilidad para generar una nota suavemente (nota piano)*; Los prototipos de boquillas con diámetro de cuello más delgado (5/32 pulgadas) tienen una ligera tendencia de estar mejor valorados para desarrollar las notas, por tanto se puede deducir que el consumo de aire influyó en sus apreciaciones (Gráfica 15).
- *Facilidad para encontrar el centro tonal de las notas*; Las respuestas de los músicos no muestran una tendencia clara debido a los cambios de mayor exigencia de aire en la boquilla (Gráfica 16). No se logró determinar cuál de los prototipos ofreció las mejores condiciones en los músicos, solo se logró distinguir que en algunos casos (M1, M5, M6, E1 y E2) el cambio de perfil de la copa curva (en C) a la recta les permitió ejecutar mejor el instrumento para generar las notas con cuello ancho (diámetro de 3/16 pulgadas).

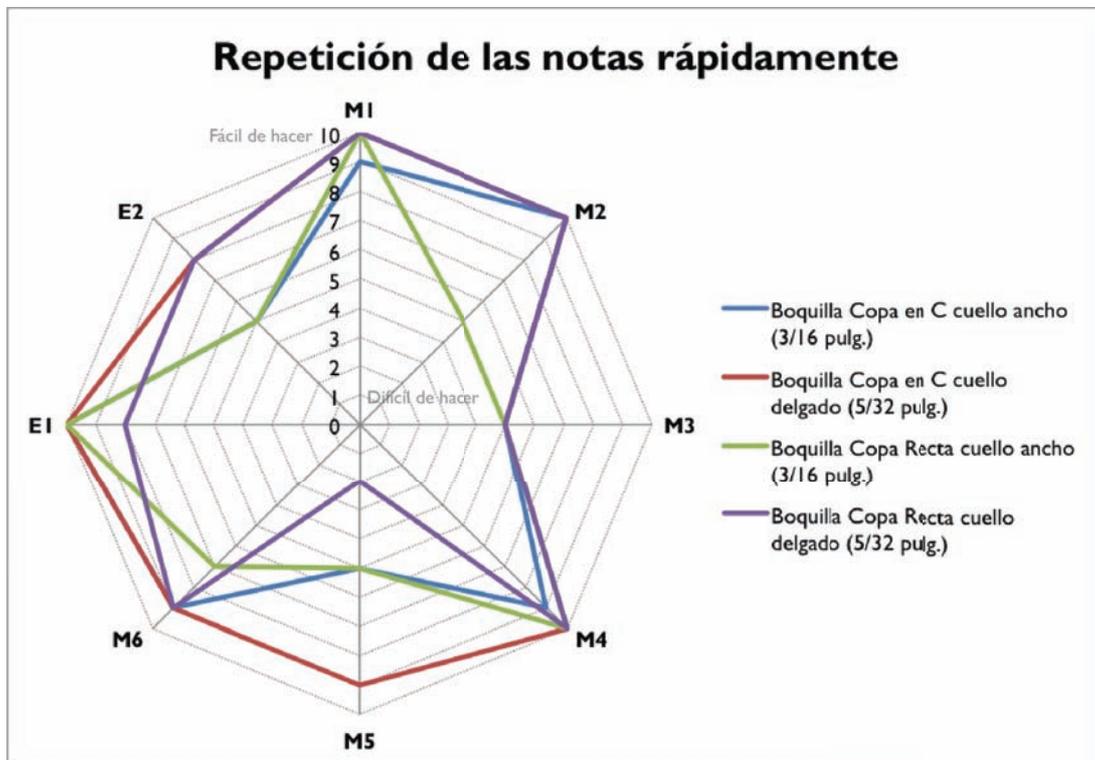
Por otro lado, tal como se observó en la etapa de la simulación, los perfiles internos de cada prototipo desarrollaron condiciones diferentes sobre el flujo de aire. Recordando que el prototipo de copa en C y diámetro de cuello grueso (diámetro de 3/16 pulgadas) y el prototipo de copa recta con diámetro de cuello delgado (diámetro de 5/32 pulgadas) tuvieron condiciones similares, mientras que el prototipo de copa en C con diámetro de cuello grueso y el prototipo de copa recta con diámetro delgado sus condiciones fueron opuestas. Asociando estas condiciones con las evaluaciones de los músicos se logró observar tendencias en sus respuestas sobre la calidad tonal (timbre) que los prototipos generaban (Gráfica 17):

- El prototipo de boquilla de copa en C y cuello ancho (3/16 pulgadas) fue evaluada como la que proyectaba la calidad tonal más oscura. Es decir notas cuya señal acústica fundamental la acompañan armónicos de baja intensidad (graves). Este sonido le dan de adjetivo como pastoso o con cuerpo.
- El prototipo de boquilla de copa recta y cuello delgado (5/32 pulgadas) fue evaluada como la que proyectaba el sonido más brillante. Es decir notas cuya señal acústica la acompañan de armónicos de alta intensidad (agudos). El adjetivo que le asocian a este sonido es chillante o delgado.
- Los prototipos de boquillas de copa en C con el cuello delgado (5/32 pulgadas) y la de copa recta con cuello ancho (3/16 pulgadas) tuvieron evaluaciones similares en la calidad tonal que emitían.

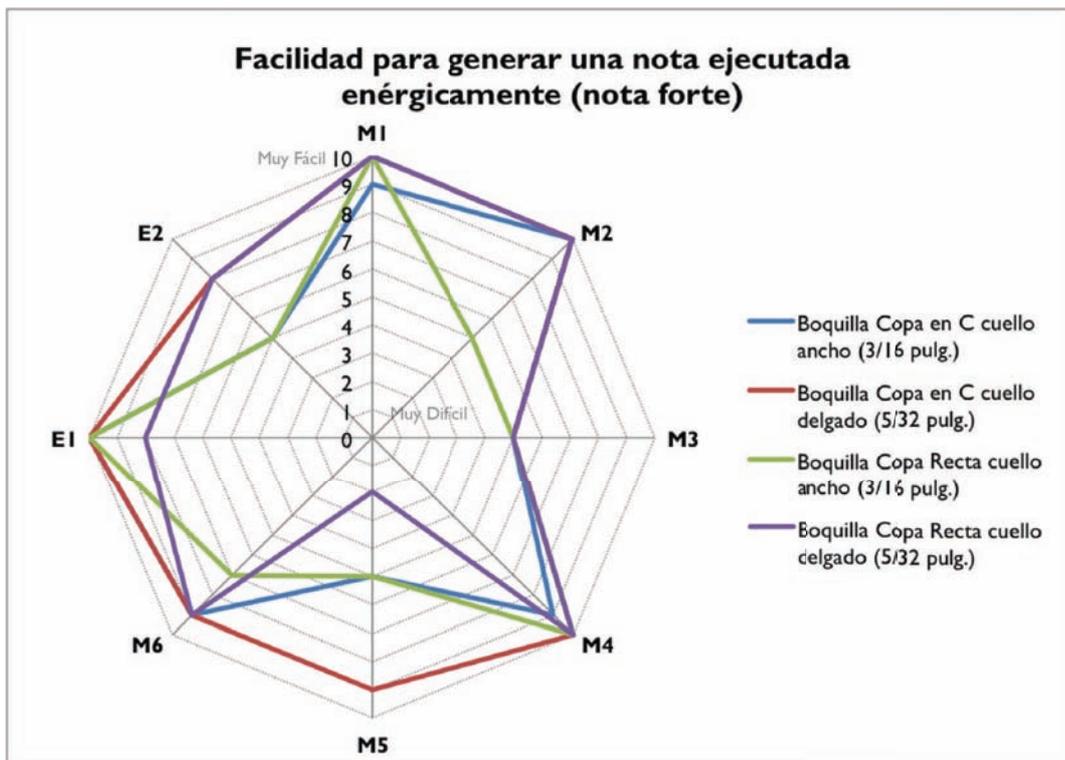
Con esto se puede considerar que los valores de la velocidad del flujo del aire calculados en la simulación se asociaron con estas evaluaciones de los músicos. A pesar de que en otros estudios han comentado que este parámetro es una apreciación ciertamente subjetiva, las opiniones de los participantes fueron muy similares por lo que la simulación contribuyó de forma más cuantitativa en la determinación del comportamiento acústico de los prototipos. Además se puede corroborar que ellos tienen el oído entrenado que les permite identificar las características más imperceptibles ya que su conceptualización del sonido en sus mentes es una habilidad intrínseca en ellos.



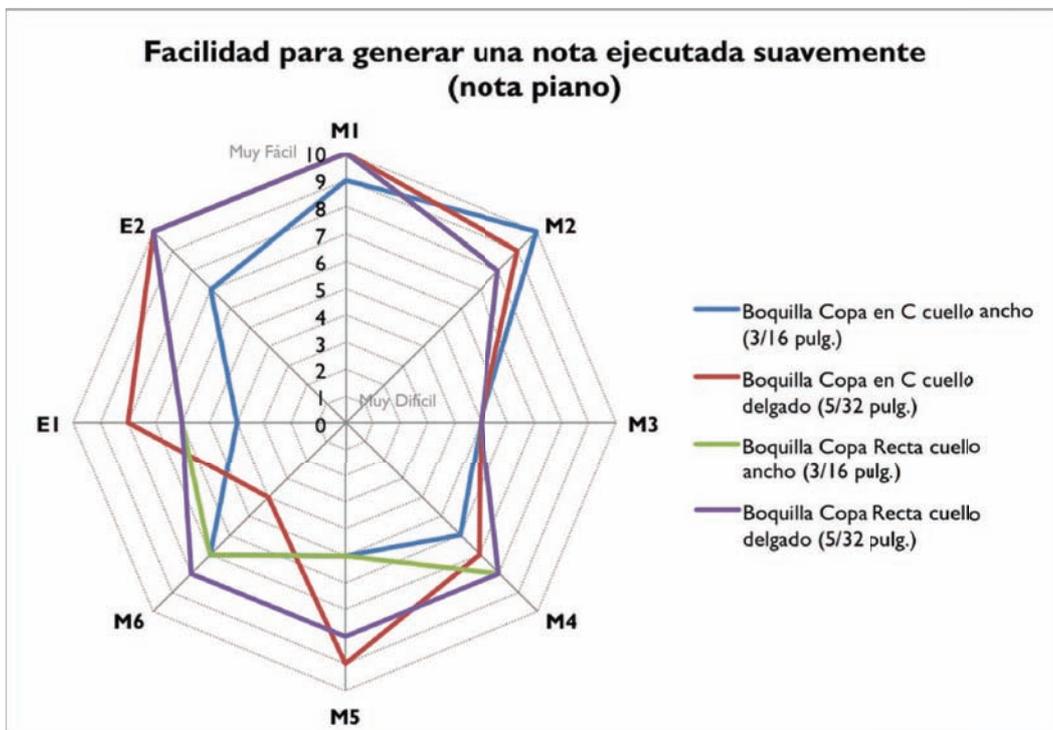
Gráfica 12. Evaluación de los músicos sobre la respuesta en cada uno de los prototipos.



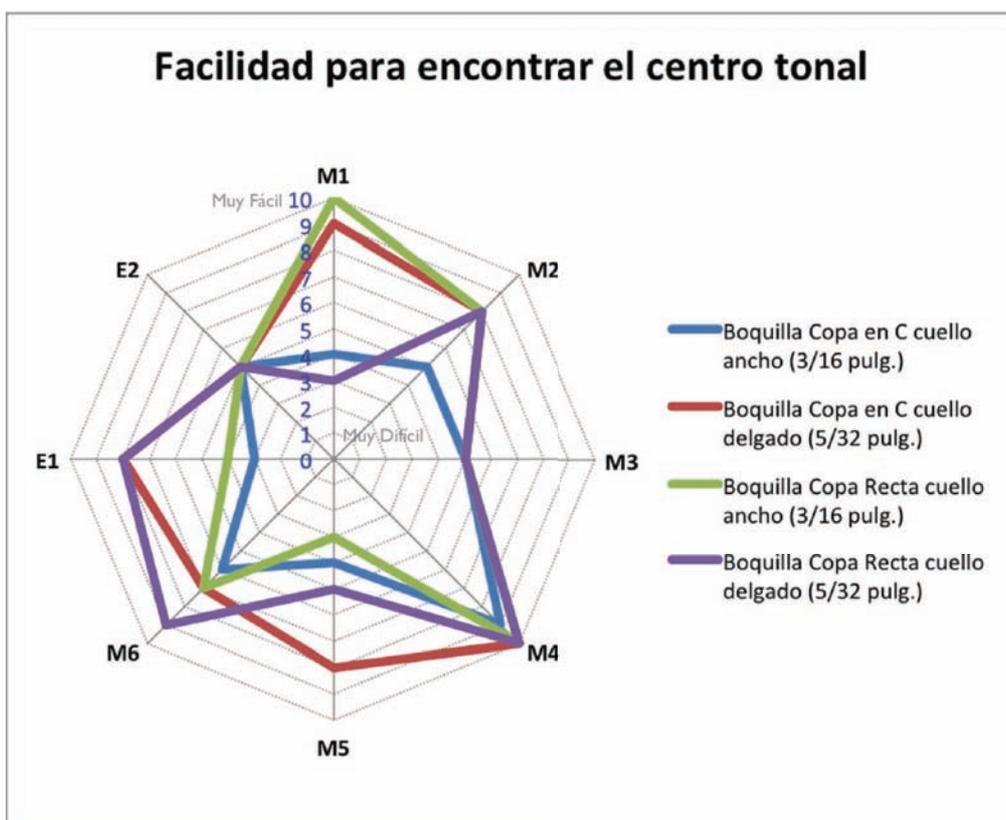
Gráfica 13. Evaluación de los músicos sobre la repetición de las notas en los prototipos.



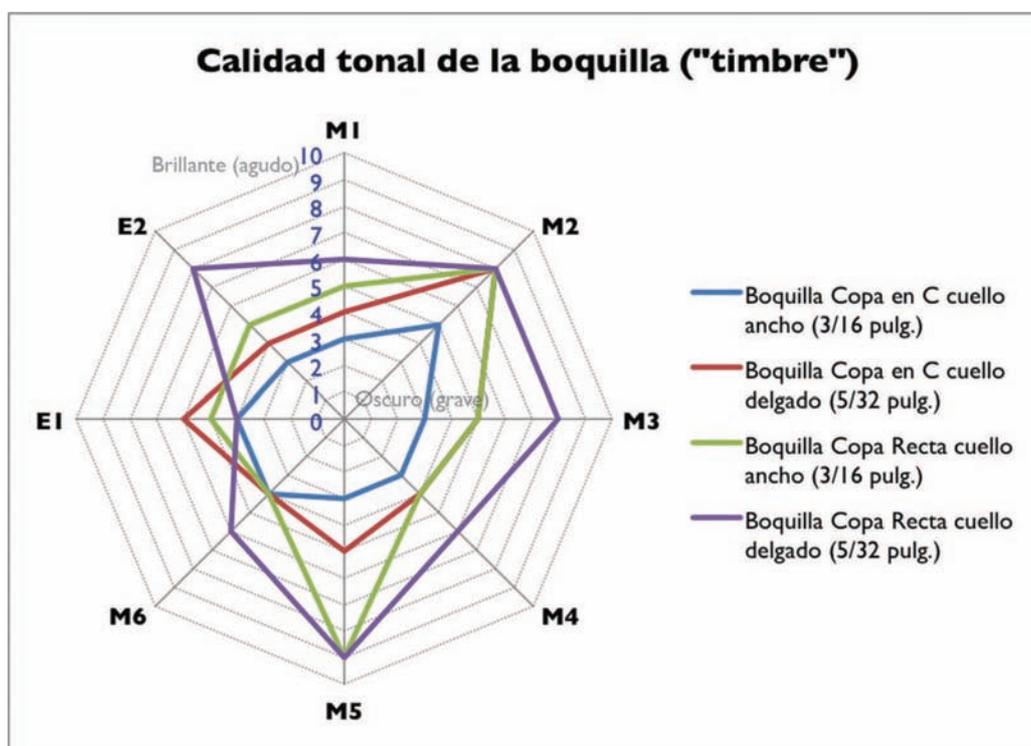
Gráfica 14. Evaluación de los músicos en la facilidad de generar una nota energicamente.



Gráfica 15. Evaluación de los músicos en la facilidad de generar una nota suavemente.



Gráfica 16. Evaluación de los músicos en la facilidad de encontrar el centro tonal de las notas.



Gráfica 17. Evaluación de los músicos sobre la calidad tonal de los prototipos de boquilla.

4.5 Discusión de los resultados y planteamientos.

El estudio comparativo de los prototipos de boquilla diseñados fue de vital importancia para reorientar la perspectiva que se tenía respecto al músico y la boquilla del instrumento de metal. En principio los datos obtenidos no revelaban aspectos significativos pues en principio se tenía planteado que cada prototipo tuviese un diagrama descriptivo que representara sus virtudes y desventajas construido a partir de las pruebas y de las evaluaciones de los músicos. Al observar que las respuestas diferían considerablemente en un solo prototipo se optó por representar cada parámetro en una gráfica, colocando en los ejes las evaluaciones de los músicos a fin de distinguir con mayor claridad las diferencias entre ellos (por ejemplo la Gráfica 4). Acomodando de esta forma la información y asociándola con las opiniones de los músicos finalmente se pudo comprender de que cada prototipo influyó de diferente manera en la técnica de ejecución, concretamente en el control de la vibración de sus labios, por ello la evaluación de cada uno de los parámetros musicales fueron diferentes. Esto condujo a replanteamientos sobre la usabilidad y tener una perspectiva más amplia sobre la relación del músico-boquilla y la detección de sus partes más críticas. En las siguientes secciones se expone cada uno de estos puntos.

4.5.1 La técnica de ejecución del músico del instrumento de metal.

En reiteradas ocasiones los músicos participantes compararon los prototipos con la boquilla que usualmente utilizan en sus actividades musicales. Al exhibirlas se observó que presentaban una configuración diferente con respecto a los prototipos (forma, dimensión y restricción principalmente) lo cual muestra que algunos participantes han desarrollado su técnica con base a las condiciones que les establece su boquilla. Tras el cambio de las condiciones sucedió que:

- Al cambiar los factores de forma, dimensión y restricción del aro, la vibración de los labios se alteró considerablemente.
- En los prototipos de diámetro de cuello ancho (cambios en los factores de dimensión y restricción) utilizaron más aire para hacer vibrar los labios y generar los sonidos (notas) que se les pidió, lo cual les afectó considerablemente.
- Cuando utilizaron los prototipos de diámetro de cuello delgado se les facilitó generar estos mismos sonidos ya que la restricción del paso del flujo del aire era similar a las de su boquilla.

Aun a pesar de que las capacidades pulmonares sean sobresalientes, se comprendió de que no es una condición que garantice el desarrollo adecuado de la técnica de ejecución, concretamente, en la vibración de los labios. Los factores de la boquilla pueden también moldear su desarrollo.

Lo anterior no necesariamente debe ser considerado como una definitiva norma porque en algunos de los músicos participantes su técnica de ejecución, o por lo menos la vibración de sus labios no se vio afectada a pesar de los cambios en los prototipos. Si

distinguieron diferencias con respecto a las boquillas que utilizan, sin embargo comentaron que no condicionaron sus habilidades de ejecución.

Con lo sucedido con los músicos participantes se comprendió que varios fabricantes de boquillas dan por concluido o asentadas los aspectos o circunstancias de la técnica de ejecución del músico del instrumento de metal. Pudo darse el caso que durante el desarrollo de un modelo de boquilla éste haya sido orientado bajo las perspectivas particulares de la técnica de un músico (generalmente uno de renombre internacional), lo cual puede que dicho modelo sea muy útil en algunos y en otros ser una completa decepción.

Entonces ¿Cuál es la técnica de ejecución más preparada a estos cambios? ¿Cuál es la forma más eficiente para vibrar los labios? En realidad son preguntas que hasta el momento siguen siendo complejas de contestar incluso para quienes han experimentado con el movimiento de los labios. Bromage y Kausel a pesar de establecer un modelo matemático para predecir el comportamiento de este particular movimiento, tuvieron que simplificar muchos factores. Por otro lado, Arnold Jacobs llegó a comentar que el control de la vibración está en la formación de la embocadura que van desarrollando los músicos después de un continuo entrenamiento, pero puede suceder que la boquilla sea protagonista y moldear este desarrollo o ser un elemento poco importante. Lo cierto es que para Jacobs lo mas ideal era que la embocadura generara los mismos resultados independientemente de la boquilla que se utilice.

Después de considerar la información recopilada en el estudio piloto, y del estudio comparativo de los prototipos se entendió que la relación entre la técnica de ejecución (principalmente la acción de vibrar los labios) y la boquilla es una alternación de factores. En términos prácticos la técnica del músico puede suplir las carencias de diseño de la boquilla o potenciar sus virtudes, aunque también puede pasar que la boquilla mejore las habilidades del músico o alterarlas aún más.

Este trabajo no tuvo como objetivo primordial hacer una distinción sobre cual técnica de ejecución (concretamente en la vibración de los labios) es la que los músicos deben desarrollar, sino entender como se desenvuelven las relaciones de los factores del músico (físicos y de rendimiento musical) con los factores de la boquilla (forma, dimensión, restricción, acoplamiento y material). Con los resultados que se obtuvieron del estudio comparativo se alcanzó a ver que por lo menos hay dos contextos en la técnica de ejecución del músico:

- I. La técnica del músico es sensible a los cambios de las circunstancias por lo que:
 - i. Necesariamente los labios debe estar bajo las mismas condiciones para desarrollar la vibración y generar los sonidos (notas). Concretamente las dimensiones y formas del aro se deben mantener.
 - ii. El flujo del aire que hace vibrar los labios está condicionado por los factores de restricción de la boquilla.
2. La técnica del músico es capaz de generar resultados similares ante cualquier cambio por lo que:

- i. Los labios pueden adaptarse a diferentes condiciones para desarrollar la vibración necesaria y generar los sonidos (notas).
- ii. El flujo del aire que hace vibrar los labios tiene mayor autonomía frente a los factores de restricción de la boquilla.

Las capacidades respiratorias de los estudiantes fueron bastante útiles para determinar estos contextos porque a pesar de poder inhalar más aire, la vibración de los labios así como el aire que emplean para generarla se vieron alteradas ya que dependen de las restricciones de la boquilla que normalmente utilizan, y en los prototipos la libertad de movimiento de los labios y el flujo del aire fueron relativamente mayores. De manera análoga, entre los músicos profesionales sucedieron casos similares, al haber cambios en las restricciones a las que están acostumbrados se les dificultó utilizar los prototipos.

Estos contextos dan muestra de que por lo menos hay dos tipologías de músicos (usuario) con particularidades muy concretas que definen las posibles configuraciones de los factores de la boquilla. Es otras palabras, dependiendo del contexto de la técnica, hay factores que son más importantes cuidar/mantener que otros, lo cual es un indicio de lo importante que es jerarquizarlas.

En la Figura 4.10 se muestran esquemáticamente estas dos tipologías de músicos y las jerarquías de los factores de la boquilla que necesita tener el diseño. En el inciso “a” de la figura los factores de restricción tienen una mayor importancia por lo que se les representa en el círculo de mayor tamaño. Significa que es muy importante conservar las condiciones de vibración y flujo del aire en la boquilla lo cual pueden ser entonces los objetivos específicos que debe cumplir el diseño para que su usabilidad sea el adecuado. Esto conlleva a que la libertad de movimiento de los labios prácticamente debe estar bajo las mismas condiciones y que la cantidad del flujo del aire no tenga cambios significativos a fin de que la técnica del músico no se altere. Por otro lado, los factores de dimensión también condicionan la técnica por lo que su jerarquía es la segunda más importante en el esquema.

En el caso del inciso “b” de la figura, la importancia de los factores cambia significativamente. Los factores de restricción no toman tanta relevancia, en cambio los de dimensión y forma se les puede dar mayor jerarquía ya que de este modo se posibilitan más opciones al músico para experimentar con otras condiciones y desarrollar diferentes resultados acústicos.

Entonces los factores que más afectan al músicos son precisamente en este orden:

1. Los factores de restricción.
2. Los factores de dimensión.
3. Los factores de forma.

Los factores de restricción y dimensión están más vinculadas con la técnica de ejecución del músico por las razones anteriormente explicadas, en cuanto a los factores de forma están más asociadas hacia aspectos acústicos y en la trayectoria del flujo del aire,

generando ciertas repercusiones acústicas, principalmente en la calidad tonal (timbre) de los sonidos (notas) que proyecta el instrumento (esto se explica mas adelante).

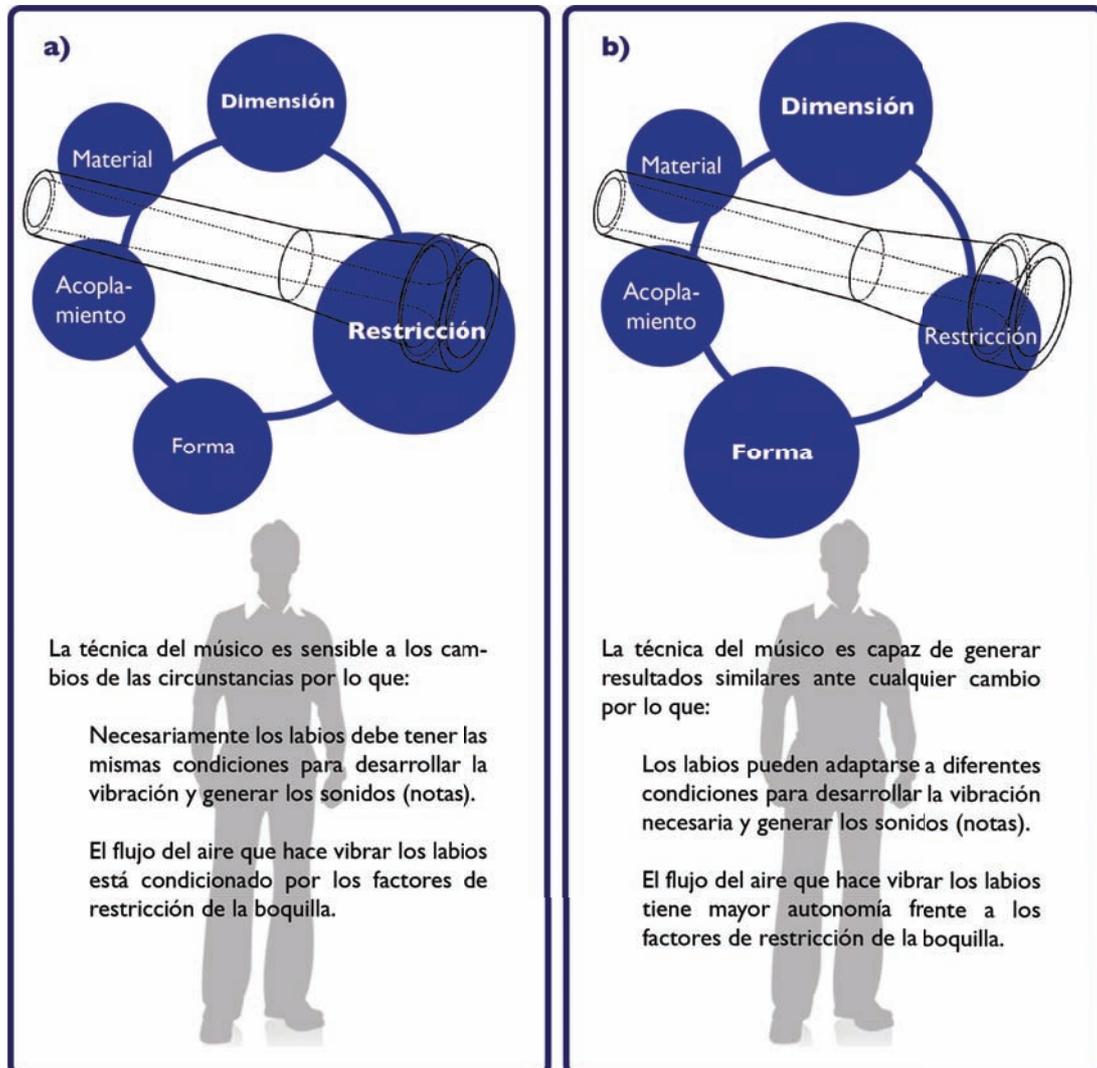


Figura 4.10. Jerarquías de los factores de la boquilla tras el análisis de los resultados del estudio de campo:

- La jerarquía de los factores de restricción tiene gran importancia en el diseño de la boquilla.
- Los factores de forma y dimensión tienen mayor jerarquía y el factor de restricción no es tan significativo en el diseño de la boquilla.

¿Qué sucede con el instrumento de metal? Debido a los límites de estudio, solo se comenta que los resultados de la relaciones vistas de los músicos que utilizaron los prototipos proyectaron resultados acústicos diferentes; en algunos fue muy satisfactorio ya que su técnica no se alteró pero para quienes se les dificultó utilizar los prototipos esto les generó cierta incertidumbre sobre las características de los sonidos que habían desarrollado.

Es importante resaltar que la técnica de ejecución del músico debe considerarse como un escenario consecuente de la influencia de todos sus factores intrínsecos. En la etapa de análisis se planteó que los factores físicos estaban en una jerarquía mayor sobre los factores de rendimiento musical, sin embargo, por los resultados obtenidos de la encuesta y de las opiniones de los músicos se comprendió que todos los factores necesariamente deben considerarse en un mismo nivel jerárquico. Por ello, como trabajo a futuro es importante analizar la evolución de la percepción del músico conforme desarrolla su técnica, ya que los resultados mostraron que dependiendo de cómo se altera éste (la técnica), las percepciones acústicas de los músicos cambian drásticamente, y de igual forma las percepciones de sus capacidades físicas (concretamente respiratorias). Las gráficas que muestran las percepciones de consumo de aire de los músicos para generar las notas (Gráficas 10 y 11), si son comparadas con la gráfica de capacidad pulmonar (Gráfica 7) en realidad sus evaluaciones no proyectan las condiciones reales sobre la cantidad de aire que son capaces de inhalar.

4.5.2 Los contextos de la técnica de ejecución en la simulación.

Si la técnica de ejecución establece que las condiciones no deben alterarse entonces el diseño de la parte interna de la boquilla solo puede disponer de las dimensiones y perfiles que generen comportamientos similares en el fluido del aire o al menos que las diferencias no sean tan drásticas. Esto significa que dependiendo de la vinculación entre las dimensiones y los perfiles de cada una de las partes internas de la boquilla se generan condiciones particulares sobre el flujo del aire que benefician o perjudican la técnica del músico. Dichas condiciones se vieron reflejados en los valores de presión y velocidad calculados en la simulación.

En dos prototipos las condiciones fueron opuestas (boquilla de copa en C cuello ancho y boquilla copa recta cuello delgado), pero en las otras (boquilla de copa en C con cuello delgado y boquilla de copa recta con cuello ancho) las condiciones de velocidad sobre el flujo fueron muy similares a pesar de las diferencias de dimensión y forma. Al ser evaluada la característica acústica de la calidad tonal las respuestas de los músicos fueron muy similares. Sin embargo hubo una distinción importante, el prototipo que disponía de menor restricción en el cuello demandó mayor cantidad de aire para que el músico generara los mismos resultados acústicos. Por tanto, la técnica que requiere de condiciones prácticamente sin modificaciones, las configuraciones de los factores de dimensión, forma y restricción de las partes internas de la boquilla deben desarrollar valores de presión y velocidad con diferencias mínimas dentro de los escenarios de la simulación, o por lo menos que los valores de presión no tengan diferencias considerables ya que están más asociadas con los factores de restricción porque en la simulación, los prototipos que demandaron menor aire (mayor restricción sobre el flujo del aire), tuvieron los valores de presión más altos.

Al diseñar ambos prototipos no se visualizaron tales situaciones, solo a través de la simulación se pudo detectar este comportamiento y el estudio comparativo fue el paso que reafirmó estos hechos.

4.5.3 Nuevos contextos en la relación del músico, la boquilla y el instrumento de metal.

Los planteamientos de las relaciones del músico y la boquilla en función del instrumento de metal establecidos en el capítulo 2 se redefinieron tras el desarrollo del estudio de campo. Los nuevos planteamientos se muestran en la Figura 4.11.



Figura 4.11. Condiciones generales de la boquilla en cada instrumento de metal.

Al principio se planteó que por las dimensiones de la boquilla para la trompeta, el músico no estaba obligado a administrar gran cantidad de flujo del aire, sin embargo, tras la realización de la prueba de los tiempos de ejecución se llegó a la conclusión que realmente es algo vital en la técnica del músico y que es reflejo del control de las vibraciones de sus labios. Independientemente que se trate de una boquilla de trombón, tuba o trompeta, el desarrollo de la forma de la embocadura influye de forma directa en la administración del flujo del aire, por ello en todas las relaciones de la boquilla de cada instrumento de metal ilustradas se les encierra en un recuadro para representar que en los tres instrumentos es vital que el músico tenga el máximo rendimiento en sus capacidades respiratorias donde la embocadura es el factor que define el manejo de la

cantidad del aire que se le suministra. Además, los enunciados expuestos en el capítulo 2 que explican estas relaciones cambiaron significativamente por lo que la Figura 4.11 es una modificación de ellas.

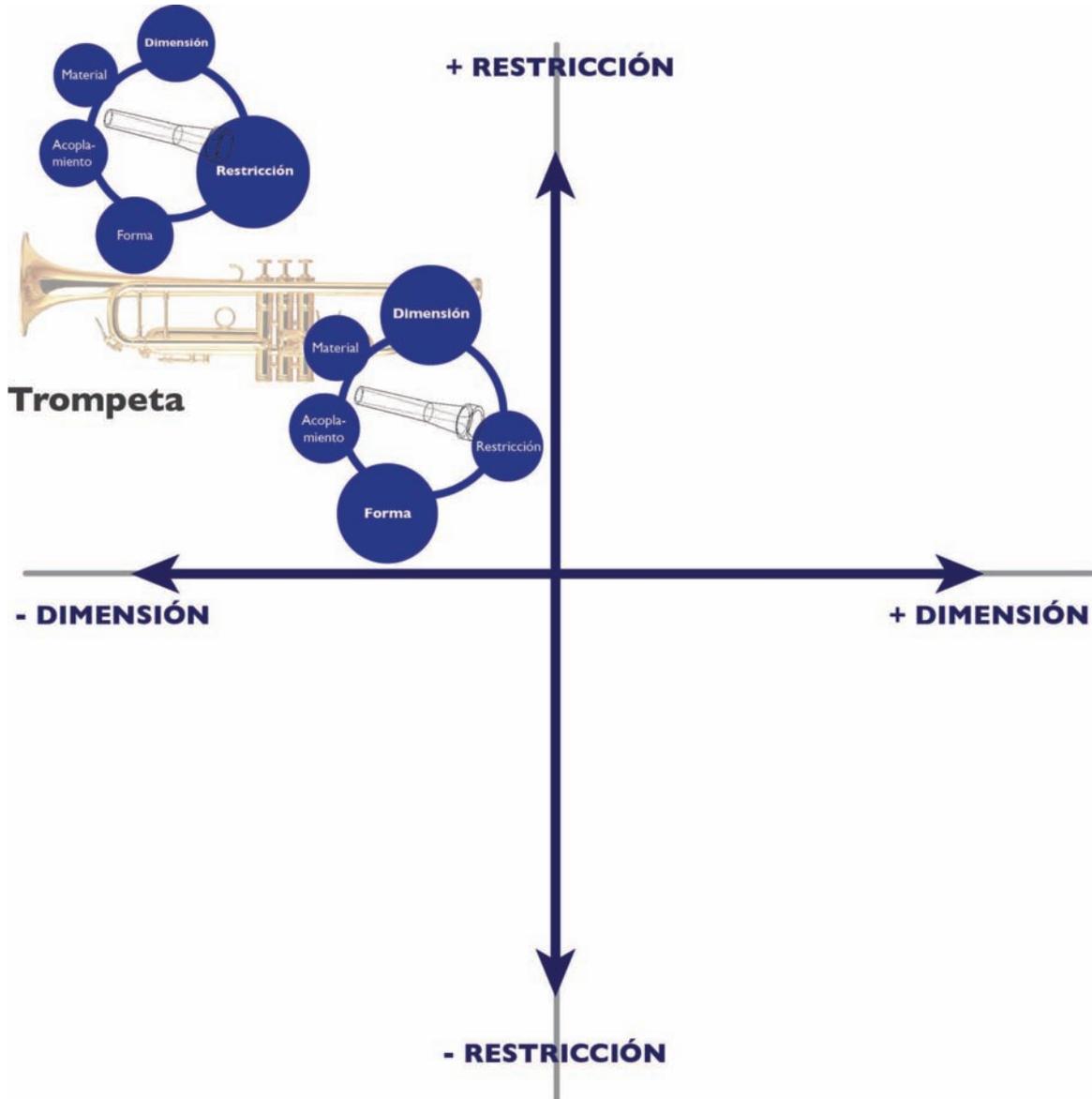


Figura 4.12. Condiciones generales de la boquilla en cada instrumento de metal.

Respecto a los escenarios planteados en el capítulo 2 (Figura 2.31) al vincularlas con las jerarquías determinadas por las tipologías del músico, se pudo visualizar las posibilidades de configuración de los factores en los otros dos instrumentos de metal. En la Figura 4.12 se muestran nuevamente estos escenarios con la diferencia de que los esquemas jerárquicos de las dos tipologías han sido ubicadas. El cuadrante superior izquierdo es la zona donde la boquilla de la trompeta tiene definidos los factores de dimensión ya que mediante especificaciones de la longitud, diámetro y ángulos en algunas partes de la boquilla se definen las limitaciones del movimiento de los labios así como del flujo de

aire. Se plantea que también puede pasar sobre las boquillas de la tuba y el trombón. Cuando los factores de restricción no son tan relevantes entonces los factores de dimensión así como los de forma tienen mayor autonomía por lo que se puede desarrollar un mayor número de configuraciones, es decir desarrollar un mayor número de diseños.

Estas observaciones son con base a la experiencia obtenida al diseñar las boquillas de trompeta, pues en teoría se piensa que las boquillas en los otros dos instrumentos tienen las mismas posibilidades de configuración, sin embargo es necesario confirmarlo mediante la realización de un estudio comparativo enfocado en los diseños de boquilla para tuba y trombón.

4.5.4 Redefinición del modelo de Usabilidad de la relación del músico con el instrumento de metal.

Tras el desarrollo del estudio de campo se obtuvo una perspectiva más objetiva sobre el modelo de usabilidad planteado. Recordando que anteriormente se había esbozado que los factores físicos se encontraban en una primer jerarquía y los factores de rendimiento musical en un segundo orden, teniéndose así un escenario (contexto) de las habilidades del músico para ejecutar el instrumento de metal, o en otras palabras la técnica de ejecución del músico.

Después de haber obtenido información del estudio piloto y del estudio comparativo y de platicar con los músicos respecto a los prototipos y sobre como les afectaba en sus habilidades finalmente se determinó de que la técnica de ejecución es el resultado de los factores planteados en el modelo y no existe una jerarquía tal entre ellos. Por tanto, se establece este nuevo planteamiento porque:

1. Los estudiantes que participaron en el estudio comparativo a pesar de tener mayor capacidad pulmonar, el control de la vibración de sus labios fue menor porque requirieron mayor flujo de aire para generar los sonidos (notas).
2. El músico que ejecutó los tiempos más prolongados, su capacidad pulmonar es relativamente menor a los estudiantes de música. Con poco flujo de aire fue capaz de producir las vibraciones necesarias para producir los sonidos (notas). Además comentó que requería de poco aire para ejecutar las notas.
3. La colocación de la boquilla sobre los labios depende de las condiciones dentales (malformaciones). Por tanto, el músico desarrolla una técnica de ejecución de tal modo que la vibración de los labios sea el adecuado para generar los mismos sonidos.
4. La técnica influye en las percepciones de las capacidades físicas del músico.

Sobre este último punto, es la deducción tras comparar los resultados de las capacidades respiratorias (Gráfica 7), los tiempo de ejecución de las notas (Gráficas 8 y 9) y de las opiniones para mantener notas suaves y enérgicas (Gráfica 10 y 11). Se pudo observar que las opiniones no tienen una tendencia similar a los valores de la capacidad vital y como los prototipos cambiaron las condiciones de ejecución en algunos músicos, las evaluaciones no pueden ser tomadas como resultados generales de una muestra de

población. Lo que se pudo apreciar es que para quienes no tuvieron problemas con los prototipos las evaluaron con altas expectativas y para quienes les resultó un problema el cambio de las condiciones, sus evaluaciones fueron completamente diferentes y desaprobatorias. Por otro lado, las opiniones de la última sección de la encuesta piloto, se esperaba que en términos generales fuesen reflejo de las percepciones sobre los aspectos físicos concernientes a la ejecución del instrumento de metal, sin embargo no muestran una relación consistente con las opiniones de las evaluaciones comparativas, por lo tanto su aportación fue limitado. La única opinión que se considera consistente con lo sucedido con la evaluación comparativa es la que argumenta que *“no en cualquier boquilla el músico puede adaptar sus labios para generar sonidos en el instrumento.”*

Es por eso que se establece este nuevo planteamiento de la Usabilidad tras la experiencia obtenida durante el desarrollo del estudio comparativo y de la información obtenida del estudio piloto representado por el siguiente modelo de la Figura 4.13.



Figura 4.13. Modelo de Usabilidad de la relación entre el músico y la boquilla del instrumento de metal.

Mediante esta representación se plantea que la Usabilidad de la boquilla depende de la siguiente relación y predominio de los factores involucrados en una sola jerarquía, expresado por el siguiente enunciado:

“Los factores tanto físicos como de rendimiento musical establecen las condiciones en la ejecución del instrumento de metal y el diseño de la boquilla debe respetarlas mediante el establecimiento adecuado de un número finito de configuraciones de sus propios factores.”

Con base a la información del estudio piloto y de la evaluación comparativa de los prototipos se establece que los factores que tienen mayor relevancia en la Usabilidad de la boquilla son los siguientes:

- A. *El cuidado dental*: entre los músicos participantes fue el factor que más influyó para que el empalme con la boquilla fuese diferente a como lo establecen la mayoría de los diseños de boquilla (colocado en el centro de los labios)
- B. *La conceptualización del sonido*: los músicos tras su continuo entrenamiento logran distinguir las diferencias más inmensurables de los sonidos (notas), lo cual para el oído común resulta difícil identificarlas.
- C. *Habilidad musical*: Los estudios realizados por Bertsch sobre la temperatura corporal en los labios determinó que los años de entrenamiento determinan el control muscular siendo reflejo de su nivel de habilidad. En otras palabras, los estudiantes tienen un control muscular diferente a los músicos profesionales.
- D. *La embocadura*; La forma particular de la abertura por donde el flujo del aire pasa determina en gran medida la vibración de los labios así como el aprovechamiento del aire inhalado para generar dicho movimiento.
- E. *La fisiología de los labios*; Algunos fabricantes han identificado tendencias sobre las condiciones más óptimas del empalme entre el aro de la boquilla y los labios del músico considerando plenamente su fisonomía. Storcks Custom Music es un ejemplo interesante del cual este trabajo tomará de referencia en la elaboración de nuevos diseños.
- F. *Capacidad Pulmonar*; Dependiendo de la capacidad que tenga el músico para inhalar/exhalar aire se establece las condiciones de restricción del flujo del aire a través de la boquilla.
- G. *Vibración de los labios*; Referente a las condiciones bajo las cuales los músicos son capaces de desarrollar el movimiento necesario de los labios en la generación de los sonidos.
- H. *Conocimientos musicales*; Dependiendo del género musical donde laboran los músicos (notas) tienen una apreciación que influye sobre los resultados acústicos que se deseen obtener. Para la música clásica los sonidos que tienen calidades tonales oscuras (notas con armónicos de baja intensidad) son más valorados para ellos. En la música popular los sonidos con calidades tonales brillantes (notas muy agudas con armónicos de alta frecuencia) son más apreciados en dicho género.

4.5.5 Las partes críticas de la boquilla del instrumento de metal.

Tras el estudio de la simulación y los resultados de las evaluaciones comparativas se estableció que las partes más críticas de la boquilla que afectan la actividad del músico son las siguientes (Figura 4.14):

- Aro de la boquilla:
 - *Diámetro interno/externo*:
 - A través de estos parámetros se definen las condiciones de movimiento en los labios del músico (Restricciones de vibración).

- Al limitar adecuadamente el movimiento de los labios, se garantiza un sellado que evita fugas del flujo del aire del soplido del músico.
 - *Perfil del aro:*
 - Se define la comodidad del músico para acoplarse a la boquilla.
- *Copa de la Boquilla:*
 - *Longitud (Profundidad):*
 - Interviene en la localización del centro tonal de las notas. A mayor profundidad, aumenta la dificultad para direccionar el soplido hacia las otras secciones de la boquilla.
 - *Perfil de la copa:*
 - *Recta:* Mayor facilidad para direccionar el flujo del aire (centro tonal).
 - *Curva:* Mayor dificultad para direccionar el flujo del aire. Sonidos (notas) con mayor número de armónicos.
 - *Diámetro de entrada/salida:* Se define la restricción de paso del flujo del aire.
- *Cuello del boquilla:*
 - *Diámetro de entrada/salida:* Se define la restricción de paso del flujo del aire.
 - *Diámetro delgado:* Menor empleo de aire. Sonidos (notas) con calidad tonal brillante (armónicos de alta intensidad). Respuesta rápida a las acciones del músico.
 - *Diámetro grueso (ancho):* Mayor empleo de aire. Sonidos (notas) con calidad tonal oscura (armónicos de baja intensidad). Respuesta lenta a las acciones del músico.
- *Tudel:* Se define la afinación del instrumento.
 - *Diámetro de entrada/salida.*
 - *Perfil interno/externo.*
 - *Longitud.*

Basándose en los comentarios de los músicos participantes y complementadas con las observaciones obtenidas de las simulaciones por el método de elemento finito se deduce que las partes más críticas de la boquilla son los que se muestran en la Figura 4.14. Varios fabricantes tienen identificadas estas partes críticas de la boquilla, sin embargo en este trabajo se encontraron diferencias importantes:

- La parte del tudel de la boquilla tiene una relación más directa con el instrumento y su configuración es la que menos complejidad tiene pues por un lado hay una estandarización de sus dimensiones externas y aunque se han patentado perfiles y dimensiones muy particulares, no son factores relevantes sobre las restricciones de paso del flujo del aire.
- El aro, la copa y el cuello de la boquilla son los que mayor influencia tienen en la técnica de ejecución de los músicos. Es importante destacar que la configuración

de estas tres partes son las que definen prácticamente las virtudes y limitantes del diseño de la boquilla, tanto en aspecto acústico así como de su usabilidad. El diseño que configure de la mejor forma posible estas tres partes, tendrá ventajas competitivas.

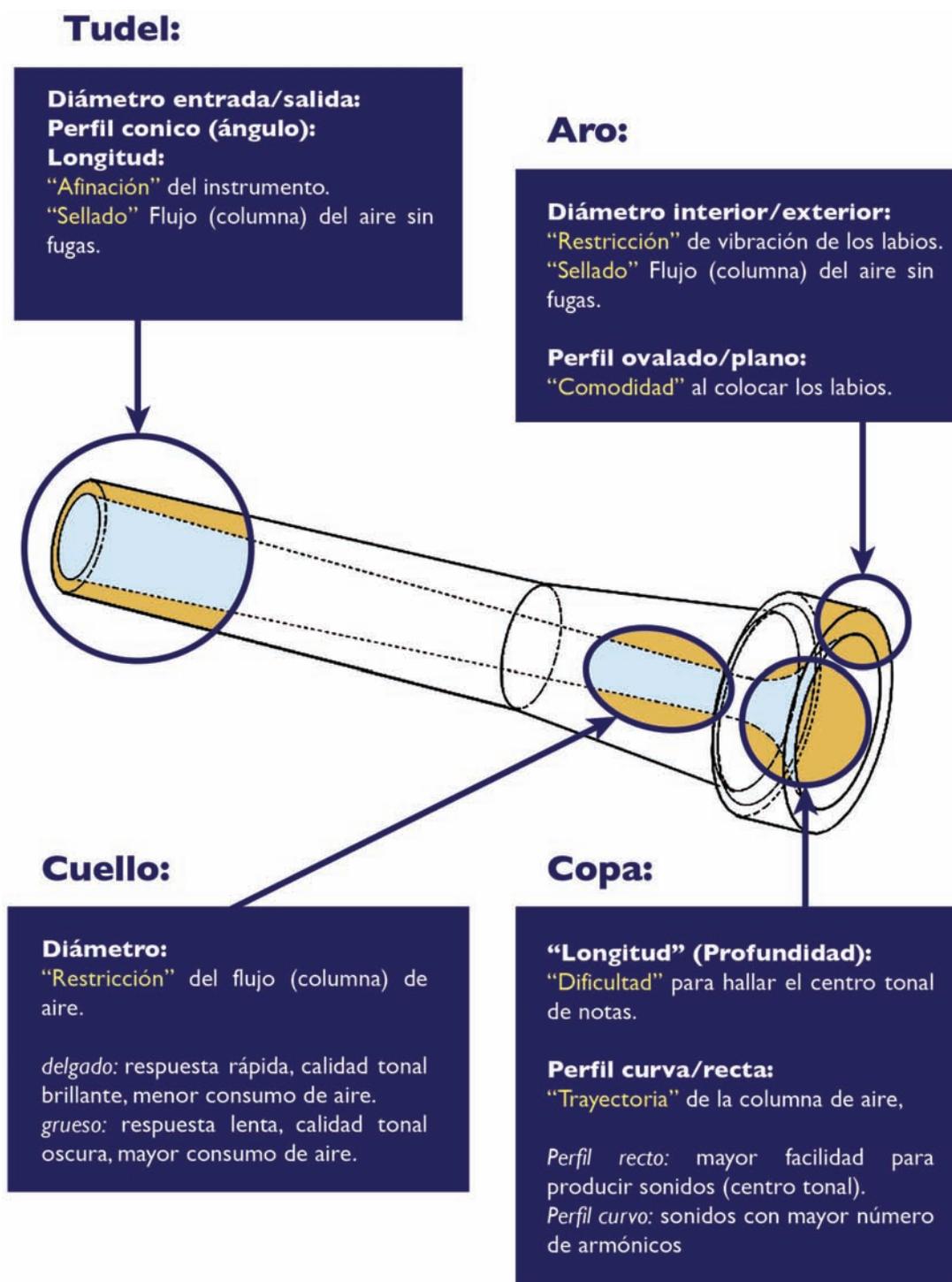


Figura 4.14. Partes de la boquillas más relevantes que condicionan la técnica de ejecución del músico.

Para desarrollar ventajas competitivas, es importante que el diseño tomen en cuenta los contextos de la técnica de ejecución del músico. Sobre este punto respecto a las patentes examinadas, de las 27 solo 10 fueron diseñadas tomando en cuenta los aspectos relevantes de la técnica de ejecución del músico (Jhon et al, 2009) (Hamanaga, 2010) (Parkos, 2002) (Jones, 1954) (Lunow, 1938) (Dobie, 1942) (Sanders, 1973) (Harrison, 2010) (Tichenor, 1971) (Parduba, 1935) considerando estrictamente el comportamiento de la vibración de los labios y/o su adecuado empalme con la boquilla. Los demás se diseñaron con base a alcanzar objetivos acústicos lo cual es una muestra de que varios de los diseños le dieron poca relevancia a la relación entre el músico y la boquilla, principalmente en entender el contexto (o circunstancias) en el cual la técnica del músico se desempeña. Es importante resaltar esto porque en el estudio de campo se observó el fuerte impacto que tiene el diseño de la boquilla en las habilidades del músico.

4.5.6 Propuesta metodológica orientada al diseño de la boquilla.

Estudiar el caso de la boquilla del instrumento de metal ha traído como beneficio principal experiencias prácticas así como teóricas. Basados en ellas se propone una metodología enfocada a su diseño. Cada una de las etapas que la conforman se muestran en la Figura 4.15 siendo las siguientes:

1. **REQUERIMIENTOS-NECESIDADES:** Antes de iniciar con un diseño en particular, es valioso plantearse objetivos principales, los cuales determinan en gran medida las características que se buscan concebir en la boquilla. Las necesidades son argumentos que pueden guiar al establecimiento de los requerimientos de diseño para así establecer sus objetivos particulares.
2. **ANÁLISIS DE USUARIOS:** Esto constituye principalmente en la detección de las capacidades del músico, principalmente con el fin de conocer las condiciones bajo las cuales el diseño debe centrarse y visualizar sus posibles impactos. Para ello la usabilidad planteada en este trabajo es la etapa exploratoria para el análisis de los usuarios. Si el nuevo diseño tiene muy altas expectativas que superan las habilidades del músico entonces es necesario replantear tanto los requerimientos así como los objetivos del diseño.
3. **DISEÑO CONCEPTUAL:** Concerniente al desarrollo de las opciones de diseño mediante el establecimiento de las configuraciones de los factores de la boquilla, con una previa orientación del análisis del usuario. También se le debe considerar como la etapa en que se buscan nuevas alternativas, donde los diagramas de los factores de la boquilla son pieza fundamental en el proceso ya que se visualizan las posibilidades de diseño. Una vez establecida la boquilla de forma conceptual hay dos vías que se pueden seguir:
 - a. **DISEÑO ESTABLECIDOS:** Si las configuraciones determinadas en el diseño conceptualizado corresponden a otros previamente elaborados entonces se están detectando tendencia en sus factores. Entonces inmediatamente se pasaría a la siguiente etapa de Manufactura.
 - b. **PRONOSTICO:** Como este trabajo planteó predecir el comportamiento de los prototipos y posteriormente comparar los resultados con los

músicos, se propone que en este proceso exista una etapa de pronóstico del comportamiento del diseño conceptualizado. Si no cumple con las expectativas, entonces se vuelven a replantear la configuración de los factores del diseño. En caso contrario pasaría a la siguiente etapa. Se propone utilizar las herramientas CAD ya que en reiteradas veces han comprobado ser una herramienta muy útil.

4. **MANUFACTURA:** Correspondiente a la etapa en la cual el diseño se fabrica bajo un proceso en específico. En este trabajo de investigación se utilizó el proceso de maquinado de torno, por lo cual se tuvo que adquirir y desarrollar una serie de herramientas de corte para concebir los prototipos. Un fuerte impacto en toda metodología es precisamente la selección del proceso y las herramientas (corte y acabado principalmente) que se requieren utilizar. Por ejemplo, las herramientas que se utilizaron para elaborar los prototipos solo se pueden volver a reutilizar si los nuevos diseños tienen características similares tanto de dimensión así como de formas. Por ello la etapa de “pronóstico” se vuelve muy importante. Concebir un nuevo diseño diferente prácticamente involucra la inversión de nuevo herramental. Si el diseño falla en cumplir con las expectativas planteadas, la inversión tendrá fuertes repercusiones negativas.
5. **¿SATISFACE?** Como se comentó, es vital que el músico experimente con el nuevo diseño para saber con certeza si este cumple tanto con sus expectativas así como resolver sus necesidades. Si es satisfactorio entonces se tendría un diseño en la cual se puede patentar. En caso de NO satisfacer entonces se regresaría el proceso a sus etapas iniciales donde nuevamente se volvería analizar a los usuarios, e incluso con la posibilidad de replantear nuevamente los objetivos de diseño. Lo ideal es que el diseño cumpla en una sola iteración con los objetivos planteados por lo que las etapas previas no deben ser consideradas con arbitrariedad.

En el diagrama se puso la palabra “usuario” con el fin de generalizar este proceso y ser aplicado hacia el desarrollo de otros productos, y en vez de colocar los factores de la boquilla, serían los factores o variables que intervienen en un producto en específico.

Para perfeccionar este método, es necesario que a través de los años se vaya adquiriendo experiencia práctica, archivar cada caso y evaluar si a través de esta serie de pasos, hay una evolución considerable en los diseños. La intención es reducir la incertidumbre concerniente al diseño de la boquilla ya que antes se comentó que en México no existe una industria formal que tenga un método sistematizado que brinde la orientación necesaria en la búsqueda de nuevas soluciones en la boquilla del instrumento de metal.

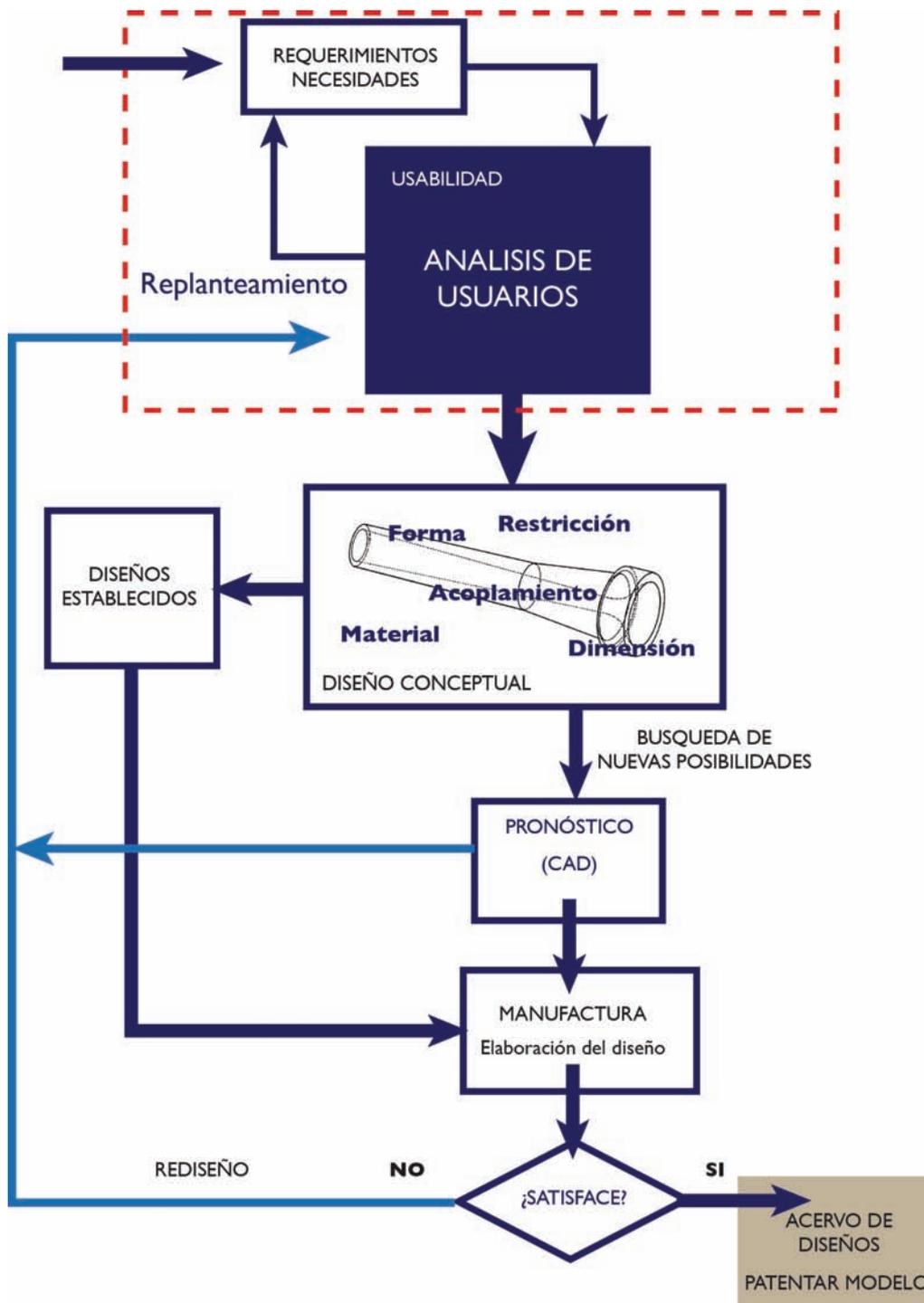


Figura 4.15. Propuesta metodológica enfocada al diseño de la boquilla.

CONCLUSIONES.

¿Qué conclusiones se obtuvieron? En realidad varios pero primordialmente aquellos que son resultado de las observaciones obtenidas durante el desarrollo del estudio de campo y las dificultades afrontadas tras diseñar cada prototipo de boquilla utilizado.

Desarrolladas las etapas establecidas de la investigación, se logró profundizar muchos aspectos sobre el músico, la boquilla y el instrumento de metal pues en fases iniciales del proyecto se asumían otros planteamientos. Esencialmente se pensaba que a partir de la forma y dimensión de los labios del músico es como se determinaba la boquilla apropiada para que ejerciera su profesión de manera eficaz. Sin embargo, esta idea se modificó completamente ya que hubo tres etapas importantes durante la investigación que determinaron el cambio de orientación:

1. *La revisión de los estudios de Arnold Jacobs sobre los factores humanos que influyen en la ejecución del instrumento.* A través de su perspectiva se trazó un primer acercamiento sobre las actividades profesionales del músico.
2. *El análisis exhaustivo de cada uno de los diseños patentados.* La boquilla aparentaba ser un elemento sencillo, sin embargo, tras estudiar las primeras patentes de inmediato se observó que en ella se centraban varios factores y que su comportamiento depende de cómo estas se relacionan.
3. *El desarrollo del estudio de campo.* Teniendo un diálogo directo con los músicos participantes, se logró percibir el gran impacto que puede tener el diseño de la boquilla sobre sus habilidades entrenadas para ejecutar el instrumento de metal.

Todas las etapas de la investigación fueron importantes, pero estas tres fueron las fundamentales para que se establecieran otros planteamientos pues el que se tenía al principio solo consideraba una parte de la relación existente entre el músico y la boquilla del instrumento de metal. Por otro lado, haber considerado al músico, la boquilla y el instrumento de metal como elementos que conforman un sistema complejo facilitó la comprensión sobre lo sensible que son sus relaciones acústicas y físicas.

Ciertamente la actividad de la música requiere del desarrollo y el entrenamiento continuo de habilidades muy concretas donde los instrumentos musicales y sus diversos elementos que lo acompañan necesariamente deben tener un estrecho vínculo emocional, cognitivo y acústico con el músico. Además dependiendo de la percepción de su técnica es como efectúan la elección de la boquilla y que probablemente su uso constante transforma las percepciones sobre sus capacidades físicas.

Al principio de la investigación se comentó que los fabricantes generalmente catalogan sus modelos mediante los perfiles y las dimensiones que tienen sus partes, explicando de ese modo las virtudes del diseño. Al momento que un músico observe y lea las características de una boquilla de un determinado fabricante, es probable que cuando experimente con ella desarrolle otras condiciones diferentes a las mencionadas ya que como se pudo observar en los resultados a pesar de que los prototipos utilizados fueron los mismos en todo el proceso de evaluación, para ciertos participantes les fue

muy útil, sin embargo en otros se les dificultó mucho usarlos. Por tal razón, es trascendental que el músico experimente con la boquilla ya que de esta forma determina si su técnica puede adaptarse a las condiciones que establece el nuevo diseño. Si el músico conoce las dimensiones y el perfil del aro que le permiten generar adecuadamente la vibración en los labios, la incertidumbre de selección disminuye mas no garantiza plenamente que al elegir un diseño en particular este sea el mejor para el porque la configuración de la parte interna desarrolla condiciones particulares sobre el flujo de aire, y que con el más mínimo cambio (como se pudo apreciar en la etapa de simulación) la vibración de los labios del músico puede sufrir alteraciones.

La simulación por elemento finito fue una herramienta útil para pronosticar el comportamiento de los prototipos. Aún a pesar de que se consideraron varias condiciones ideales (bajo un planteamiento teórico) se logró distinguir el comportamiento real de los prototipos.

Al principio se comentó que los fabricantes de boquillas clasifican su modelos con base a las características o parámetros dimensionales, de forma y del material que utilizan, y que no hay una normatividad sobre esto. Cada fabricante las ha establecido en función a sus necesidades y métodos de diseño. Estos parámetros de dimensión, (longitud, diámetros y ángulos) y forma (definiendo curvas muy específicas) fueron identificados en el análisis de las patentes, pero se les catalogó de manera distinta con base a la relación que tienen con los factores que se ilustran en las diagramas descriptivos del capítulo 2. Se hizo de esta forma porque se consideró que a través de esta sistematización es posible observar fácilmente las diferencias más importantes de cada modelo desarrollado de boquilla en los tres instrumentos de metal. Mientras que los fabricantes clasifican sus modelos a partir de las medidas de cada de una las partes de la boquilla, en este trabajo se les identifica por medio de la disposición de sus factores intrínsecos donde los parámetros son descripciones detalladas de las condiciones. Por tanto clasificar las boquillas del instrumento de metal con base a sus factores puede ayudar al diseñador a visualizar las opciones que tiene para desarrollar un diseño y analizar aspectos aún no explorados.

Los diagramas de los factores de la boquilla solo son una orientación para establecer las condiciones necesarias en la ejecución del instrumento de metal por lo que no se les debe considerar como formulaciones en donde encontrarán las configuraciones más idóneas para cada uno de los tres instrumentos de metal. Solo permiten que se observen posibles tendencias de diseño con base a los contextos de la técnica de ejecución del músico. Por tanto los diagramas que describen las factores de la boquilla pueden ser utilizados por los fabricantes para clasificar sus modelos, analizar sus virtudes/carencias y visualizar nuevas posibilidades para la concepción de un rediseño.

Tomando como ejemplo el caso de la técnica del músico en la que estrictamente debe tener las mismas condiciones significa que se tienen muy restringidas las dimensiones de cada una de las partes de la boquilla, y obliga a considerar menos opciones de configuración en los perfiles, generando así sonidos muy específicos. Si el diseñador de la boquilla logra establecer una configuración diferente en la parte interna manteniendo las

condiciones de restricción prácticamente intactas (dimensiones similares pero perfiles diferentes) y lograr que se generen significativos resultados acústicos, entonces dicho diseño promete tener una ventaja competitiva de mercado. Pero para llegar a esto, es necesario visualizar la relación del músico y la boquilla desde otros puntos de vista como es el caso de la Usabilidad ya que mediante esta perspectiva se logró discernir los contextos de las técnicas de ejecución del músico.

El músico cuya técnica requiere que las condiciones se preserven es un caso ciertamente difícil ya que las opciones para configurar los factores de forma y dimensión se limitan considerablemente trayendo como resultado una limitada versatilidad acústica, pues como se ha visto, a un determinado perfil de copa y con ciertas dimensiones, se generan resultados acústicos muy particulares. A pesar de ello, esto puede compensarse a través de los factores de acoplamiento y material quienes bajo estas circunstancias serían los factores auxiliares para que el diseño de la boquilla amplíe su versatilidad acústica. Por ejemplo, el material influye principalmente en la calidad tonal de la boquilla ya que no suprime los armónicos característicos en los sonidos (notas) del género orquestal, aunque también sus propiedades pueden ser utilizados para evitar que la boquilla sea un foco de infección. En el caso de factores de acoplamiento se les debe tratar con cautela ya que al configurarlas en el interior de la boquilla de forma arbitraria, las condiciones sobre el fluido pueden cambiar drásticamente. Pero si el diseño está bien orientado, la adición de elementos auxiliares pueden ofrecer grandes ventajas acústicas, ya que las boquillas que están constituidas por un solo cuerpo (1 elemento de acoplamiento) su configuración ofrece un rango determinado de sonidos acústicos. Por ejemplo, los prototipos de cuello ancho tienen la virtud de generar sonidos (notas) con calidades tonales oscuras (armónicos de baja intensidad) que son muy característicos en los géneros de música orquestal y si a esto se le asocia las propiedades del latón como un metal que amplifica estos efectos entonces se tiene una opción viable de diseño para situaciones en las que la composición musical requiere de este tipo de sonidos. Pero si la composición musical requiere que se generen sonidos muy agudos (calidades tonales brillantes) entonces los prototipos de cuello ancho bajo estas circunstancias limitan al músico para generar este tipo de sonidos, por lo tanto su versatilidad musical es limitada. Si el diseño logra establecer que los factores de acoplamiento (adición de elementos extras a la configuración de la parte interna de la boquilla) respeten las condiciones de los contextos de la técnica del músico y aumentar su versatilidad acústica, entonces tendrá ventajas competitivas.

En principio se consideraba que la boquilla era un elemento con pocas complicaciones de diseño, sin embargo, fue completamente diferente. En apariencia muestra ser sencillo pero en su interior encierra diversas variables de dinámica de fluidos, de acústica y de percepción musical que ciertamente han intrigado a quienes han estudiado la música o la acústica. Por ejemplo, el movimiento de los labios aún sigue siendo un tema de discusión, pero en ciertos trabajos de investigación han simulado su comportamiento con aceptables resultados. Bromage es un caso de investigación interesante pues construyó un simulador cuyo elemento importante son labios artificiales. Varios conceptos utilizados en este trabajo provienen de su investigación.

Para estudiar el caso de la boquilla se procuró tomar en cuenta las investigaciones de otras disciplinas que han analizado la relación de los músicos con los instrumentos de música. Algo curioso entre las investigaciones es que las condiciones más ideales de la física y la acústica del sonido (por decirles perfectas) no suelen empatar totalmente con las percepciones del músico y su conceptualización para proyectarlas (transmitir sentimientos a través de los sonidos). Encontrar las condiciones físicas perfectas para que el instrumento emita sonidos con gran expresión, sigue siendo un tema bastante debatido. El caso de estudio de Sanders es un ejemplo claro (The mechanical action of instruments of violín family) pues intentó hallar los parámetros acústicos del modelo "Stradivarius" para determinar las razones por las cuales es considerado uno de los instrumentos que emiten los sonidos más bellos, pero llegó a la conclusión de que la percepción de quienes lo escuchan no empatan plenamente con los resultados cuantitativos del instrumento. Se menciona esto porque sucedió algo similar en este trabajo. Se lograron identificar factores fundamentales en la boquilla del instrumento de metal, y se trabajó con ellos en la simulación del fluido por el método de elemento finito. Pero al obtener los valores y quererlos empatar con los parámetros musicales se observó que difícilmente se les puede encontrar una correlación. Lo que se pudo apreciar es que si al músico de trompeta se le respetan las condiciones con las que desarrolla la vibración de sus labios, la boquilla tienen grandes posibilidades de potenciar sus habilidades, sin embargo la percepción acústica del músico es quien da la última y la más trascendental decisión para elegirla. En realidad el diseño de los instrumentos al igual que muchos productos tienen que ser vistos desde otras áreas para tener un panorama amplio con el fin de que su diseño sea lo más incluyente y atractivo al usuario.

Por ello, los conceptos de la Ergonomía ayudaron a detectar los posibles escenarios (contextos) de los músicos, pero necesariamente se tuvo que conjuntar al Diseño y la Ingeniería para realizar un análisis de los diseños patentados, hacer toma de decisiones para disminuir las opciones de diseño, fabricar los prototipos, realizar la simulación y finalmente hacer el estudio comparativo, pero a todo esto se asociaron los conocimientos prácticos de quienes han ejercido la profesión de la música de forma destacada (Arnold Jacobs, Robert Bobo, Mathias Bertsch). Todas estas disciplinas unidas como un solo conjunto, se pudo entender con claridad las implicaciones que conlleva hacer boquillas para los tres instrumentos de metal.

El conocimiento adquirido durante el desarrollo de este proyecto de investigación sin duda brindado las bases necesarias para establecer un trabajo sistematizado de diseño y fabricación de la boquilla del instrumento de metal, ya que en etapas futuras se busca patentar nuevos diseños con alternativas diferentes. Sin embargo para alcanzar esto fue necesario realizar esta investigación.

Con respecto a los objetivos establecidos en este trabajo fueron alcanzados satisfactoriamente ya que cada uno de ellos fueron pasos importantes para el progreso del trabajo de investigación. Se logró entender la relación existente entre el músico y la boquilla además de correlacionar sus factores con el músico brindado una mejor perspectiva al tema de la música y el diseño de los instrumentos de metal, principalmente de la boquilla.

Con respecto a la hipótesis planteada, en principio se planteó que a partir de conocer la capacidad pulmonar era como se hacía la elección de la boquilla. Además también se consideraba que la fisonomía de los labios era un factor transcendental para esta importante elección. Una vez desarrolladas todas las etapas de la investigación se comprendió que en realidad estos dos factores físicos se conjugan con otras y determinan la relación del músico con la boquilla, incluso con el propio instrumento. En términos estrictos la hipótesis planteada no fue suficiente para contestar la pregunta de investigación. Sin embargo, ayudó a orientar el proyecto de tal modo que sus resultados han aportado para ver nuevas perspectivas en el tema del diseño de la boquilla del instrumento de metal.

Hasta el momento es todo lo que puedo decir sobre este tema.

ANEXO I.

Carta consentimiento encuesta piloto.

Estimado participante:

De antemano agradezco su colaboración para el desarrollo de este proyecto de investigación. Toda información obtenida será con fines académicos y de investigación, por lo que los datos y resultados serán confidenciales, y si lo requiere se les puede proporcionar.

El procedimiento para la realización de las pruebas tiene la siguiente secuencia:

1. La realización de una prueba de espirometría con el fin de entender la dinámica de respiración del músico.
2. Contestar una encuesta con el fin de conocer su opinión sobre el uso de la boquilla y su uso.
3. Entrevista abierta con el de que usted exponga su experiencia en cuanto a tocar el instrumento y uso de la boquilla, la cual será grabada por video.

Si antes de iniciar las pruebas tiene alguna duda sobre el procedimiento, puede comentarlas con completa libertad.

ATTE: Ing. Carlos Alberto Vazquez Jimenez

Nombre y firma del participante.

Carta consentimiento encuesta estudio comparativo.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Posgrado en Diseño Industrial
Proyecto: La relación entre el músico y la boquilla del instrumento de metal.
Análisis objeto-usuario a través del Diseño.

Estimado participante:

De antemano agradezco su colaboración para la realización de este estudio. La información que proporcione será con fines de investigación y los resultados que se obtengan serán confidenciales. Si usted los requiere con gusto se lo facilito.

El procedimiento de este estudio tiene la siguiente secuencia:

1. La realización de una prueba de espirometría con el fin de conocer parámetros físicos en los músicos de instrumento de metal.
2. Hacer una medición antropométrica y tomar una fotografía de la boca.
3. Examinar una serie de 4 prototipos de boquillas para trompeta y posteriormente contestar un cuestionario de evaluación de cada una de ellas.

Si antes de iniciar las pruebas tiene alguna duda sobre el procedimiento, puede comentarlas con total libertad.

ATTE: Ing. Carlos Alberto Vazquez Jimenez

Nombre y firma del participante.

ANEXO 2.

Datos generales de los participantes del estudio piloto.

Número del participante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Edad (años)	72	56	31	24	18	18	27	34	16	21	22	18	18	35
Actividad	L-BST	L-OFCM	Ly E	Ly E	Ly E	E	L-OFUNAM	L-OFUNAM	E	E	E	E	E	Ly E
Genero	H	H	H	H	H	M	H	H	H	M	M	M	M	H
Instrumento	Tu	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tu	Tu	T	Tu	T	T	Tu
Años de tocar el instrumento	40	32	8	7	3	3	16	19	2	6	8	7	6	3
Entrevista	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Observaciones especiales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	D	NA	NA	D

Tabla AI. Datos generales de los participantes del estudio piloto.

Nomenclatura:

Actividad: L (Labora), E (Estudia), BST (Banda Sinfónica de Tlalnepantla), OFCM (Orquesta Filarmónica de la Ciudad de México), OFUNAM (Orquesta Filarmónica de la UNAM)

Género: H (Hombre), M (Mujer).

Instrumento: T(Trompeta), Tr (Trombón), Tuba (Tu).

Observaciones especiales: NA (No aplica), D (Deformación dental).

Valores de los parámetros en las pruebas espirométricas del estudio piloto.

Prueba	Número del participante (número de folio)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
FVEI (litros)	1.68	2.7	3.08	3.39	3.39	2.04	2.81	3	3.34	2.63	2.59	3.5	2.39	2.97	Mínimo
	3.36	4.38	4.76	5.06	5.06	3.29	4.49	4.67	4.45	3.88	3.84		3.64	4.64	Máximo
FVC (litros)	2.29	3.45	3.64	3.97	3.97	2.35	3.23	3.56	4.15	3.02	2.97	2.8	2.75	3.54	Mínimo
	4.3	5.46	5.65	5.98	5.98	3.77	5.24	5.57	5.25	4.43	4.39	4.21	4.17	5.55	Máximo
PEF (litros/seg)	5.19	6.68	7.26	7.71	7.71	4.85	6.88	7.14	6.68	5.68	5.62	5.4	5.35	7.09	Mínimo
	9.18	10.66	11.25	11.96	11.69	7.82	10.86	11.12	11.22	8.64	8.59	8.37	8.31	11.07	Máximo

Tabla A2. Valores mínimos y máximos de los parámetros del volumen máximo espirado en el primer segundo (FVEI), la capacidad vital forzada (FVC) y del flujo espirado máximo respectivamente

\overline{FVC} mínimo: 3.26 litros ; σ : 0.5689

\overline{FVC} máximo: 4.27 litros ; σ : 0.7228

\overline{PEF} mínimo: 6.37 litros/seg; σ : 0.9512

\overline{PEF} máximo: 10.35 litros/seg; σ : 1.4157

$\overline{FEV1}$ mínimo: 2.82 litros ; σ : 0.5141 litros

$\overline{FEV1}$ máximo: 4.27 litros ; σ : 0.5818 litros

Datos generales de los participantes del estudio comparativo.

Participante	M1	M2	M3	M4	M5	M6	E1	E2
Edad (años)	34	51	63	48	56	42	22	18
Actividad	L-OTBA	L-OTBA	L-OTBA	L-OFUNAM	L- OSN	L-OFUNAM	E- CNM	E-CNM
Genero	H	H	H	H	H	H	H	H
Instrumento	T	T	T	T	T	T	T	T
Años de tocar el instrumento	15	40	50	25	40	25	7	6
Entrevista	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Observaciones especiales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Tabla A3. Datos generales de los participantes del estudio comparativo.

Nomenclatura:

Actividad: L (Labora), E (Estudia).

Institución: OTBA (Orquesta del Teatro de Bellas Artes), OFUNAM (Orquesta Filarmónica de la UNAM), OSN (Orquesta Sinfónica Nacional), CNM (Conservatorio Nacional de música).

Género: H (Hombre).

Instrumento: T(Trompeta).

Observaciones especiales: NA (No aplica).

Valores de los parámetros en las pruebas espirométricas del estudio comparativo.

Participante	FVC mínimo	FVC Predeterminado	FVC máximo	PEF mínimo	PEF predeterminado	PEF máximo
M1	3.51	4.51	5.51	7.07	9.06	11.06
M2	2.55	3.55	4.55	5.79	7.78	9.77
M3	2.93	3.93	4.93	6.01	8	9.99
M4	3.28	4.29	5.29	6.64	8.63	10.62
M5	2.93	3.94	4.94	6.13	8.12	10.11
M6	3.93	4.94	5.94	7.41	9.4	11.39
E1	4.09	5.09	6.09	7.83	8.82	11.81
E2	4.37	5.38	6.38	8.14	10.13	12.12

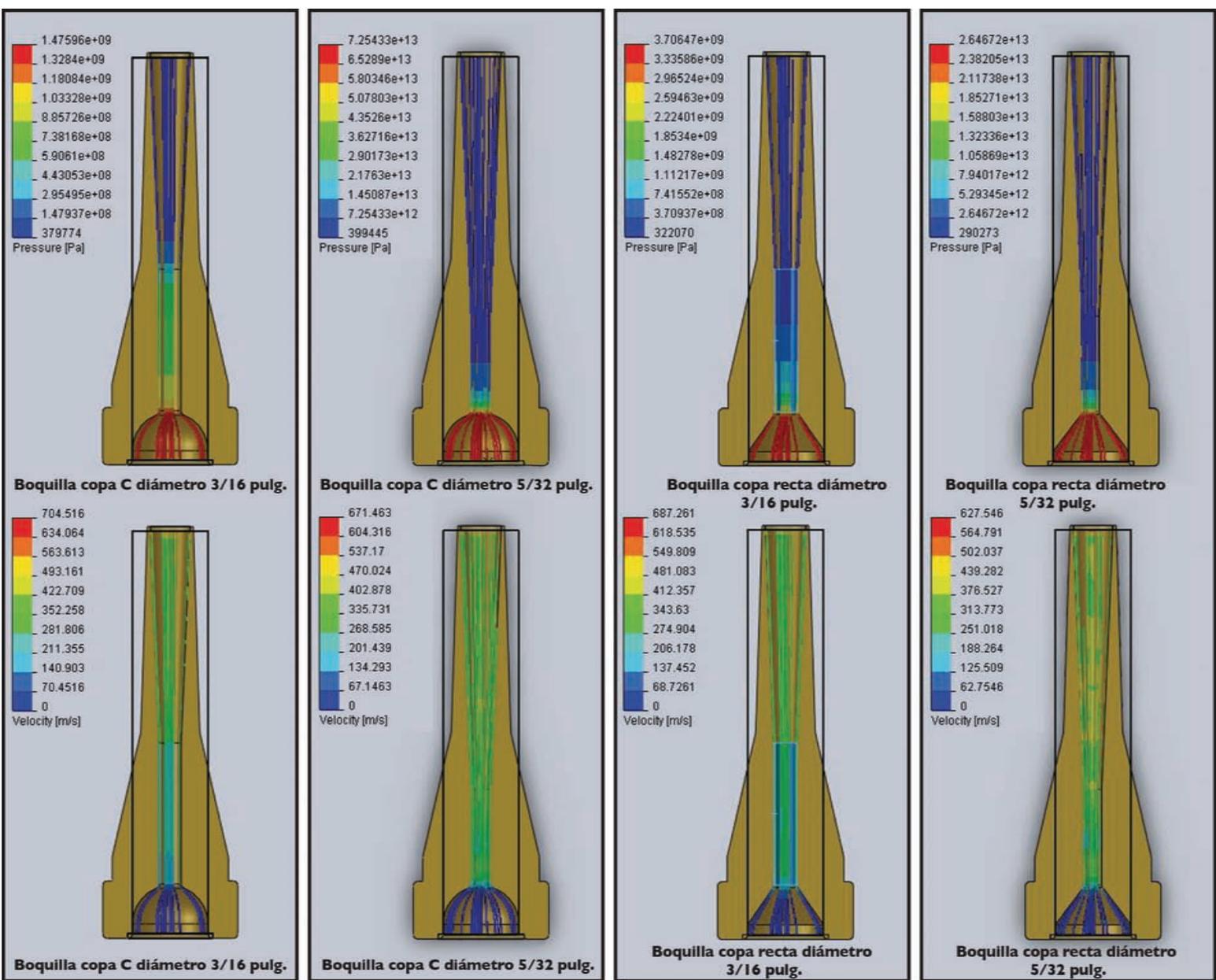
Tabla A4. Valores mínimos y máximos de los parámetros de la capacidad vital forzada (FVC) y del flujo expirado máximo respectivamente (PEF).

Tiempos de ejecución de los participantes del estudio comparativo.

Participante	Boquilla Copa en C Cuello ancho (3/16)		Boquilla Copa en C Cuello delgado (5/32)		Boquilla Copa Recta Cuello ancho (3/16)		Boquilla Copa Recta Cuello delgado (5/32)	
	T1 Do grave	T2 Do agudo	T1 Do grave	T2 Do agudo	T1 Do grave	T2 Do agudo	T1 Do grave	T2 Do agudo
M1	15.01	20.25	14.35	21.36	12.49	17.42	15.55	21.01
M2	14.7	21.08	14.43	25.18	14.31	21.29	14.45	24.04
M3	8.45	9.78	7.85	12.95	9.2	11.64	7.93	10.56
M4	42.38	25.56	57.69	50.16	60.11	55.23	51.45	49.43
M5	26.18	40.89	25.48	36.72	17.06	24.65	19.36	30.73
M6	26.99	28.23	33.41	33.61	33.78	27.08	32.4	33.22
E1	18.11	19.46	15.64	19.46	13.39	15.62	14.16	13.71
E2	24.16	28.46	16.84	18.05	26.37	29.06	24.34	32.09

Tabla A5. Valores de los tiempos de ejecución de las correspondientes notas (do grave, do agudo) de los participantes en los cuatro prototipos.

Valores de presión y velocidad de prototipos obtenidos en la simulación.
Figura A2.1. Valores totales obtenidos en la simulación por elemento finito.



ANEXO 3.

Fundamentos en Ingeniería.

Ecuación fundamental del movimiento de los labios.

Esta expresión propuesta por Bromage (2007) describe los labios como una masa sujeta a un resorte amortiguado. Para simplificar variables asume que los dos labios se comportan simétricamente y están separados por una abertura rectangular definida por la ecuación 1.1, donde su altura “h” (separación de los labios) y lado “y” están en función del tiempo “t”.

$$h(t) = 2y(t) \quad (1.1)$$

Aplicando la ecuación 1.1 en la ecuación fundamental del movimiento armónico simple Bromage obtiene la ecuación que describe el movimiento de los labios.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} + \frac{\omega_{lip}}{Q_{lip}} \frac{\partial h}{\partial t} + \omega_{lip}^2 h = \frac{Fy}{m_{ef}} \quad (1.2)$$

m_{lip} : masa del labio.

Q_{lip} : frecuencia de la resonancia (angular) natural del labio.

$\frac{1}{m_{ef}}$: Constante.

En este caso la fuerza que se ejerce sobre los labios se puede dividir en una fuerza horizontal “Fz” que es por la diferencia de presión a través de los labios y una fuerza vertical “Fy” debido a la presión del canal del labio (Ver figura 2.14 del capítulo 2).

Ecuación del Resonador Helmholtz. “Principio de la boquilla del instrumento musical”

Se trata sobre la descripción de una cavidad ventilada por un tubo, donde el cuadrado de la frecuencia de resonancia “fres” es proporcional a la sección transversal del área “S” del tubo e inversamente proporcional al volumen de la cavidad “V” y la longitud “L” también del tubo (Ecuación 1.3).

$$f_{res} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL}} \quad (1.3)$$

BIBLIOGRAFÍA.

- Anglmayer Paul.** “Simulation of Brass Instruments Computer Model Foundations” <http://iwk.mdw.ac.at/Forschung/english/simulation/simulation.htm>
- Anglmayer Paul.** “Examination of the Influence of Different Mouthpieces Forms on the Resonance Behavior of Trumpets” <http://iwk.mdw.ac.at/mitarbeiter/english/pa/pae.htm>
- Aranguren C. Jon, Callén B. Maite.** “Guía de Práctica Clínica sobre Asma.” Osakidetza / Servicio Vasco de Salud. Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- Baines Anthony.** (1993). “Brass Instruments. Their History and Development.” (4ed). New York. Dover.
- Baines Anthony** (1976). “Los instrumentos de Música desde 1794 hasta Nuestros Días.” (pp. 1-12) La Música, los Hombres, los Instrumentos, las Obras. (4ed) Barcelona. España. Editorial Planeta.
- Barone Sandro, Curcio Alessandro.** (2004). “A Computer-Aided Design System for Posture Analyses of Motorcycles.” Journal of Engineering Design. Vol 15. No 6 581-595.
- Benade Arthur.** (1960) “Horns, Strings, and Harmony.” 1ed. New York. Dover.
- Bertsch Matthias, Mayer Alexander.** (2005). “A New Transducer for Measuring the Trumpet Mouthpiece Force.” Proceedings of 2nd Congress of Alps-Adria Acoustic Association and 1st Congress of Acoustical Society of Croatia. Vienna. Austria. Institute for Musical Acoustic.
- Bertsch Matthias.** “Variabilities in Trumpet Sounds.” Vienna. Austria. IWK - University for Music.
- Bertsch Matthias.** “Visualization Of Trumpet Players: Warm Up By Infrared Thermography.” Vienna. Austria. University of Music.
- Bertsch Matthias, Waldherr Karin.** (2005). “Reliability of Trumpet Players Judgments During Instrument Blind-Tests.” 1er Congress of Acoustical Society of Croatia. University for Music Vienna, Institute for Music Acoustics.
- Bromage Seona.** (2007). “Visualization of the Lip Motion of Brass Instrument Players, and Investigations of an Artificial Mouth as a Tool for Comparative Studies of Instruments.” Doctoral Thesis. Scotland. University of Edinburgh.
- Carrillo D. Gustavo, Cataño Fernando.** (1993). “Temas de Cultura Musical.” México. Ed. Trillas.
- Carse Adams.** “Musical Wind Instruments.” (1939) New York. Dover Publications Inc. Mineola.
- Comas Juan.** “Manual de Antropología Física.” (1983). Instituto de Investigaciones Antropológicas. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dekker Sydner W. A., Nyce James M.** “How Can Ergonomics Influence Design? Moving from Research Findings to Future Systems.” Ergonomics. The International Journal of Research and Practice in Human Factors and Ergonomics. Vol. 47, No 15, Pages 1624-1639.
- Diagram Group.** (2009). “Como Conocer los Instrumentos de Orquesta.” España. Editorial EDAF S.L.
- French M.** (1999). “Conceptual Design for Engineers.” (3ed). England. Springer.
- Glegg G.L.** (1972) “The Selection of Design.” England. Cambridge University Press.

- Gaultier PA.** “*May Johnny or Janie Play the Clarinet.*” *The Eastman Study: a Report on the Orthodontic evaluations of Colleges-level and Professional Musicians who Play Brass and Woodwind Instruments.* Am J Orthod 1979; 76: 260-276.
- Frederiksen Brian.** (1996). “*Arnold Jacobs: Song and Wing.*” (1ed). USA. Windsong Press Limited.
- Fletcher, N.H., Rossing, T.D.** (1991). “*The Physics of Musical Instruments.*” New York. Ed. London Springer.
- Forrester Jay W.** (1968). “*Principles of Systems.*” Text and Workbook. (Chapter 1 through 10. Second Preliminary Edition). Cambridge, Massachusetts. USA. Wright Allen Press.
- Flores Cecilia.** (2001). “*Ergonomía para el Diseño.*” (1ed). México. Editorial Designio.
- Formosa Greg.** “*Tonal Analysis of Different Materials for Trumpet Mouthpieces.*” PHIYS 199-POM Project Write-up
- Hindemith Paul.** “*Adiestramiento Elemental para Músicos.*” Buenos Aires Argentina. Ricordi Americana S.A.
- Han Sung H., Yun Myung Hwan, Kim Kwang-Jae, Kwahl Jiyoung.** (2000). “*Evaluation of Product Usability: Development and Validation of Usability Dimensions and Design Elements Based on Empirical Models.*” International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000) 477-488.
- Hendrix Darren A.** (2007). “*Development of Bore Reconstruction Techniques Applied to the Study of Brass Wind Instruments.*” Doctoral Thesis. Scotland. University of Edinburgh.
- Hernández Z. Heber.** (1989). “*Teoría y Práctica de la Armonía.*” Libro I. Ediciones las Américas A. C.
- Human Factors and Ergonomics Society 2004.** Directory and Yearbook (Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society).
- International Ergonomics Association 2003.** IEA Triennial Report 2000-2003 (Santa Monica, CA: IEA Press).
- Jordan Patrick W.** (1998). “*Human Factors for Pleasure in Product Use.*” Applied Ergonomics Vol. 29. No 1 pp 25-33.
- Karwowski W.** (2005). “*Ergonomics and Human Factors: the Paradigms for Science, Engineering, Design, Technology and Management of Human-Compatible Systems.*” Invited Plenary Paper. Center for industrial Ergonomics. University of Louisville, KY, USA. Ergonomics Vol. 48 No 5.
- Kausel Wilfried.** (2001). “*Optimization of Brasswind Instruments and its Application in Bore Reconstruction.*” Journal of New Music Research. University of Music and Performing Arts Vienna. Austria.
- Kausel Wilfried.** (2003). “*Studying Lip Oscillators Of Brass Instruments: A Distributed Two Dimensional Lip Model And Its Electrical Equivalent Circuit.*” Proceeding of the Stockholm Music Acoustics Conference, SMAC 03. Stockholm, Sweden. Department of Musical Acoustics. University of Music. Vienna. Austria.
- McCormick Ernest J.** (1964). “*Human Factors Engineering.*” (2ed of Human Engineering). London. England. Mc Graw Hill Book Company.
- Mondelo Pedro R.** (2001). “*Ergonomía 3. Diseño de Puestos de Trabajo.*” (2ed). México. Alfa-Omega.

- Myers Arnold.** (1998). *“Characterization and Taxonomy of Historic Brass Musical Instruments from an Acoustical Standpoint”* Doctoral Thesis. Scotland. University of Edinburgh.
- Ministerio de Cultura.** (2001). *“Guía de Iniciación a la Trompeta”* Dirección de Artes, Área de Música Plan Nacional de Música para la Convivencia. República de Colombia. Programa Nacional de Bandas.
- Nelson Bruce.** (2006). *“Also Approach Arnold Jacobs. A Developmental Guide for Brass Wind Musicians.”* USA, Polynmia Press.
- Petiot Jean-François, Poirson Emilie.** (2003). *“Differentiation Of Trumpets’ Sounds: Experimental Study With An Adaptable Depth Mouthpiece.”* Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, August 6-9 (SMAC 03).
- Petiot Jean-François, Causse René.** (2007). *“Perceptual Differences Between Cellos: A Subjective/Objective Study.”* Barcelona. Spain. ISMA.
- Kroemer Karl, Henrike Kroemer, Katrin Kroemer-Elbert.** (1994). *“Ergonomics; How to Design for Easy & Efficiency”* New Jersey USA. Prentice Hall.
- Plitnik George R., Bruce A. Lawson** (1999). *“An Investigation of Correlation Between Geometry, Acoustic Variables, and Psychoacoustic Parameters for French Horn Mouthpieces”* Journal of Acoustical Society of America. Vol 106. No 2.
- Poirson Emilie, Petiot Jean-François, Gilbert Joël.** (2006). *“Integration Of User-Perceptions In The Design Process: Application To Musical Instrument Optimization.”* Proposition to Journal of Mechanical Design.
- Quesenbery W.** (2003). *“Dimension of Usability.”* Chapter 4. Content and Complexity: Information Design in Technical Communication. Albers, M. and Mazon B. Editors, Eribaum.
- Quesenbery W.** (2003). *“Dimensions of Usability: Opening the Conversation, Driving the Process.”* Proceeding of the UPA Conference. June 23-27.
- Randita Diany Yordian, Sayed Mohamad Ridhwan, Puput Nurani.** (2010). *“Unjury to the Oral Cavity Experienced by Brass Wind Instrument Players of Bandung Marching Band Unit.”* Asia Pacific Dental Students Journal. Volume 1. No 2.
- Roederer Jaun G.** (1997). *“Acústica y Psicoacústica de la Música.”* Buenos Aires Argentina. Recordi Americana S.A.
- Roederer Jaun G.** (1979). *“Human Brain Functions and the Foundations of Science.”* Endeavour 3:92.
- Sachs Curt.** (1940). *“La Historia Universal de los Instrumentos Musicales.”* W.W. Norton & Company.
- Sanders F.A.** (1946). *“The Mechanical Action of Instruments of the Violin Family”* J. Acoust Soc. Am. 17:169.
- Santana D. Humberto, Velayos José Luis.** (1998). *“Anatomía de la Cabeza con Enfoque Odontostomatológico.”* (3 ed). Buenos Aires Argentina. Editorial Médica Panamericana.
- Seitz T., Balzulat J., Bubbs H.** (2000). *“Anthropometry and measurement of posture and Motion.”* International Journal of Industrial Ergonomics, 25, 447-453.
- Sung H. Han, Myung Hwan Yun, Kwang-Jae Kim, Jiyoung Kwahk.** *“Evaluation of Product Usability: Development and Validation of Usability Dimensions and Design Elements Based on Empirical Models.”* International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000) 477-488.

Sellgren U., Pettersson Johan. “*Modeling of Conformal Mechanical Interfaces in Technical Systems*” Department of Machine Design, Royal Institute of Technology (KTH) S-100 44.

Timmons M. J., Mackinley M. P. (1998). “*Human Anatomy: Laboratory Guide and Dissection Manual*” New Jersey USA. Prentice Hall.

Wickens C. D., Gordon Sallie E., Liu Yili. (1998). “*An Introduction to Human Factors Engineering.*” New York. Longman.

Yeo DKL, Pham TP, Baker J., Porter SAT. (2002). “*Specific Orofacial Problems Experienced by Musician.*” Australian Dental Journal. 2002; 47:1.

Patentes

Armento Anthony F. “*High Tone Intensifier for Brass Musical Instruments.*” United States Patent. Patent Number: 3964363. Fairless Hill Pa. June 22, 1976.

Cassinelli A.S. “*Brass Instrument Mouthpiece.*” United States Patent Office. Patent Number: 2917964. Serial No. 831988. Millford Mass. August 6, 1959.

Cauffman Jonh W. “*Cup Mouthpieces for Musical Instruments.*” United States Patent Office. Patent Number: 2594869. Serial No. 108087. Elkhart Ind. April 29, 1952.

Dobie Joseph W. “*Mouthpiece for Musical Brass Wind Instruments and the Like.*” United States Patent Office. Patent Number: 2302492. Serial No. 421802. Meadville Pa. November 17, 1942.

Hackl Franz. “*Mouthpiece System for a Trumpet or other Brass Instrument.*” United States Patents. Patent Number: 5847300. Brooklyn New York. December 8, 1998.

Hamanaga Shingi. “*Mouthpieces of Brass Instrument.*” United States Patent Application Publication. Pub. No: US 2010/00119937 A1. Japan. January 21, 2010.

Harrison David W. “*Brass-Wind Mouthpiece.*” United States Patent Application Publication. Pub. Number: US 2010/0147135 A1. Vancouver Canada. June 17, 2010.

Hartman Scott Alvin. “*Tunable Mouthpiece for a Brass Instrument.*” United States Patent Application Publication. Pub. No: 2011/0126691 A1. Stafford Springs CT (US). June 2, 2011.

Hashimoto Ryuji. “*Musical Instruments Playing Actuator, Play, Assisting Mouthpiece, Brass Instrument, Automatic Playing Apparatus, and Play Assisting Apparatus.*” United States Patent Application Publication. Pub. No: UD 2008/0295669 A1. Hamamatsu-shi (JP). December 4, 2008.

Hilliard Greg. “*Mouthpiece.*” United States Patent. Patent Number: US D467608 S. December 24, 2002.

Hulsaver Aaron S. “*Mouthpieces for all Brass Musical Instrument.*” United States Patent Office. Patent Number 2232608. Serial No. 358329. Brooklyn New York. February 18, 1941.

Ibañez Vicente H. “*Enhancements Introduced into Brass Instruments and Method for the Manufacturing of Parts for Such Instruments.*” United States Patents. Patent Number: 6008443. Mislata Spain. December, 28, 1999.

John David, Eth John. “*Brass-Wind Musical Instrument Mouthpiece.*” Patent Number: US 7560631 B1. AZ (US). July 14, 2009.

Jones Paul L. “*Mouthpiece for Brass Wind Instruments.*” United States Patent Office. Patent Number: 2667803. Serial No. 158942. Green Township Summit County Ohio. February 2, 1954.

Kelly James. “*Colored Polymer Musical Instrument Mouthpiece.*” United States Patent. Patent Number: US 7179977 B1. WI (US). February 20, 2007.

King James T. “*Mouthpiece for Brass Wind Instruments.*” United States Patent Office. Patent Number: 1410322. Serial No. 211354. Toronto Ontario Canada. March 21, 1922.

Kubala John M. “*Combined Tone Intensifier and Mouthpiece for Brass Musical Instruments.*” United States Patent. Patent Number: Des. 358161. WI (US). May 29, 1995.

Lunow Arthur A. “*Cup Mouthpiece for Brass Instruments.*” United States Patent Office. Patent Number: 2104388. Serial No. 83463. Silver Lake Minn. January 4, 1938.

Lynch John H. “*Brass-Wind Musical Instrument Mouthpiece with Radially Asymmetric Lip Restrictor.*” United States Patent. Patent Number: 5353673. Vermillion Ohio. October 11, 1994.

Marcinkiewicz Joseph W. “*Brass-Wind Musical Instrument Mouthpiece.*” United States Patents. Patent Number: 4658697. Beavercreck Oregon. October 19, 1999.

Marosevic Igor. “*Mouthpiece of a Trumpet or Similar Musical Instrument.*” United States Patents. Patent Number: US 7329809 B2. Radovaljica (SI). February 12, 2008.

Parduba John. “*Mouthpiece for Brass Instruments.*” United States Patent Office. United States Patent Office. Patent Number: 2018738. Serial No. 702154 New York New York. October 29, 1935.

Parkos Gerald R. “*Flexible Mouthpiece for all Brass Musical Instrument.*” United States Patent Application Publication. Pub. No: UD 2002/0066355 A1. Sacramento CA (US). June 6, 2002.

Pastor Herman. “*Brass Instrument Mouthpiece.*” United States Patents. Patent Number: 5218150. Toms River N.J. June 8, 1993.

Reeves Sims Robert. “*Cup-Mouthpiece with Divisible Shank*” United States Patent. Patent Number: 3808935. Hollywood CA. May 7, 1974.

Wean Ellis. “*Training Mouthpiece for Brass Instruments.*” United States Patent. Patent Number: 4658697. Montreal Quebec Canada. April 21, 1987.

Sanders Neill J. “*Mouthpiece for Musical Instrument.*” United States Patent. Patent Number: 3728929. London England. April 24, 1973.

Seisai Ambo. “*Mouthpiece Receiver For Brass Musical Instruments.*” Patent Number: 3474698. Serial No. 703745. Japan. October 28, 1969.

Shepley Joshep J. “*Mouthpiece for Brass-Wind Instruments.*” United States Patent. Patent Number 4395933. Yonkers New York. August 2, 1939.

Tichenor Lawrence B. “*Mouthpiece for Musical Instruments.*” United States Patents. Patent Number: 3611860. Alexandria Va. October 12, 1971.

Zottola Frank B. “*Mouthpiece for Musical Instrument.*” United States Patent Office. Patent Number: 2798402. Serial No. 546917. Port Chester New York. July 9, 1957.

Zwolak Walter. “*Mouthpiece for Brass Musical Instruments.*” United States Patent Office. Patent Number: 3370500. Serial No. 479380. Mount Vernon New York. February 27, 1968.