

**DISEÑO DE UN INSTRUMENTO MUSICAL DE VIENTO A PARTIR  
DE LA GAITA HEMBRA DE LA COSTA ATLÁNTICA COLOMBIANA**

**DANIEL MESA TRUJILLO  
ANA MARÍA RINCÓN GÓMEZ**

**PROYECTO DE GRADO**

**Presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero de Diseño de Producto**

**Asesor:  
LUIS JAIME ÁNGEL M.  
Ingeniero de Sonido  
Georgia State University**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO  
MEDELLÍN  
2007**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado:

---

Firma del jurado:

---

Firma del jurado:

---

*“El sonido es un soplo que pasa a través de los oídos y es transmitido por medio del aire, que se encuentra en el interior del cerebro y pasa directo a la sangre y al alma”.<sup>1</sup>*

*Platón*

**Dedicado:**  
*A nuestras familias,  
a los protagonistas de la tradición cultural y musical Colombiana,  
a los que creen en el Diseño Colombiano.*

---

<sup>1</sup> Cita textual empleada en la charla: Introducción a la Acústica por Pedro Valleta y Francisco Ruffa. Presentación del pregrado: Ingeniería de Sonido. Universidad San Buenaventura. Medellín, Marzo 15 de 2006

# AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen a aquellos que con sus conocimientos, experiencia y pedagogía, fueron esenciales para hacer realidad este proyecto:

**Luís Jaime Ángel M.** Ingeniero de sonido asesor del proyecto de grado y orientador de la ciencia del sonido aplicada a este proyecto de diseño.

**Aléxis Cárcamo.** Gaitero profesional experto en música folklórica Colombiana. Incansable colaborador en la experimentación de este trabajo.

**Juan Fernando Hincapié.** Experto en etnomusicología y luthier. Generoso con sus inmensos conocimientos en el taller musical.

**Juan Daniel Hernández.** Profesor de música de la Universidad Javeriana. Su investigación sobre la gaita hembra Colombiana fue motivadora de este proyecto.

**César Pérez.** Instructor del Centro Nacional de la Madera (SENA). Imprescindible su sello de calidad como artista de la madera.

**Jorge Eliécer Guzmán.** Ingeniero forestal del Centro Nacional de la Madera (SENA). Permanente orientador en la búsqueda de materiales sustitutivos.

**Elsa Vásquez.** Directora del departamento de Desarrollo artístico de la Universidad Eafit. Apoyo y confianza para el nacimiento del proyecto.

**Rubén Valencia.** Luthier experto en instrumentos de viento. Consejero práctico en los detalles del prototipo.

# CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
ALCANCE Y PRODUCTOS	6
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	7
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	9
1.2.1 Planeación del producto	10
1.2.2 Desarrollo del concepto acústico	11
1.2.3 Desarrollo del concepto de diseño	11
1.2.4 Diseño de detalle	12
1.2.5 Elaboración del prototipo	12
1.2.6 Pruebas y refinamiento	12
1.2.7 Optimización y reingeniería	12
1.2.8 Documentación	12
1.3. ESTADO DEL ARTE	13
1.3.1 Los instrumentos musicales indígenas	13
1.3.2 La gaita: origen y significado	14
1.3.3 Evolución del instrumento	15
1.3.4 Nuevos procedimientos	16
2. PLANEACIÓN DEL PRODUCTO	18
2.1 INVESTIGACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL USUARIO	18
2.1.1 Objetivo de la investigación	18
2.1.2 Metodología de encuestas	18
2.1.3 Análisis de los resultados de las encuestas	18
2.2. ESTUDIOS DE ACÚSTICA Y DISEÑO DEL REFERENTE	19
2.2.1 Generalidades del timbre y la afinación	19
2.2.2 Partes del instrumento	20
2.2.2.1 Tubo sonoro	20
2.2.2.2 Agujeros tonales	21

2.2.2.3 Cabeza de resonancia	23
2.3 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	24
2.4 DISEÑO CONCEPTUAL	30
3. DESARROLLO PARA EL CONCEPTO ACÚSTICO	32
3.1 DEFINICIÓN	32
3.2 METODOLOGÍA	32
3.3 PRUEBA 1: PRUEBA DE AFINACIÓN A GAITAS TRADICIONALES	33
3.4 PRUEBA 2: ANÁLISIS DE MODELOS BLANDOS NO FUNCIONALES	37
3.5 PRUEBA 3: PRUEBA DE SONIDO A 3 MODELOS FUNCIONALES	41
3.6 RECOMENDACIONES FINALES DEL CONCEPTO ACÚSTICO	44
4. DESARROLLO DEL CONCEPTO DE DISEÑO	45
4.1 DEFINICIÓN	45
4.2 METODOLOGÍA	45
4.3 ANÁLISIS DE ERGONOMÍA	46
4.3.1 Boards de ergonomía	47
4.3.2 Ergonomía para la interpretación de la gaita	48
4.3.2.1 Estudios de ergonomía Biométrica	48
4.3.2.2 Estudios de ergonomía correctiva de la gaita referente	49
4.3.2.3 Estudios de ergonomía Preventiva	51
4.3.3 Principios básicos de diseño para la ergonomía	52
4.4 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE DISEÑO	53
4.4.1 Board de diseño de la gaita referente	53
4.4.2 Generación del concepto estético	53
4.4.3 Selección de conceptos de diseño	55
4.4.3.1 Tubos sonoros	55
4.4.3.2 Sistema de ensamble de tubos y cabeza	56
4.4.3.3 Mecanismo posicionador de la boquilla	57
4.4.3.4 Sistema para graduar y asegurar la boquilla	58
4.4.3.5 Dispositivo para evitar la salida del aire	59
4.4.3.6 Movimiento lineal de la boquilla	60
4.4.4 Evaluación de conceptos de diseño	61
4.4.5 Generación y evaluación de alternativas	62
4.4.5.1 Alternativa 1	63
4.4.5.2 Alternativa 2	64

4.4.6 Recomendaciones finales del desarrollo de diseño	65
5. DISEÑO DE DETALLE	66
5.1 DEFINICIÓN	66
5.2 METODOLOGÍA	66
5.3 MECANISMOS	66
5.4 MODELACIONES Y EXPLICACIÓN DE LAS PARTES	67
5.4.1 Diseño formal del producto	67
5.4.2 Partes del producto	68
5.4.3 Detalles de diseño	68
5.5 DISEÑO PARA ENSAMBLE	70
5.5.1 Materiales para el ensamble	70
5.5.2 Detalles de las partes de ensamble	71
5.6 PLANOS PARA LA FABRICACIÓN	73
6. DISEÑO PARA LA PRODUCCIÓN	74
6.1 DEFINICIÓN	74
6.2 METODOLOGÍA	74
6.3 ANÁLISIS DE LA FABRICACIÓN ARTESANAL	74
6.4 INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES ACÚSTICAS DE DIFERENTES MATERIALES	75
6.4.1 Propiedades acústicas de la madera	75
6.4.2 Evaluación y pre-selección del material	75
6.5 MATERIALES SELECCIONADOS PARA EL PROTOTIPO	77
6.5.1 Madera nazareno	77
6.5.2 Resina epóxica	78
6.5.3 Corcho	78
6.5.4 Acero inoxidable	79
6.5.5 Lubricante para corcho en instrumentos musicales	80
6.6 PROCESOS DE MANUFACTURA	80
6.7 COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN	81
7. PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL PROTOTIPO	83
7.1 DEFINICIÓN	83
7.2 METODOLOGÍA	83
7.3 PRUEBA 4: PRUEBA DE ERGONOMÍA Y POSTURA (OWAS)	83
7.4 PRUEBA 5: PRUEBA DE ESFUERZO	88

7.5 PRUEBA 6: PRUEBA DE MEDICIÓN DE DECIBELES	90
7.6 PRUEBA 7: PRUEBA DE AFINACIÓN DE LOS PROTOTIPOS	93
7.7 PRUEBA 8: PRUEBA COMPARATIVA DE TIMBRE AL PROTOTIPO	97
8. INSTRUCTIVOS PARA EL USUARIO	104
8.1 INSTRUCTIVO DE ENSAMBLE	104
8.2 INSTRUCTIVO DE INTERPRETACIÓN	105
8.3 POSICIONES PARA GAITA EN DO	106
8.4 POSICIONES PARA GAITA EN SOL	107
9. CONCLUSIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	112
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	115

# LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Nomenclatura de las notas musicales	0
Tabla 2. Necesidades del producto	25
Tabla 3. Requerimientos del producto	26
Tabla 4. Matriz de necesidades y requerimientos del producto	27
Tabla 5. Promedios de frecuencias y notas aproximadas	35
Tabla 6. Registros de la gaita de patrón más estable	36
Tabla 7. Registros de las notas de las gaitas seleccionadas	42
Tabla 8. Matriz de puntuación ponderada de concepto	61-62
Tabla 9. Maderas pre-seleccionadas para fabricar la gaita	77
Tabla 10. Costos netos	81-82
Tabla 11. Pesos de los prototipos evaluados	85
Tabla 12. Mediciones de presión sanguínea	89
Tabla 13. Recopilación de datos en decibeles	92
Tabla 14. Registros de las notas de las gaitas en SOL y en DO	94

# LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema metodológico del proyecto	9
Figura 2. Pava congona y turpial	14
Figura 3. Gaitas tradicionales de Colombia	15
Figura 4. Gaitas macho (superior) y hembra (inferior)	16
Figura 5. Cardón	16
Figura 6. Pobladores de La Guajira y los cactus	17
Figura 7. Tonos y Registros de la gaita hembra. Presencia de la frecuencia fundamental	22
Figura 8. Sección de Cabeza de la gaita y corriente de aire	24
Figura 9. Caja negra (Gaita Hembra autóctona)	30
Figura 10. Estructura funcional (Gaita Hembra autóctona)	30
Figura 11. Estructura funcional (Gaita Hembra rediseño)	31
Figura 12. Gaitas tradicionales analizadas en la prueba	33
Figura 13. Consola de grabación y software utilizado	34
Figura 14. Fabricación de cabezas de madera	37
Figura 15. Fabricación de tubos sonoros	38

Figura 16. Gaitas delgadas (Diámetro 26mm ó 3/4")	39
Figura 17. Gaitas gruesas (Diámetro 21mm ó 1/2")	39
Figura 18. Interpretación de 3 modelos funcionales	41
Figura 19. Gaita #1 (SOL aguda), Gaita #2 (DO) y Gaita #3 (SOL# tradicional)	42
Figura 20. Módulo de afinación del software <i>Digital Performer</i>	43
Figura 21. Board de posturas y digitación de gaita referente	47
Figura 22. Board de posturas en otros instrumentos de viento	47
Figura 23. Board de digitación de otros instrumentos de viento	48
Figura 24. Posturas de interpretación de la gaita referente	49
Figura 25. Movimientos de interpretación de la gaita referente	50
Figura 26. Board de la cabeza de la gaita referente	53
Figura 27. Aplicación de teoría de la forma	54
Figura 28. Bocetos y atributos del diseño de los tubos	55
Figura 29. Bocetos y atributos del diseño de ensambles	56
Figura 30. Bocetos y atributos del diseño para la boquilla	57
Figura 31. Bocetos y atributos del diseño (graduar la boquilla)	58

<b>Figura 32.</b> Bocetos y atributos del diseño de sellamiento	59
<b>Figura 33.</b> Bocetos y atributos del diseño de posicionamiento de la boquilla	60
<b>Figura 34.</b> Boceto de la alternativa 1, combinación de conceptos y método de Harris	63
<b>Figura 35.</b> Boceto de la alternativa 2, combinación de conceptos y método de Harris	64
<b>Figura 36.</b> Llaves para flauta travesa y para clarinete.	67
<b>Figura 37.</b> Vistas renderizadas del diseño de la cabeza.	67
<b>Figura 38.</b> Vistas en explosión y lista de partes de las gaitas en SOL y DO.	68
<b>Figura 39.</b> Detalles de la cabeza y el mecanismo de llaves.	69
<b>Figura 40.</b> Materiales sugeridos para el ensamble de las partes	70
<b>Figura 41.</b> Ajuste deslizante tipo ANSI RC3	71
<b>Figura 42.</b> Ajuste tipo ANSI RC1	71
<b>Figura 43.</b> Elementos de ensamble de la cabeza de resonancia	72
<b>Figura 44.</b> Ensamble de la boquilla y la cabeza de resonancia	73
<b>Figura 45.</b> Ensamble del mecanismo de llaves	73
<b>Figura 46.</b> Madera nazareno	77

<b>Figura 47.</b> Textura de corcho	79
<b>Figura 48.</b> Tubos de acero inoxidable	79
<b>Figura 49.</b> Lubricante para corcho	80
<b>Figura 50.</b> Posturas en gaita en DO	84
<b>Figura 51.</b> Posturas en gaita en SOL	84
<b>Figura 52.</b> Medición de ángulos	85
<b>Figura 53.</b> Ángulos tomados en gaita en DO	86
<b>Figura 54.</b> Ángulos tomados en gaita en SOL	86
<b>Figura 55.</b> Tomas de presión después de interpretar cada gaita	88
<b>Figura 56.</b> Sonómetro y software	91
<b>Figura 57.</b> Distancias de las diferentes mediciones de decibeles	91
<b>Figura 58.</b> Implementos para la prueba de afinación	93
<b>Figura 59.</b> Envolvente de un sonido (Digital Performer)	98
<b>Figura 60.</b> Envoltentes comparativas para cinco notas de la gaita tradicional y la nueva	99
<b>Figura 61.</b> Envolvente comparativa para una nota	100
<b>Figura 62.</b> Gráfico comparativo entre ondas senoidales	101
<b>Figura 63.</b> Recomendaciones para ensamblar el instrumento	104

<b>Figura 64.</b> Instrucciones para la postura y digitación	105
<b>Figura 65.</b> Tablaturas para la gaita en DO	106
<b>Figura 66.</b> Tablaturas para la gaita en SOL	107

# LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Métodos alternativos de fabricación artesanal	1
Anexo B. Formato de encuestas	3
Anexo C. Extractos de las respuestas originales	5
Anexo D. Principios generales de Producción del sonido	10
Anexo E. Frecuencias ideales y reales	12
Anexo F. Matriz de portadores de función	16
Anexo G. Características acústicas del estudio de grabación	18
Anexo H. Reporte complementario de la prueba 1	19
Anexo I. Reporte complementario de la prueba 2	32
Anexo J. Reporte complementario de la prueba 3	39
Anexo K. Cálculos de frecuencias exactas	41
Anexo L. Biomecánica y tipos de movimientos	43
Anexo M. Gastos energéticos en la interpretación de la gaita	45
Anexo N. Análisis de ergonomía en otros instrumentos de viento	47
Anexo O. Posibles riesgos de salud en la interpretación	49

<b>Anexo P. Criterios de evaluación para el Método Harris</b>	<b>52</b>
<b>Anexo Q. Planos para la fabricación</b>	<b>55</b>
<b>Anexo R. Proceso de Fabricación Artesanal</b>	<b>63</b>
<b>Anexo S. Estudio comparativo entre diferentes Maderas</b>	<b>67</b>
<b>Anexo T. Carta de procesos de la cabeza de resonancia</b>	<b>71</b>
<b>Anexo U. Carta de procesos de los tubos sonoros</b>	<b>74</b>
<b>Anexo V. Carta de procesos de la boquilla</b>	<b>82</b>

# GLOSARIO

**ACÚSTICA:** parte de la física que estudia el origen, naturaleza, propagación y penetración de los fenómenos sonoros<sup>2</sup>.

**AFINACIÓN:** frecuencia de una nota. Consonancia entre dos o más notas.

**ARMONÍA:** normas que ordenan y regulan las relaciones entre las partes de una composición y las articulan entre sí en función de leyes basadas en unos principios acústicos. Es la combinación o ejecución de varias notas al mismo tiempo para producir acordes y progresiones de estos logrando así un efecto placentero<sup>3</sup>. Sinónimo de "sistema" o "estructura".

**ARMÓNICOS:** componentes de un sonido que se definen como las frecuencias secundarias que acompañan a una frecuencia fundamental o generadora. Sonidos simples (producidos por una única onda sinusoidal) que componen el sonido complejo. Las diferencias de timbre de los distintos sonidos, provienen de la presencia de armónicos y de su intensidad relativa.

**ALTURA:** cualidad de la sensación sonora cuando un sonido es más agudo (alto) o más grave (bajo) que otro. Determina su posición en la escala. Depende de la frecuencia y la amplitud del movimiento vibratorio. Los sonidos agudos corresponden a los de frecuencia elevada y los graves a los de baja frecuencia.

---

<sup>2</sup> ORQUESTA SINFÓNICA DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Glosario de términos musicales. <[www.orquestasinfonica.ipn.mx/glosario.html](http://www.orquestasinfonica.ipn.mx/glosario.html)>

<sup>3</sup> ENTREVISTA con Luis Jaime Ángel, Ingeniero de sonido. Georgia State University. 7 de Junio de 2006

**DECIBEL:** unidad para medir la intensidad (volumen) de un sonido o el nivel de una señal eléctrica comparada con un nivel logarítmico dado. Equivale al umbral diferencial de las sensaciones de intensidad de un sonido dado a una persona en particular.

**DIATÓNICO:** sistema de escalas mayores y menores de siete notas sin alteración cromática (sin bemoles y/o sostenidos).

**DURACIÓN:** el tiempo de permanencia de un sonido. Determina el ritmo. Depende del movimiento vibratorio que origina el sonido, aunque en algunos casos la sensación persiste después del cesar el estímulo.

*Ej.:* cuando la duración es muy pequeña afecta nuestra percepción de la altura: según experiencias realizadas por Ekdahl y Stevens, un sonido de 1000 ciclos cuya duración es de 0,01 segundos produce una sensación cuya altura es igual a la de un sonido de 842 ciclos cuya duración es de 1,5 segundos.

**ESCALA:** serie de notas que suben o bajan su altura en forma sucesiva y que poseen una separación en intervalos constantes.

**ESCALA DE SONORIDAD:** como la intensidad relativa no puede compararse, se ideó esta cuyo punto cero es el umbral de audición para los sonidos de frecuencia 1000 Ciclos por segundo (o Hertz).

**FRECUENCIA:** medida de altura de un sonido según métodos acústicos dada por el número de ciclos o vibraciones por segundo de un cuerpo. Determina la agudeza o gravedad de un sonido y su afinación.

**FUENTE SONORA:** cualquier cuerpo o fenómeno que produce uno o varios sonidos.

**INTENSIDAD:** cualidad de la sensación sonora cuando un sonido es más fuerte o más débil que otro. Se refiere al volumen o fuerza de un sonido. Depende principalmente de la amplitud del movimiento vibratorio que origina el sonido.

**INTERVALO:** diferencia de altura entre dos notas. Para encontrar el intervalo entre dos sonidos se cuenta el número de notas de la escala diatónica que los separan.

**MELODÍA:** serie de notas únicas con un modelo reconocible.

**NOMENCLATURA DE NOTAS:** Las letras del alfabeto para nombrar las notas musicales son convenciones sugeridas por la Asociación de Estándares de Estados Unidos<sup>4</sup>.

Tabla 1. *Nomenclatura de notas*

C	D	E	F	G	A	B
DO	RE	MI	FA	SOL	LA	SI

Fuente: PIERCE R., John. Los sonidos de la música. Barcelona: Biblioteca Scientific American, 1983. 241p. (Editorial labor)

**REGISTRO:** altura en la que se encuentra la tesitura de una voz o instrumento: Soprano, contralto, tenor, bajo.

**RESONANCIA:** cualidad de un sistema capaz de vibrar a igual frecuencia de otro.

**TIMBRE:** cualidad de la sensación sonora que permite establecer la proveniencia de los diferentes sonidos y ruidos. Lo caracteriza y lo diferencia de otro. Los sonidos producidos por un mismo instrumento,

---

<sup>4</sup> Dentro del contenido de este informe se utilizará la nomenclatura DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-DO y dentro de las tablas, la nomenclatura C-D-E-F-G-A-B.

tienen un timbre igual o similar, cualquiera sea su altura e intensidad. En este caso, dos sonidos ejecutados por instrumentos distintos serán inconfundibles, pues su timbre será diferente.

**TONALIDAD:** relación con una tónica o nota eje de un sistema armónico. Orden de las alteraciones en las escalas.

*Ej.* Podemos entender a la tonalidad como el eje de gravedad que domina a la pieza. Si una obra se encuentra en la tonalidad de MI mayor, la escala en la que se mueven las voces poseen las alteraciones de la armadura de MI mayor. Si se quiere conseguir un estado de reposo dentro de la pieza, solo podrá lograrse ejecutando el acorde de MI mayor, pues todos los demás dan sensación de movimiento armónico.

**VOLUMEN:** Sensación que aumenta al aumentar la amplitud y disminuye al crecer la frecuencia.

*Ej.* Una nota de flautín parece tener menos "volumen", menos cuerpo, que una nota de contrabajo de la misma intensidad; al aumentar la intensidad de los sonidos emitidos por un instrumento, parece aumentar su volumen.

# INTRODUCCIÓN

Los instrumentos musicales autóctonos de la costa atlántica, así como de cualquier región Colombiana, son un importante legado de nuestros antepasados. Los conocimientos acerca de su elaboración y su interpretación se han ido transmitiendo a través de las generaciones, conservando su tradición. Muchos de los procesos de fabricación de estos instrumentos no han sido industrializados y siguen siendo netamente artesanales.

La mayoría de instrumentos musicales que conocemos actualmente (dentro de la familia de viento o *aerófonos*: flautas traversas, tubas, trompetas, clarinetes, fagot, saxofón, entre otros), han tenido un proceso evolutivo similar al que se está planteando con este proyecto. Han pasado de ser instrumentos tradicionales con materiales y procesos rústicos y netamente empíricos, para convertirse en instrumentos musicales profesionales donde se incluyen estudios acústicos y tecnológicos para mejorar su funcionamiento y su durabilidad<sup>1</sup>.

Muchas veces, a partir de este proceso se crean nuevos instrumentos, que aunque están basados en alguno específico, resultan ser diferentes, con nuevos sonidos y formas de interpretar. No obstante, esto también es parte de ese proceso evolutivo natural de los productos que el hombre crea, no sólo en el ámbito musical, sino también todos aquellos aspectos que participan transformando la sociedad, su cultura y su ideología.

---

<sup>1</sup> ENTREVISTA con Luis Jaime Ángel, Ingeniero de sonido. Georgia State University. 7 de Junio de 2006

# JUSTIFICACIÓN

Importancia del problema en el medio. El proyecto como experimentación técnica, tiene además un propósito cultural. Podría convertirse en un punto de partida para que los fabricantes de instrumentos tradicionales de la costa atlántica colombiana vean como una oportunidad, ofrecer dentro de su línea de productos, una gaita mejor en términos funcionales. Igualmente, el proyecto puede resultar atractivo para los fabricantes de instrumentos profesionales en diferentes regiones, a nivel nacional y también internacional.

El nuevo instrumento será afín a los músicos compositores regionales que quieran nuevas alternativas para fusionar sonidos folclóricos, logrando reproducir con la gaita composiciones modernas, incorporando este nuevo timbre. También a músicos compositores de todo el mundo, que quieran innovar incursionando en nuevas propuestas de sonido.

Importancia del problema en Ingeniería de Diseño. La recontextualización de un producto, como enfoque de este proyecto de grado, se convierte en una de las aplicaciones prácticas de los conceptos que abarca la Ingeniería de Diseño de Producto, ya que se ponen a disposición para analizar profundamente aquellos referentes que fueran previamente significativos para una cultura o una sociedad, sintetizando sus conceptos para ubicarlo dentro de un nuevo contexto. Así, estos referentes logran trascender como artefactos de diseño con un carácter cada vez más perpetuo.

Adicionalmente, el desarrollo de cualquier proyecto de diseño requiere tener en consideración tanto las diferentes disciplinas necesarias para complementar

cualquiera de sus etapas, como las áreas de aplicación en las cuales el proyecto tendrá su impacto. En este caso, el proceso de investigación está especialmente enmarcado por un necesario acercamiento al estudio de los principios físicos acústicos y sus aplicaciones en la música, como marco teórico para las experimentaciones a las que tiene lugar el proyecto. Estos se convierten en los factores críticos para el desarrollo de la solución de diseño y determinarán la satisfacción del cliente y el éxito de la investigación al final del proyecto.

Desde esta perspectiva, un Ingeniero de diseño de producto está en capacidad de explorar y experimentar en diferentes ámbitos en los cuales pueda llegar a la solución de un problema. A partir de este aprendizaje, el ingeniero puede profundizar más sus conocimientos técnicos y estar preparado para satisfacer las necesidades de cualquier mercado. Sin embargo, su capacidad también incluye reconocer el desarrollo de productos, no necesariamente como productos de consumo masivo, sino también como mecanismo de transformación de los elementos culturales y/o humanísticos, que no necesariamente busquen el lucro.

# OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un instrumento musical que emule<sup>2</sup> el sonido de la gaita hembra, a partir del análisis de sus principios físicos acústicos, de tal manera que el registro de su timbre<sup>3</sup> esté en un rango similar donde se generen armónicos equivalentes.

---

<sup>2</sup> EMULAR: 1. Imitar a alguien intentado igualar o superar sus acciones. 2. Hacer una cosa tan bien como otro, tener una cualidad en el mismo grado que otro. (Diccionario Santilla del español)

<sup>3</sup> TIMBRE: Es la cualidad del sonido que nos permite distinguir la misma nota producida por dos instrumentos musicales diferentes. Físicamente, el timbre es la cualidad que confieren al sonido los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental. Estos armónicos generan variaciones en la onda sinusoidal base. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Timbre\\_musical](http://es.wikipedia.org/wiki/Timbre_musical) >

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar un trabajo investigativo a través de consultas bibliográficas en libros y en Internet, ensayos, pruebas y asesorías con gaiteros, ingenieros de sonido, fabricantes de instrumentos musicales y técnicos en procesos industriales; con el fin de determinar los factores que se deben tener en cuenta para el desarrollo del proyecto en sus diferentes etapas.
2. Desarrollar el concepto de diseño del instrumento a partir de las técnicas aprendidas durante la carrera, apoyadas especialmente en la metodología de Ulrich y Eppinger<sup>4</sup> con el fin de mantener un enfoque interdisciplinario durante todo el proceso.
3. Diseñar y construir un prototipo funcional del nuevo instrumento, a partir de investigaciones sobre materiales sustitutos y procesos de manufactura industriales, según sus implicaciones acústicas y ergonómicas.
4. Efectuar pruebas por medio de software e instrumentos de medición que permitan comprobar que el desempeño es acorde con los requerimientos y especificaciones previamente establecidas.

---

<sup>4</sup> ULRICH, Kart T. y EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos. Enfoque multidisciplinario. Tercera edición. EU, McGraw Hill, 2004

## ALCANCE Y PRODUCTOS

- Elaborar un prototipo funcional del diseño resultante con una escala musical dentro de estándares de afinación.
- Reporte de pruebas acústicas y de ergonomía realizadas a los prototipos experimentales.
- Documento final del proyecto de grado.
- Instructivo donde se incluyan las características del nuevo diseño y la explicación de la funcionalidad y forma de interpretación del instrumento.
- Interpretación del prototipo final, con una escala musical dentro de estándares de la escala musical occidental, y que emule el timbre y la afinación de la gaita hembra de la costa atlántica colombiana.

# 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

## 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La gaita hembra, instrumento musical autóctono de la costa atlántica colombiana, se ha mantenido durante muchos años dentro de las tendencias y corrientes de la música colombiana, como un sonido propio con el sello característico de nuestra cultura. Mantener y seguir aumentando esta presencia, ha obligado replanteamientos en el diseño y fabricación del instrumento.

El principal interés del proyecto es tomar la gaita y rediseñarla para pasar de un instrumento esencialmente artesanal, a convertirlo en un instrumento musical profesional, que constituya una nueva alternativa musical para los compositores y los intérpretes<sup>5</sup>, con una propuesta innovadora donde se tendrán en cuenta procesos de fabricación industrial, materiales alternativos y afinación estandarizada, que hagan el instrumento más perdurable en el tiempo y en la historia; dándole valor agregado al nuevo instrumento, conservando un referente autóctono.

La propuesta para lograr evolucionar ambos aspectos simultáneamente (sonido y diseño), implica movimientos estructurales del instrumento, en su forma y contenido, respetando la esencia pero adaptándola a las nuevas necesidades y especialmente a las posibilidades de un mayor desarrollo como instrumento

---

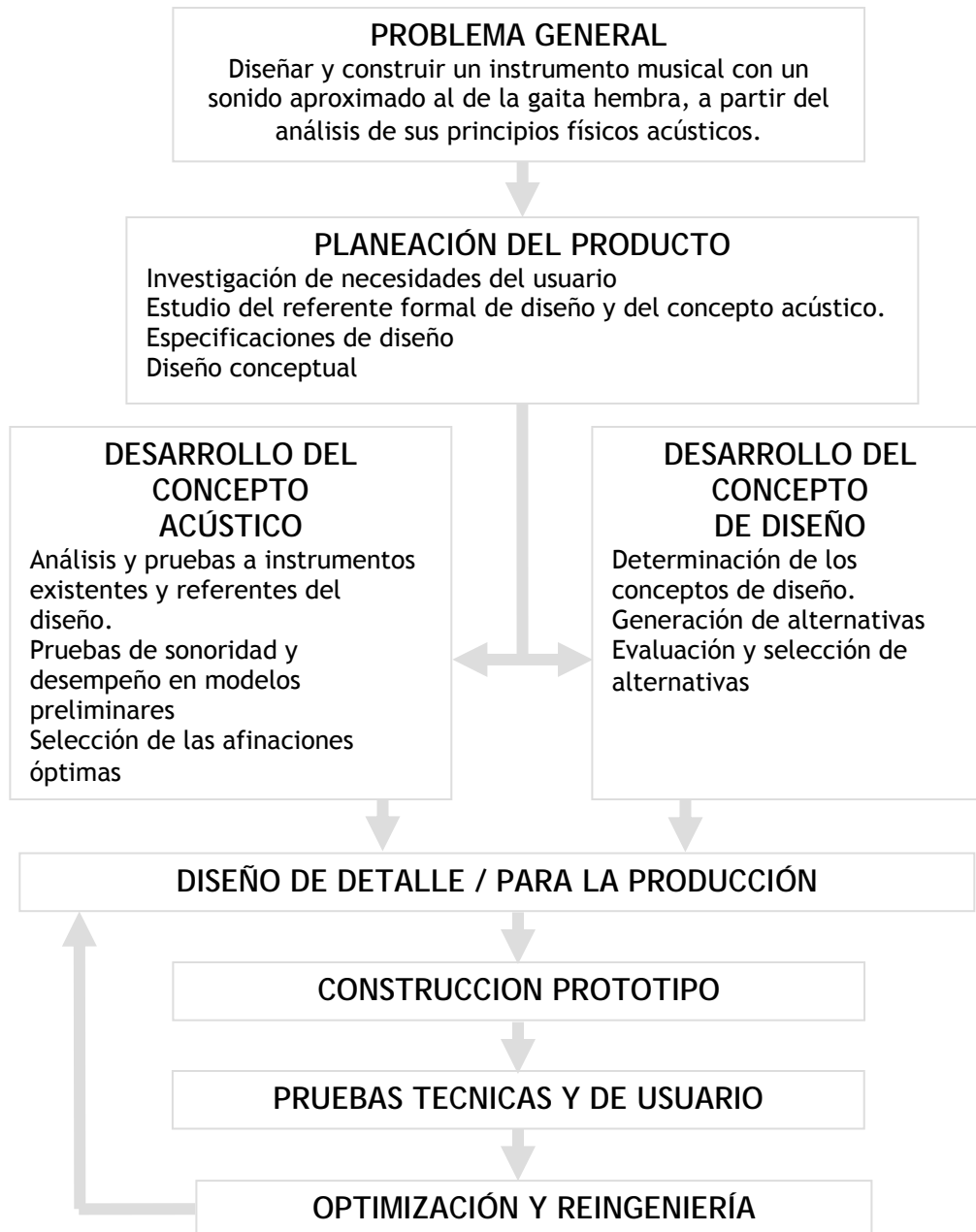
<sup>5</sup> ENTREVISTA con Cecilia Espinoza, Directora de la Orquesta Sinfónica de la Universidad EAFIT. Encuentra el proyecto como un apoyo interesante para los maestros de composición, así como en el grupo musical folklórico y de danza, promovidos por Desarrollo Artístico

musical. Por último, se propone elaborar las especificaciones de diseño del producto (PDS) buscando desarrollar los siguientes conceptos:

- **Estandarización:** En cuanto a afinación y diseño, ante la necesidad de un diseño óptimo y preciso, que pueda adaptarse cómodamente para ser interpretado por cualquier usuario según sus necesidades y deseos.
- **Sonoridad:** Ante la posibilidad de perfeccionar la afinación del sonido, la capacidad sonora y armónica y la interpretación; asegurando un buen desempeño de cada una de sus partes y conservando el timbre original de la gaita colombiana.
- **Modularidad:** Debido a la necesidad de hacer el instrumento más práctico al momento de almacenarlo y transportarlo, y para facilitar su mantenimiento y la reposición de cualquiera de sus piezas.

## 1.2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Figura 1. Esquema metodológico del proyecto



Fuente. Los autores

Para el desarrollo de la idea se cuenta con el apoyo de varios intérpretes expertos, ingenieros de sonido, técnicos en grabación, maestros de música y estudiantes interesados en los instrumentos folklóricos y experimentales.

Para lograr los objetivos, se pretende dar continuidad al proyecto de grado: “Síntesis del sonido de la gaita hembra<sup>6</sup> “ desarrollado en la Universidad Javeriana, en la cual se plantea la teoría del comportamiento físico del instrumento, con la idea de que sirva como punto de partida para futuras investigaciones en desarrollo de sonido o en diseño de nuevos instrumentos musicales. Las principales actividades en el proyecto son:

1.2.1 Planeación del producto. En esta etapa se investiga el instrumento musical tradicional, para determinar las características básicas y toda la información concerniente al proyecto. Para esto se toman clases de interpretación básica de la gaita; se realiza un estudio antropológico y funcional del referente de diseño, con la ayuda de algunos gaiteros y otros personajes relacionados con el instrumento; y se obtienen asesorías de ingenieros de sonido como base teórica y punto de partida para el desarrollo del proyecto.

El diseño conceptual y el establecimiento de las especificaciones de diseño se hacen en conjunto con esta etapa y la de desarrollo del concepto de diseño, ya que van fuertemente relacionadas. En esta etapa de desarrollo acústico se efectúan el análisis funcional, del cual se elaboraran la caja negra y la estructura funcional, para luego, en la etapa de diseño, analizar portadores y generar

---

<sup>6</sup> HERNÁNDEZ, Juan Daniel. Estudio de acústica instrumental sobre la gaita hembra para el desarrollo de un modelo físico. Proyecto de grado (Maestro en música con Énfasis en Ingeniería de sonido). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Música. Bogotá, 2002.

alternativas de solución formales del instrumento. De esta etapa se concluyen algunos puntos para incluir en el PDS (Especificaciones de diseño del producto).

1.2.2 Desarrollo del concepto acústico. Se basa en la fijación de requerimientos acústicos a partir de la investigación de instrumentos musicales similares y principios físicos de las propiedades acústicas. Se construyen modelos funcionales y se ejecutan pruebas de sonoridad y desempeño en ellos. Se investigan materiales con propiedades acústicas y algunos de ellos se ensayan con estos modelos.

1.2.3 Desarrollo del concepto de diseño. Se parte de la elaboración de un PDS tentativo para empezar con el proceso de generación de alternativas y del análisis funcional, elaborado en la etapa de desarrollo acústico. Se Investigan soluciones existentes para cada aspecto mediante análisis de productos similares, consultoría a expertos y bibliografía.

A partir de esto se generan alternativas de diseño mediante el uso del conocimiento y creatividad personal, por medio de lluvia de ideas, analogías, la elaboración de una matriz morfológica y la combinación de sus componentes u otras herramientas. Finalmente se eligen y evalúan las posibles soluciones hasta llegar a una conclusión coherente y objetiva basada en las especificaciones técnicas definidas al principio y refinadas a lo largo del proceso. Luego se definen procesos de manufactura óptimos y eficientes para la elaboración de cada una de las nuevas partes, en los materiales seleccionados.

Durante esta etapa se efectúan investigaciones y pruebas ergonómicas y se crean con base a esto, posibles alternativas de la interfase entre el usuario y el instrumento, mediante un proceso de ingeniería cognitiva y conceptualización.

1.2.4 Diseño de detalle. En esta etapa se efectúan críticas, revisiones y perfeccionamientos de la idea seleccionada por el equipo de diseño. Con esto se optimizan detalles de desempeño del instrumento (facilidad de interpretación y transporte), de ensamble y de manufactura de las partes, según experiencias con los modelos previos, y sugerencias por parte de expertos en cada una de las áreas. Se elabora un manual con el instructivo para el ensamble y desensamble, así como la tablatura de las notas en el nuevo instrumento (digitación de las notas). Se elaboran las modelaciones 3D, planos de fabricación del producto final y posteriormente, las cartas de proceso de cada uno de los procesos de manufactura.

1.2.5 Elaboración del prototipo. Para la elaboración del prototipo se parte de los planos, las modelaciones 3D y la programación CNC. Se compran materiales y partes estándar. Posteriormente se ensamblan y perfeccionan los detalles.

1.2.6 Pruebas y refinamiento. Se efectúan pruebas de calidad, afinación, timbre y ergonomía del diseño, seleccionado con gaiteros expertos y la ayuda del software *Digital Performer*. Se hace una encuesta para medir el grado de satisfacción con el nuevo instrumento. A partir de esto, se sacan conclusiones para determinar aspectos a mejorar y a conservar del instrumento.

1.2.7 Optimización y reingeniería. A partir de las pruebas elaboradas al prototipo final y las conclusiones presentadas en este informe, se mejora el diseño y se construye un nuevo modelo.

1.2.8 Documentación. La documentación del proyecto se realiza paralelamente a cada una de las etapas. Al final, se efectúan algunas correcciones y se mejoran los detalles en cuanto a normatividad de presentación.

## 1.3. ESTADO DEL ARTE

1.3.1 Los instrumentos musicales indígenas. Los instrumentos musicales Colombianos se pueden clasificar en cuatro grupos: precolombinos fuera de uso, indígenas en uso, mestizos y foráneos<sup>7</sup>. La gaita es uno de los pocos instrumentos musicales indígenas que se consideran en uso. Las comunidades indígenas se están integrando a la sociedad en un proceso en el que al compartir su cultura y sus tradiciones, éstas corren el riesgo de ser remplazadas por la imposición de las costumbres de las ciudades. La gaita ha salido de la selva y ha hecho presencia urbana, aumentando cada vez más su participación en las costumbres musicales de la costa atlántica. Celebrando incluso anualmente el “festival de la gaita” en Ovejas (Sucre).

Cabe resaltar que la gaita ha comenzado a aparecer en los últimos años dentro de las tendencias y corrientes musicales de la vanguardia en el país, como un sonido propio con sello colombiano. Dentro los ejemplos que se pueden citar, figuran las composiciones de Totó La Momposina, Carlos Vives, Cabas, Joe Arroyo, Checo Acosta, entre otros. Sin embargo, es aquí donde más se encuentra el problema de afinación como factor crítico, ya que es en los estudios de grabación donde se “afina” la gaita por medio de software de edición musical<sup>8</sup>.

Mantener y seguir aumentando esta presencia, ha obligado a plantear cambios en el diseño del instrumento y búsqueda de soluciones para resolver los inconvenientes relacionados con la gaita, que más adelante se profundizarán.

---

<sup>7</sup> ABADIA MORALES, Guillermo. Instrumentos de la música folklórica de Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano de Cultura, 1981. Pág.60.

<sup>8</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 2 de Febrero de 2006

1.3.2 La gaita: origen y significado. La gaita como instrumento precolombino es originaria de la Sierra Nevada de Santa Marta. En esta época era llamada *Kuisi singui*<sup>9</sup> por la comunidad indígena Kogui. Esta gaita era elaborada con los mismos materiales actuales pero su diseño era más pequeño con un tubo más corto. Con la llegada de los españoles, el instrumento fue renombrado como Gaita, un nombre comúnmente usado en otros instrumentos musicales del mundo<sup>10</sup>.

Antropológicamente tenía un significado especial y simbólico para los indígenas, ya que buscan imitar el sonido de los animales silvestres para representar este sonido en las composiciones, como fuente de inspiración. Fue así como desarrollaron el instrumento aerófono a partir de materiales que obtenían dentro del mismo entorno; dando la posibilidad de imitar con él las aves de la región: el yacabó, el uacabó, la pava congona y el turpial<sup>11</sup>

Figura 2. Pava congona y turpial



Fuente: Organización Indígena Gonawindua Tayrona <<http://www.tairona.org/galeria.html>>

---

<sup>9</sup> ABADÍA MORALES, Guillermo. [CD-Rom] Instrumentos musicales de Colombia. Bogotá: Fundación BAT. 2005.

<sup>10</sup> ENTREVISTA con Juan Fernando Hincapié, experto en etnomusicología. 21 de Marzo de 2006

<sup>11</sup> Organización Indígena Gonawindua Tayrona <<http://www.tairona.org/galeria.html>>

1.3.3 Evolución del instrumento. El diseño estético formal del instrumento hace referencia a los dos sexos. La abertura vertical representa el sexo femenino y el borde exterior, el masculino. Esta forma varía según el fabricante, debido a que su moldeo es manual.

Figura 3. Gaitas tradicionales de Colombia



Fuente: Los Autores

Estos cambios en la forma de la gaita, se fueron generando en los distintos municipios costeros a medida que el instrumento fue bajando desde la Guajira, hacia el sur geográfico, principalmente a los montes de María en San Jacinto - Bolívar y a Ovejas - Sucre<sup>12</sup>.

Anteriormente la gaita tenía un sonido más agudo y más suave, y el sonido que emitía tenía un volumen menor a las actuales y se destacaba menos en conjunto con las percusiones y otros instrumentos acompañantes. Su longitud era aproximadamente 85cm.

Los cambios actuales buscan mayor comodidad y sonoridad. Actualmente la gaita es interpretada mayormente por los jóvenes, quienes han aumentando su longitud a 90-95cm, haciendo que su extensión se aproxime a la distancia desde

---

<sup>12</sup> ABADIA MORALES, Guillermo. Instrumentos de la música folklórica de Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano de Cultura, 1981. 60p. (Publicaciones especiales).

el hombro hasta la muñeca de cada intérprete; continuando con el ritual de ubicar la digitación del instrumento a la altura de la cadera<sup>13</sup>.

Figura 4. Gaitas macho (superior) y hembra (inferior)



Fuente: Los Autores

1.3.4 Nuevos procedimientos. La gaita artesanal se puede elaborar de dos tipos de cactus, el Cardón (*Selenicereus Grandiflorus*), o la Pitahaya (*Stenocereus Thurberi*)<sup>14</sup>.

Figura 5. Cardón



Fuente: MAUSETH, James D. Section of Integrative Biology, The University of Texas, Austin, TX 78712 < [www.sbs.utexas.edu/mausetth/ResearchOnCacti/index.htm](http://www.sbs.utexas.edu/mausetth/ResearchOnCacti/index.htm)>

---

<sup>13</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 2 de Febrero de 2006

<sup>14</sup> ENTREVISTA con Juan Daniel Hernández. Profesor de Música. Pontificia Universidad Javeriana. 31 de Marzo de 2006.

Actualmente, estos cactus se dan en zonas de acceso riesgoso o peligroso, y se encuentran casi exclusivamente en La Guajira, donde paradójicamente no se construye el instrumento, ya que su cultura la han adoptado mayormente otros pueblos de Atlántico, Sucre y Córdoba, ubicados más hacia el sur. Por esta razón, la población Guajira ya no tiene el conocimiento de la utilidad de esta planta y lo ven en muchas ocasiones como simple rastrojo. Además de esto, no saben identificarlo ni conocen el procedimiento correcto para obtenerlo, de manera que cumpla con los requerimientos para elaborar un instrumento.

Figura 6. Pobladores de La Guajira y los cactus



Fuente: Organización Indígena Gonawindua Tayrona <<http://www.tairona.org/galeria.html>>

Debido a la necesidad de encontrar un material alternativo para su fabricación, en varias regiones, algunos fabricantes han hecho intentos de innovar el concepto original: Cabezas en fibra de vidrio, tubos de aluminio, PVC y otras maderas y tubos seccionados. Estas alternativas se asemejan bastante al instrumento original, pero varía un poco el timbre en algunos casos y la forma de interpretación<sup>15</sup> (*Véase Anexo A. Métodos alternativos de fabricación artesanal*).

---

<sup>15</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 2 de Febrero de 2006

## 2. PLANEACIÓN DEL PRODUCTO

### 2.1 INVESTIGACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL USUARIO

2.1.1 Objetivo de la investigación. Realizar una exploración previa a las etapas de desarrollo, con el fin de recopilar diferentes opiniones frente al proyecto, acerca de los factores que implica la evolución del instrumento artesanal, la conservación de elementos referentes y algunas propuestas de mejora sugeridas. A partir de este análisis, se establecen las necesidades de los usuarios como base para generar las especificaciones técnicas del producto (PDS).

2.1.2 Metodología de encuestas. Encuesta a 20 personas afines con la música (Músicos, intérpretes, aficionados, conocedores de folklore). La encuesta incluye preguntas abiertas y preguntas cerradas, algunas con justificaciones y orden de preferencias. El formato de la encuesta se envía por e-mail a todos los encuestados y los resultados se obtienen por el mismo medio (*Véase Anexo B. Formato de encuestas*).

2.1.3 Análisis de los resultados de las encuestas. Después de efectuadas las encuestas y tabulados los resultados, se encuentran varios aspectos relevantes para el desarrollo del proyecto (*Véase Anexo C. Extractos de las respuestas originales*).

Factores evolutivos.

- Como experimento, analizar la manera cómo la gaita puede evolucionar desde lo artesanal a un campo profesional. Ayuda a impedir su

desaparición, proponiendo nuevos contextos que permiten al gaitero tocar más fácilmente al tener un instrumento con afinación estándar, que pueda seguir partituras occidentales; fusionando así lo tradicional con lo actual. Se plantea la idea de crear diferentes referencias de gaita para las diferentes afinaciones.

- Se puede innovar en diseño y sonido, partiendo del instrumento existente, conservando su timbre, para darle a la gaita mayor aceptación internacional, aprovechando el reconocimiento que ya tiene la música Colombiana en el exterior.
- Para no sacrificar la esencia artesanal del instrumento, es importante apuntar a otro sector que sería un ámbito profesional, ya que podría no tener una buena aceptación por parte de los músicos folclóricos.

**Elementos referentes.** Los elementos diferenciadores de la gaita artesanal que la gente más recuerda y le parece importante conservar, se enfocan en primera instancia hacia las cualidades del sonido (timbre, variedad de afinación y forma de interpretación), y en segunda instancia, su diseño (referentes formales y materiales). Sin embargo, para evidenciar que la identidad del nuevo instrumento es una evolución de la gaita hembra de la costa Atlántica Colombiana, debe conservar un poco de cada una de estas características.

**Propuestas de mejora.** Dentro de las nuevas características de diseño sugeridas, se considera importante mejorar la modularidad del tubo del instrumento para facilitar su transporte y se plantean propuestas para ampliar sus registros sonoros. Para ambas, hay aceptación siempre y cuando estas no interfieran con el timbre original, ni se pierda la esencia del instrumento.

## 2.2. ESTUDIOS DE ACÚSTICA Y DISEÑO DEL INSTRUMENTO REFERENTE

### 2.2.1 Generalidades del timbre y la afinación.

- El sonido es producido por un chorro de aire dirigido al borde afilado y se divide, formando un remolino o un vórtice, hacia arriba y hacia abajo. Este movimiento periódico de la corriente de aire de lado a lado, produce un sonido llamado *tono del borde*. Sirve para ayudar a iniciar y a sostener el tono (*Véase Anexo D. Principios generales de Producción del sonido*)
- El timbre está determinado por la intensidad de los armónicos, tanto pares como impares<sup>16</sup>. El armónico en el que se produce el sonido es directamente proporcional a la velocidad del chorro de aire. (frecuencia directamente proporcional a intensidad).
- La nota más baja a partir de la cual aumenta la tonalidad es LA3, bastante más bajo que LA3 occidental, ya que para poder producirlo el intérprete impulsa un chorro de aire muy débil y la afinación del tono resultante es inestable<sup>17</sup> (*Véase Anexo E. Frecuencias ideales y reales*).
- Los intervalos de la escala de la gaita distan de la precisión de la afinación occidental. Aunque el timbre es el mismo, la diferencia en gaitas de diferentes tamaños está en la afinación.

---

<sup>16</sup> ENTREVISTA con Luis Jaime Ángel, Ingeniero de sonido. Georgia State University. 7 de Junio de 2006

<sup>17</sup> ENTREVISTA con Juan Daniel Hernández. Profesor de Música. Pontificia Universidad Javeriana. 31 de Marzo de 2006.

## 2.2.2 Partes del instrumento.

### 2.2.2.1 Tubo sonoro.

#### Características acústicas.

- Como la longitud no está estandarizada en una medida exacta, la afinación de la nota más baja y a partir de ésta, de la gaita, varía con cada instrumento según su longitud<sup>18</sup>.
- El comportamiento del tubo sonoro abierto en ambos extremos es análogo al de una cuerda vibrante y produce modos de vibración en los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.
- La frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda. Si ésta a su vez es directamente proporcional a la longitud del tubo sonoro, se puede concluir que la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud del tubo (a más frecuencia menos longitud)<sup>19</sup>.

#### Características de diseño.

- Actualmente las gaitas miden entre 90-95cm para alcanzar a producir los registros más graves.
- Mientras más delgado es el tubo, menor es el volumen.
- El espesor del tubo incide en la resonancia del material.
- El diámetro interior determina la distancia entre los agujeros<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 2 de Febrero de 2006

<sup>19</sup> ENTREVISTA con Juan Daniel Hernández. Profesor de Música. Pontificia Universidad Javeriana. 31 de Marzo de 2006

<sup>20</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 2 de Febrero de 2006

### 2.2.2.2 Agujeros tonales.

#### Características acústicas:

- Tiene 5 perforaciones, de las cuales sólo 4 son usadas simultáneamente en la interpretación. Lo que presenta 5 posibles longitudes de onda y 5 posibles frecuencias de resonancia en cada registro. Son 4 registros aumentando la intensidad de soplo: BB (bajo-bajo), B (bajo), M (medio) y A (alto).

Figura 7. Tonos y Registros de la gaita hembra. Presencia de la frecuencia fundamental



Fuente: HERNÁNDEZ, Juan Daniel. Estudio de acústica instrumental sobre la gaita hembra para el desarrollo de un modelo físico. 2002. Pontificia Universidad Javeriana.

- En cada registro se evidencia la presencia del sonido BB, que se entiende como *frecuencia fundamental*<sup>21</sup>.
- Normalmente el agujero inferior no se usa. Si se llega a usar, se tapa con cera por afinación para bajar 1 tonalidad y transportar la melodía.
- En la gaita no existe la llave de registro de algunos instrumentos occidentales de viento, que facilitan la operación de tocar en un registro superior. Por la cual en la gaita implica aumentar el esfuerzo.

---

<sup>21</sup> ENTREVISTA con Juan Daniel Hernández. Profesor de Música. Pontificia Universidad Javeriana. 31 de Marzo de 2006.

#### Características de diseño.

- La distancia del extremo inferior al primer agujero y de éste a los siguientes, no es estándar. Está determinada por la tradición de los artesanos. Quiere decir que los intervalos de la escala que produce varían en una medida pequeña pero audible, para cada instrumento.
- La distancia entre los agujeros incide considerablemente en la afinación del instrumento<sup>22</sup>.

#### 2.2.2.3 Cabeza de resonancia.

#### Características acústicas.

- Tendiendo en cuenta el principio de producción del sonido de la gaita, la cabeza ayuda a obtener el timbre característico, a partir de sus paredes paralelas que estrechan la entrada del aire dentro del tubo y la salida del aire al exterior.
- Ya que la distancia y el ángulo de la boquilla al borde del tubo sonoro son fijos en el instrumento, la velocidad del chorro de aire es proporcional a la presión. Es decir, que hay una relación de proporción directa entre la frecuencia y la dinámica.
- El instrumento no tiene ninguna llave de registro, que facilite la producción del siguiente armónico desde la fundamental. Tener que aumentar la presión del soplo implica un aumento en la dinámica, proporcional al aumento en frecuencia.
- Para producir los armónicos es necesario aumentar la velocidad del chorro de aire, proporcionalmente a la frecuencia que se desea<sup>23</sup>.

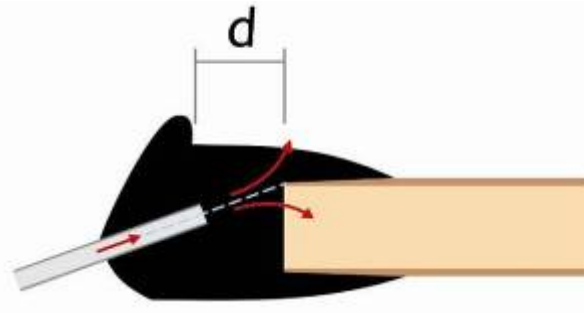
---

<sup>22</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 2 de Febrero de 2006

### Características de diseño.

- A mayor distancia (d) entre la boquilla y el borde, más duro suena y más fuerte de tocar. Necesita más aire para las notas altas<sup>24</sup>.

Figura 8. Sección de Cabeza de la gaita y corriente de aire



Fuente: Tomado de Guillermo Abadía Morales y adaptado por los autores.

- El ángulo de la boquilla se encuentra entre  $45^{\circ}$  -  $60^{\circ}$ .
- La distancia de la abertura (paredes de la cabeza de resonancia) no puede ser mayor a 7mm porque se dispersa el aire.

---

<sup>23</sup> ENTREVISTA con Juan Daniel Hernández. Profesor de Música. Pontificia Universidad Javeriana. 31 de Marzo de 2006.

<sup>24</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 2 de Febrero de 2006

## 2.3 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Tabla 2. Necesidades del producto

NUM.	NECESIDAD	IMP.
1	Que sea ergonómico para interpretar el instrumento	5
2	Que sea cómodo para diferentes estaturas	5
3	Permitir varias afinaciones	4
4	Que la boquilla no se parta	5
5	Poder suavizar el esfuerzo de soplada	5
6	Poder tocar un registro superior más fácil	3
7	Que el sonido más bajo sea mas intenso	3
8	Mejorar el cubrimiento de los agujeros tonales	3
9	Que el timbre no cambie	4
10	Que no suene similar a otro instrumento de viento	4
11	Que sea liviano	3
12	Que conserve el referente de diseño autóctono	4
13	Que no tenga elementos peligrosos	5
14	Fácil de transportar	4
15	Fácil de guardar	4
16	Que sea modular	5
17	Fácil de ensamblar (partes y accesorios)	5
18	Fácil de desensamblar	5
19	Ajustes y ensambles resistentes	5
20	Que no se parta	5
21	Que no se oxide	4
22	Fácil mantenimiento	3
23	Agradable a la vista	5
24	Que no se deteriore facilmente	5
25	Que tenga larga vida	4
26	Que sea económico entre otros instrumentos profesionales	4
27	Procesos que faciliten alta producción	5
28	Número mínimo de piezas	4
29	Procesos de manufactura accesibles en Colombia	5
30	Que no haya escape de aire	5
31	Que suene afinado	5
32	Que conserve un amplio rango de registros	4
33	Que tenga buena resonancia	5

Fuente. Los autores

Tabla 3. Requerimientos del producto

NUM.	NECESIDAD	REQUERIMIENTO	IMP.
1	1, 2, 3	Tamaño máximo de 85cm de largo	3
2	3, 31	Variación logarítmica de la distancia entre orificios	5
3	1, 2, 5	Ángulo de 65° - 90° para la boquilla	5
4	1, 4, 13, 19, 20, 21, 23, 24, 25	Boquilla en acero inoxidable o PEHD	5
5	1, 2, 5	Longitud de la boquilla 5-10cm	3
6	3, 5, 6, 7	Graduar la posición de la boquilla en distancias exactas	5
7	1, 2, 5, 8, 30	Incluir llaves para tapar orificios	4
8	1, 5, 6, 32	Llaves de registro para ampliar número de armónicos	3
9	3, 31	Calcular la frecuencia fundamental del La3 occidental	5
10	5, 6, 7, 31, 32	Paredes internas de resonancia entre 5-7mm	5
11	9, 10, 11, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 33	Cabeza elaborada en resina, madera o fundición	5
12	5, 17, 18, 19, 30, 33	Empaques de corcho para instrumentos o caucho	5
13	9, 10, 11, 12, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 33	Tubos en maderas con propiedades acústicas	5
14	1, 2, 11, 14	Peso mínimo 220gr máximo 500gr	4
15	1, 11, 12, 16, 19, 23	Equilibrio de volúmenes y simetría	4
16	1, 13	Aristas redondeadas	5
17	9, 10, 12, 23, 33	Adaptación del diseño de la cabeza tradicional	5
18	16, 17, 18, 22	Partes externas extraíbles	5
19	14, 15, 16, 17, 18	Diseño desensamblable en 3-7 piezas para guardar	5
20	14, 15, 16, 17, 18, 19, 24, 30	Diseño para el ensamble por medio de clavijas, SNAP-fit, tornillos, a presión	4
21	23	Contraste de colores y texturas	3
22	26, 27, 28, 29	Diseño para producción	3
23	26	Precio máximo \$300,000 / unidad	4
24	20, 21, 24, 25	En condiciones normales de uso, mínimo 10 años	4
25	26, 27, 29	Elaboración por CNC y maquinaria industrial (torno, fresadora, taladro)	5

Fuente. Los autores

Tabla 4. Matriz de necesidades y requerimientos del producto (*Product design specifications*)

PDS GAITA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		Tamaño máximo de 85cm de largo	Variación logarítmica de la distancia entre orificios	Ángulo de 65° - 90° para la boquilla	Boquilla en acero inoxidable o PEHD	Longitud de la boquilla 6-10cm	Posición de boquilla en distancias exactas	Incluir llaves para tapar orificios	Llaves de registro para ampliar número de armónicos	Calcular frecuencia fundamental del La3 occidental	Paredes internas de resonancia entre 5-7mm	Cabeza en resina, madera o fundición	Empaques de corcho para instrumentos o caucho	Tubos en maderas con propiedades acústicas	Peso mínimo 220gr máximo 1000gr	Equilibrio de volúmenes y simetría	Aristas redondeadas	Adaptación del diseño de la cabeza tradicional	Partes externas extraíbles	Desensamblable en 3-7 piezas para guardar	Diseño para el ensamble por medio de clavijas, SNAP-fit, tornillos, a presión	Contraste de colores y texturas	Diseño para producción	Precio máximo \$300,000	En condiciones normales de uso mín. 10 años	Elaboración por CNC y maquinaria industrial (torno, fresadora, taladro)	
1	Que sea ergonómico para interpretar el instrumento	x		x	x	x		x	x						x	x	x										
2	Que sea cómodo para diferentes estaturas	x		x		x		x							x												
3	Permitir varias afinaciones	x	x				x				x																
4	Que la boquilla no se parta				x																						
5	Suavizar el esfuerzo de soplada			x		x	x	x	x		x		x														
6	Poder tocar un registro superior más fácil						x		x		x																
7	Que el sonido más bajo suene más						x				x																
8	Mejorar el cubrimiento de los agujeros tonales							x																			
9	Que el timbre no cambie											x		x					x								

PDS GAITA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		Tamaño máximo de 85cm de largo	Variación logarítmica de la distancia entre orificios	Ángulo de 65° - 90° para la boquilla	Boquilla en acero inoxidable o PEHD	Longitud de la boquilla 6-10cm	Posición de boquilla en distancias exactas	Incluir llaves para tapar orificios	Llaves de registro para ampliar número de armónicos	Calcular frecuencia fundamental del La3 occidental	Paredes internas de resonancia entre 5-7mm	Cabeza en resina, madera o fundición	Empaques de corcho para instrumentos o caucho	Tubos en maderas con propiedades acústicas	Peso mínimo 220gr máximo 1000gr	Equilibrio de volúmenes y simetría	Aristas redondeadas	Adaptación del diseño de la cabeza tradicional	Partes externas extraíbles	Desensamblable en 3-7 piezas para guardar	Diseño para el ensamble por medio de clavijas, SNAP-fit, tornillos, a presión	Contraste de colores y texturas	Diseño para producción	Precio máximo \$300,000	En condiciones normales de uso min. 10 años	Elaboración por CNC y maquinaria industrial (torno, fresadora, taladro)	
11	Que sea liviano											x		x	x	x											
12	Que conserve el referente de diseño autóctono																										
13	Que no tenga elementos peligrosos				x												x										
14	Fácil de transportar														x						x	x					
15	Fácil de guardar																				x	x					
16	Que sea modular															x			x	x	x						
17	Fácil de ensamblar (partes y accesorios)												x						x	x	x						
18	Fácil de desensamblar												x						x	x	x						
19	Ajustes y ensambles resistentes				x							x	x			x						x					
20	Que no se parta				x									x											x		
21	Que no se oxide				x							x		x											x		

PDS GAITA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		Tamaño máximo de 85cm de largo	Variación logarítmica de la distancia entre orificios	Ángulo de 65° - 90° para la boquilla	Boquilla en acero inoxidable o PEHD	Longitud de la boquilla 6-10cm	Posición de boquilla en distancias exactas	Incluir llaves para tapar orificios	Llaves de registro para ampliar número de armónicos	Calcular frecuencia fundamental del La3 occidental	Paredes internas de resonancia entre 5-7mm	Cabeza en resina, madera o fundición	Empaques de corcho para instrumentos o caucho	Tubos en maderas con propiedades acústicas	Peso mínimo 220gr máximo 1000gr	Equilibrio de volúmenes y simetría	Aristas redondeadas	Adaptación del diseño de la cabeza tradicional	Partes externas extraíbles	Desensamblable en 3-7 piezas para guardar	Diseño para el ensamble por medio de clavijas, SNAP-fit, tornillos, a presión	Contraste de colores y texturas	Diseño para producción	Precio máximo \$300,000	En condiciones normales de uso min. 10 años	Elaboración por CNC y maquinaria industrial (torno, fresadora, taladro)	
23	Agradable a la vista				x							x		x		x		x				x					
24	Que no se deteriore fácilmente				x							x		x								x				x	
25	Que tenga larga vida				x							x		x												x	
26	Económico entre otros instrumentos profesionales											x		x										x	x		x
27	Procesos que faciliten alta producción											x		x													x
28	Número mínimo de piezas																							x			
29	Procesos de manufactura accesibles en Colombia											x		x										x			x
30	Que no haya escape de aire							x														x					
31	Que suene afinado		x							x	x																
32	Que conserve un amplio rango de registros								x		x																
33	Que tenga buena resonancia											x	x	x													

Fuente. Los autores

## 2.4 DISEÑO CONCEPTUAL

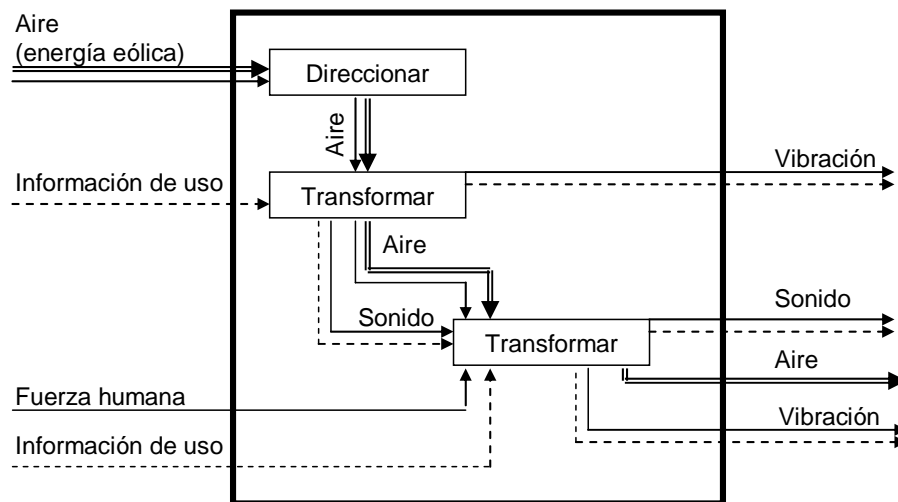
A partir de los estudios del referente y el PDS, se hace un proceso de abstracción de las principales funciones del producto, con el fin de determinar posibles soluciones para cada una, a través de la investigación de diferentes instrumentos musicales<sup>25</sup>. (Véase Anexo F. *Matriz de portadores de función*).

Figura 9. Caja negra (Gaita Hembra autóctona)



Fuente: Los autores

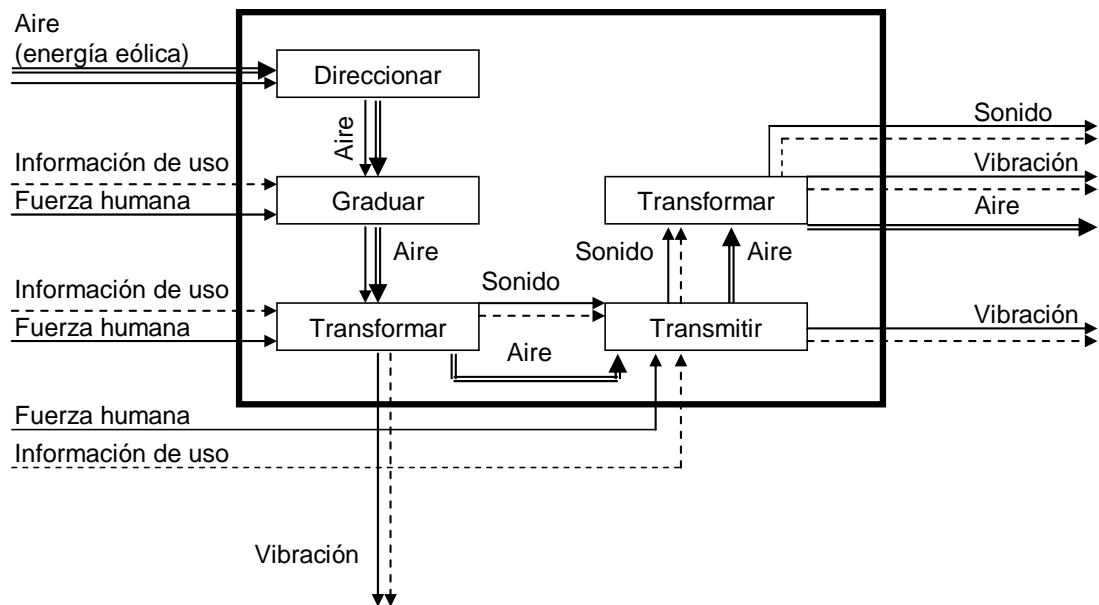
Figura 10. Estructura funcional (Gaita Hembra autóctona)



Fuente: Los autores

<sup>25</sup> SALVAT S.A. Instrumentos, intérpretes y orquestas. Salvat S.A. de ediciones. Pamplona. 1984

Figura 11. Estructura funcional (Gaita Hembra rediseño)



Fuente: Los autores

Esta síntesis es necesaria para comprobar el desempeño acústico y a partir de éste, generar los conceptos de diseño<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> CROSS, Nigel. Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos. Cuernavaca. Editorial Limusa S.A. Grupo Norega Editores. 1999. Pág. 75-79

## 3. DESARROLLO PARA EL CONCEPTO ACÚSTICO

### 3.1 DEFINICIÓN

Esta etapa busca, a partir de la experimentación, definir los requerimientos técnicos necesarios en cuanto a acústica, para aplicarlos en la etapa de diseño formal. Es el sustento que permite que el instrumento se desempeñe bien en cuanto a afinación, resonancia y timbre; teniendo en cuenta que la forma del instrumento depende en su mayor parte de sus características sonoras para lograr satisfacer las necesidades del músico como usuario final.

### 3.2 METODOLOGÍA

El proceso se basa en investigaciones y pruebas experimentales a diferentes instrumentos de viento y modelos de gaitas.

Para empezar con el desarrollo del concepto acústico, se requiere un diagnóstico inicial del estado actual de afinación de gaitas de diferentes regiones y estilos. A partir de estas primeras conclusiones, se inicia la investigación y desarrollo de diferentes técnicas para el mejoramiento de sus características sonoras. Finalmente, se analizan y prueban en el estudio de grabación del asesor del proyecto de grado, varios modelos con diferentes afinaciones, para seleccionar los más eficientes en cuanto al desempeño esperado (*Véase Anexo G. Características acústicas del estudio de grabación*).

### 3.3 PRUEBA 1: PRUEBA DE AFINACIÓN A GAITAS TRADICIONALES

A continuación se encuentra una síntesis de la prueba a instrumentos referentes<sup>27</sup> (*Véase Anexo H. Reporte complementario de la prueba 1*)

**Objetivo de la prueba.** Tomar registros sonoros digitalmente de diferentes gaitas (sus notas según la intensidad y la posición, los intervalos entre ellas y las frecuencias fundamentales equivalentes), para estudiar sus variaciones y promediar la afinación ideal de la fabricación tradicional, como punto de partida para comparar la afinación de los nuevos prototipos a desarrollar.

**Descripción de la prueba.** Se emplean 7 gaitas de diferentes tipos y fabricantes de la costa Atlántica.

Figura 12. Gaitas tradicionales analizadas en la prueba



Fuente: Los autores

Un Gaitero interpreta todos los registros posibles en cada una de las 7 gaitas, iniciando desde la nota más baja hasta terminar en la nota más alta. Por cada intensidad de soplo (bajo-bajo, bajo, medio y alto), se producen 5 notas, desde

---

<sup>27</sup> Prueba realizada en el estudio de grabación de Luís Jaime Ángel. 25 de Agosto de 2006.

los 4 orificios tonales tapados, destapando uno por uno hasta dejar los 4 al aire, para un total de 20 registros por gaita (en ese orden).

Para la toma de muestras se utiliza un estudio de grabación. Todas las muestras se registran en el software *Digital Performer* de plataforma MAC. Tanto el sonido como el comportamiento de las ondas correspondientes.

Figura 13. Consola de grabación y software utilizado



Fuente: Los autores

Reporte de resultados. Luego de obtener los resultados de las afinaciones en cada gaita y su frecuencia equivalente en Hertz<sup>28</sup>, se elabora un promedio de las frecuencias con el fin de identificar una nota real posible en cada posición (Véase Tabla 5).

Al revisar los registros de manera individual, se encuentra que la Gaita 6, sigue un patrón de notas relativamente estable hasta la intensidad M (medio), ajustándose de manera más técnica a una afinación en SOL, ya que registra las 5 primeras notas de esta escala. De esta manera, se decide investigar más sobre esta escala musical para continuar con los estudios de diseño del tubo sonoro de la gaita.

---

<sup>28</sup> POSTGRADO BASES CIENTÍFICAS DE LA ACÚSTICA ARQUITECTURAL Y URBANA. Documentación de clase. Escuela De Arquitectura Paris-Val-De-Seine. Paris, Francia. 2002.

Los resultados no muestran seguir una escala de afinación musical establecida. Aunque los registros BB (Bajo Bajo) y B (Bajo) de las gaitas intentan seguir un patrón que se ajustarían más técnicamente a una escala musical occidental, igual que como se encuentra en otro tipo de instrumentos de viento.

Tabla 5. Promedios de frecuencias y notas aproximadas

			GAITA 6		PROMEDIO Hz	NOTA APROX
			Hz	Nota aprox.		
1	BB	4	198	G2 (196)	198	G2 (196)
2	BB	3	223	A3 (220)	226,8	A3 (220)
3	BB	2	246	B3 (246,9)	249,5	B3 (246,9)
4	BB	1	269	C3 (262)	274,1	C3# (277)
5	BB	0	305	D3# (311)	318,7	D3# (311)
6	B	4	397	G3 (392)	433,5	A4 (440)
7	B	3	445	A4 (440)	466,28	A4# (466)
8	B	2	492	B4 (494)	519,2	C4 (523)
9	B	1	539	C4(523)-#(554)	581,1	D4 (588)
10	B	0	585	D4 (588)	630	D4# (622)
11	M	4	794	G4 (784)	781,7	G4 (784)
12	M	3	891	A5 (880)	941,25	A5# (932)
13	M	2	984	B5 (988)	1004,2	B5 (988)
14	M	1	1077	C5 (1046)	1114,2	C5# (1109)
15	M	0	1270	D5# (1244)	1175,2	D5 (1175)
16	A	4	1270	D5# (1244)	1249,6	D5# (1244)
17	A	3	1170	D5 (1175)	1188,3	D5 (1175)
18	A	2	984	B5 (988)	1172,1	D5 (1175)
19	A	1	1077	D5 (1175)	1185,4	D5 (1175)
20	A	0	1270	D5# (1244)	1271,3	D5# (1244)

Fuente. Los autores

No obstante, como la gaita es un instrumento que sólo tiene cinco orificios, esta es la cantidad de notas posibles de interpretar en el instrumento secuencialmente. En la prueba de registros secuenciales, en la gaita no se produce ni MI ni FA. Es pertinente entonces, que para fines de diseño de un instrumento musical afinado en una escala occidental, deban incluirse estas dos notas dentro del registro de la escala secuencial del instrumento.

En varios instrumentos tradicionales de diversas culturas, se utilizan las escalas pentatónicas, que son escalas que sólo registran cinco notas musicales. Sin embargo, sólo hay dos clases de escalas pentatónicas identificadas: de DO y de LA, así que se descarta este caso, ya que la afinación de la gaita hembra tradicional comienza en SOL.

#### Conclusiones de la prueba.

- En los registros BB (Bajo Bajo) y B (Bajo), las notas registradas en las 7 gaitas son similares; tienen poca variación.
- En los registros M (Medio) y A (Alto), existe mucha variación en cada gaita. Esto es común en la mayoría de los instrumentos de viento, pues cualquier variación en la posición o intensidad del soplo en el registro agudo, produce gran variación de afinación.
- La intensidad A (Alta), presenta registros irregulares que generalmente no superan RE5#.
- La gaita número 6 es la única que parece conservar un patrón de escala que se repite entre cada octava, exceptuando el A (altos). (Nótese en las Notas de colores iguales).

Tabla 6. Registros de la gaita de patrón más estable

BB	BB	BB	BB	BB	B	B	B	B	B
4	3	2	1	0	4	3	2	1	0
G2	A2	B2	C3	D3#	G3	A3	B3	C4#	D4
M	M	M	M	M	A	A	A	A	A
4	3	2	1	0	4	3	2	1	0
G5	A5	B5	C5	D5#	D5#	D5	B4	D5	D5#

Fuente. Los autores

- Las gaitas sólo registran 5 notas musicales secuencialmente. Quedarían faltando dos de ellas para completar la escala natural. En casi todos los casos, las notas faltantes son MI y FA.

### 3.4 PRUEBA 2: ANÁLISIS DE MODELOS BLANDOS NO FUNCIONALES

A continuación se presenta un resumen de la elaboración de modelos preliminares y las pruebas correspondientes a estos modelos<sup>29</sup>. *(Véase Anexo I. Reporte complementario de la prueba 2)*

#### Objetivos.

- Tomar como referencia otros instrumentos musicales de viento, afinados en diferentes escalas occidentales, para fabricar tubos sonoros de diferentes diámetros (iguales a los instrumentos de referencia). Ensamblándoles una cabeza de gaita (fabricada en madera), para comprobar la afinación y el timbre producidos por los modelos de prueba.
- Determinar 2 escalas de afinación (que abarquen los posibles sonidos del instrumento en 2 afinaciones básicas), para refinarlas y continuar el desarrollo del concepto de diseño.
- Detectar posturas y movimientos incorrectos dentro de un análisis ergonómico.

Figura 14. Fabricación de cabezas de madera



Fuente: Los autores

---

<sup>29</sup> Elaboración de modelos con Juan Fernando Hincapié, experto en etnomusicología. Taller Piedras Blancas (La Estrella-Antioquia). 26 de Noviembre de 2006. Pruebas a los modelos con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. Coliseo de la Universidad Eafit. 29 de Noviembre de 2006

Descripción del proceso. La elaboración de los modelos se realiza en un taller de instrumentos musicales tradicionales. Se desarrollan cabezas de resonancia en madera y tubos sonoros en diferentes afinaciones en PVC: Gaitas delgadas (Diámetro 26mm ó 3/4”) afinadas en SOL, FA#, RE, DO, LA, SOL# y Gaitas gruesas (Diámetro 21mm ó 1/2”) afinadas en DO, SOL, SOL#.

Figura 15. Fabricación de tubos sonoros en diferentes afinaciones



Fuente: Los autores

El primer paso para probar afinaciones occidentales y lograr la concepción de octavas para mejorar la gaita referente, es a partir de modelos de tubos sonoros con 6 agujeros tonales<sup>30</sup>. Esto con el fin de producir todas las notas que necesita cada escala y, simplemente, aumentar la intensidad del soplo para subir por presión de aire a la octava siguiente.

En todos los ensayos se estudió la impedancia<sup>31</sup> de las notas registradas luego de utilizar la cabeza de la gaita. Las notas se identificaron con un afinador KORG.

#### Reporte de resultados.

- Aunque el tubo sonoro sea originalmente de otro instrumento musical, al adaptar la cabeza de la gaita, el timbre de la gaita se conserva

---

<sup>30</sup> ENTREVISTA con Juan Fernando Hincapié, experto en etnomusicología. 26 de Noviembre de 2006.

<sup>31</sup> IMPEDANCIA: La gaita da una variación en el registro de la nota esperada

perfectamente. Esto demuestra que se puede partir de un instrumento musical afinado y elaborar un tubo igual o similar. Esto no afecta el timbre que le da identidad a la gaita.

Figura 16. Gaitas delgadas (Diámetro 26mm ó 3/4")



Fuente: Los autores

Figura 17. Gaitas gruesas (Diámetro 21mm ó 1/2")



Fuente: Los autores

- Con este diseño de tubos sonoros, se soluciona el problema de la gaita referente, de no registrar dos notas de la escala musical (MI y FA para la escala de SOL) y de esta manera se amplía el número de notas musicales interpretables, permitiendo que se puedan tocar melodías de acuerdo con partituras de mayor exigencia en su registro sonoro.
- En algunos de los tubos, especialmente los de sonidos graves, se agrega un orificio en la parte posterior, similares a los de la flauta dulce. Este

orificio permite llegar a registros más altos sin tener que soplar con más fuerza.

- Aunque los diferentes tubos que se le adaptan a la cabeza de la gaita suenan afinados, se encuentra un problema de ergonomía, ya que la digitación del instrumento cambia al aumentar su longitud y el número de orificios, haciendo más difícil esta tarea.
- Al diseñar un nuevo tubo sonoro para la gaita, se cambia su forma de interpretación, ya que tiene más de sus cinco orificios habituales. Sin embargo, la investigación para la prueba 1 acerca de la evolución de otros instrumentos musicales, demuestra que la mayoría de los casos, estas modificaciones no han tenido problema (*Véase Anexo H. Reporte complementario de la prueba 1*).

#### Conclusiones de la prueba.

- El timbre de la gaita está definido por el diseño de la cavidad sonora de su cabeza y la producción del sonido sobre su boquilla. El timbre es independiente de las características de su tubo sonoro. Esta era una de las hipótesis iniciales para comprobar en el proyecto.
- Se eligen los siguientes tubos delgados para continuar el desarrollo del concepto de diseño, afinados en las siguientes escalas:
  1. SOL (G) corta: Emula el sonido de la gaita corta.
  2. DO (C): Emula la configuración de la flauta dulce.
  3. SOL (G) larga: Emula el sonido de la gaita referente.
- Se eligen las afinaciones en SOL y en DO por recomendaciones directas de músicos integrantes de diferentes tipos de orquestas, ya que éstas son las afinaciones más comunes y estandarizadas.

### 3.5 PRUEBA 3: PRUEBA DE SONIDO A 3 MODELOS FUNCIONALES.

A continuación se presenta una síntesis de la prueba realizada a los tubos seleccionados en la prueba 2, en el estudio de grabación<sup>32</sup>. (Véase Anexo J. Reporte complementario de la prueba 3)

Objetivos de la prueba.

- Tomar registros digitales de las 3 gaitas elegidas (sus notas según la intensidad y la posición y los intervalos entre ellas).
- Estudiar sus respectivas variaciones y promediar la afinación lograda en los modelos creados a partir de los instrumentos tradicionales.
- Identificar problemas de ergonomía en cada diseño mientras se interpreta.
- Con base en los resultados de la prueba, seleccionar dos de las alternativas de afinación para continuar con el proceso de diseño.

Figura 18. Interpretación de 3 modelos funcionales



Fuente: Los autores

Descripción de la prueba. Se tienen en cuenta la cabeza en madera y los 3 modelos de gaitas con diferentes afinaciones, que se presentan en la siguiente imagen:

La afinación de cada registro sonoro se determina mediante un módulo del software *Digital Performer*.

---

<sup>32</sup> Prueba realizada en el estudio de grabación de Luis Jaime Ángel. 25 de Enero de 2007.

Figura 19. Gaita #1 (SOL aguda), Gaita #2 (DO) y Gaita #3 (SOL# tradicional)



Fuente: Los autores

Reporte de resultados. Los siguientes son los resultados que se obtienen en cada una de las 3 gaitas interpretando sus registros en orden.

Tabla 7. Registros de las notas de las gaitas seleccionadas

#	GAITA 1 (SOL)	NOTAS	#	GAITA 2 (DO)	NOTAS	#	GAITA 3 (SOL#)	NOTAS
	Nota aprox. (Hz)			Nota aprox. (Hz)			Nota aprox. (Hz)	
1	G3 (392)	Afinada	1	C3 (262)	Afinada	1	A4 (440)	El primer registro debería ser SOL#. La gaita está desafinada medio tono hacia arriba.
2	A4 (440)	Afinada	2	D3 (294)	Afinada	2	A4# (466)	
3	B4 (494)	Afinada	3	E3 (330)	Afinada	3	C4 (523)	
4	C4 (523)	Afinada	4	F3 (349)	Afinada	4	D4 (587)	
5	D4 (587)	Afinada	5	G3 (392)	Afinada	5	E4 (659)	
6	E4 (659)	Afinada	6	A4 (440)	Afinada	6	F4 (698)	
7	F4 (698)	Afinada	7	B4 (494)	Afinada	7	G4 (784)	
8	G4 (784)	Afinada	8	C4 (523)	Afinada	8	A5 (880)	
9	A5 (880)	Afinada	9	D4 (588)	Afinada	9	B5 (988)	
10	B5 (988)	Afinada	10	E4 (659)	Afinada	10	C5 (1046)	
11	C5 (1046)	Afinada	11	F4 (698)	Afinada	11	D5 (1175)	
12	D5 (1175)	Afinada	12	G4 (784)	Afinada	12	E5 (1319)	
13	E5 (1319)	Afinada	13	A5 (880)	Afinada	13		
14	F5 (1397)	Afinada	14	B5 (988)	Afinada	14		
15	G5 (1568)	Afinada	15	C5 (1046)	Afinada	15		
16	A6	Afinada	16	D5 (1175)	Afinada	16		
17	B6	Afinada	17	E5 (1319)	Afinada	17		
18			18	F4 (1397)	Afinada	18		
19			19	G4 (1568)	Afinada	19		

Fuente. Los autores

Figura 20. Módulo de afinación del software *Digital Performer*



Fuente: Los autores

## Conclusiones de la prueba.

### Afinación

- En las gaitas 1 y 2 se obtienen las siete notas de la escala occidental, perfectamente afinadas, en su respectiva afinación (SOL y DO).
- La gaita 3 está un semitono desafinada hacia arriba (más alta).
- Las pequeñas variaciones que se puedan presentar en la afinación de las notas, son principalmente causadas por la interpretación del instrumento y la fuerza con la que el aire entra al instrumento.

### Ergonomía

- La gaita 1 (SOL) resulta ser fácil y ergonómica al interpretarla.
- La gaita 2 (DO) es difícil de interpretar por su longitud y posición de los orificios. Sin embargo, todos son necesarios y su ubicación es correcta.
- La gaita 3, presenta los mismos problemas ergonómicos de la tradicional.
- El diseño de la cabeza removible presenta un muy buen desempeño, a pesar de haber sido un modelo con muchos elementos para mejorar.
- Los orificios deben conservar la ubicación asignada en las gaitas 1 y 2.

- Para la gaita 1, es recomendable hallar un ángulo de la boquilla adecuado para optimizar el registro de sus tonos agudos.
- Es recomendable tener en cuenta que las posibles variaciones en la afinación de las gaitas 1 y 2 (que se comprueba que están debidamente afinadas) pueden estar dadas por el intérprete y no por errores en el diseño del instrumento; siempre y cuando éstas no sean muy significativas.
- Para la gaita 2 se recomienda efectuar un análisis de mejoramiento ergonómico debido a su alta dificultad de interpretación.
- La gaita 3, réplica de la tradicional, sigue presentando problemas de afinación, ergonomía y amplitud de las notas posibles de interpretar. Por lo tanto, es recomendable seguir trabajando con gaitas tipo 1 ó 2.

### 3.6 RECOMENDACIONES FINALES DEL CONCEPTO ACÚSTICO

- El timbre de la gaita está definido por el diseño de la cavidad sonora de su cabeza y la producción del sonido sobre su boquilla. El timbre es independiente de las características de su tubo sonoro. Esta era una de las hipótesis iniciales para comprobar en el proyecto.
- Es pertinente seguir con la optimización del diseño de la cabeza de resonancia del instrumento, en la etapa de diseño de detalle.
- Se debe continuar con las dimensiones establecidas en los tubos sonoros en DO y SOL, ya que se concluye que cumplen con afinaciones estándar dentro de la escala occidental, apropiadas para el proyecto.
- Si se desea profundizar en una definición más precisa de la configuración de orificios, necesaria para diferentes afinaciones de una manera teórica, existe un método matemático para calcularlas. (*Véase Anexo K. Cálculos de frecuencias exactas*).

## 4. DESARROLLO DEL CONCEPTO DE DISEÑO

### 4.1 DEFINICIÓN

Una vez concluida la experimentación acústica inicial, se puede proceder con el desarrollo del concepto de diseño, retomando las especificaciones de diseño del producto planteadas. En este caso la forma depende mucho de la función y existen muchas limitantes para proponer alternativas formales de diseño. Se han de diseñar las modificaciones al instrumento tradicional, intentando conservar suficientes elementos referentes.

### 4.2 METODOLOGÍA

El proceso inicia con el estudio formal de la gaita tradicional y sus referentes, y además, algunos otros instrumentos de viento, que sirven como inspiración para proponer algunas de las nuevas soluciones de diseño. Se aplican algunos conceptos de teoría de la forma para llegar a una solución formal coherente y armoniosa; especialmente en la cabeza de resonancia del instrumento, trabajando a fondo para darle un fuerte significado semántico; retomando las raíces del instrumento para adaptar sus conceptos originales a las nuevas tendencias de diseño; resolviendo la mayor cantidad de necesidades con la menor cantidad de elementos posibles.

Para continuar con el proceso creativo de dar solución a las diferentes funciones que el instrumento debe cumplir, se tiene una sesión de lluvia de ideas por parte de ambos integrantes del proyecto, consignando las diferentes opiniones frente a cada función en unos mapas de atributos con sus posteriores alternativas en

bocetos. Para luego evaluarlas a partir de diferentes métodos y seleccionar las mejores propuestas, para continuar con el diseño de detalle y optimización.

### 4.3 ANÁLISIS DE ERGONOMÍA

Para planear la aplicación de la ergonomía en el proyecto, es necesario considerar las características del objeto sobre el cual se ha de realizar la intervención, pues de acuerdo con sus características se asignan algunos criterios particulares al diseño y otros de carácter general.

El enfoque ha de estar principalmente en la ergonomía del producto. El objetivo es aplicar principios de utilidad y satisfacer las necesidades mediante el diseño de la gaita, para que el músico al interpretarla, tenga una eficiencia máxima y un mínimo esfuerzo, evitando errores y reduciendo riesgos.

Se tienen en cuenta los siguientes estudios de ergonomía:<sup>33</sup>

- Ergonomía Biométrica: Sobre la biomecánica y los tipos de movimientos. La antropometría y la comodidad en la postura.
- Ergonomía Correctiva: Evaluación de la ergonomía de la gaita referente y ejemplos de otros instrumentos de viento.
- Ergonomía Preventiva: Reducción de riesgos y posibles esfuerzos. Diseño ergonómico del producto.

---

<sup>33</sup> Asociación Española de Ergonomía. <[www.ioc.upc.es/ergomain/AEE](http://www.ioc.upc.es/ergomain/AEE)>

### 4.3.1 Boards de ergonomía.

Figura 21. Board de posturas y digitación de gaita referente



Fuente: Los autores

Figura 22. Board de posturas en otros instrumentos de viento



Fuente: Collage de imágenes tomadas de diferentes fuentes de Internet por los autores

Figura 23. Board de digitación de otros instrumentos de viento



Fuente: Collage de imágenes tomadas de diferentes fuentes de Internet por los autores

#### 4.3.2 Ergonomía para la interpretación de la gaita.

4.3.2.1 Estudios de ergonomía Biométrica. En la gaita se observan los siguientes tipos de movimientos, identificando para cada uno las partes del cuerpo implicadas (*Véase Anexo L. Biomecánica y tipos de movimientos*):

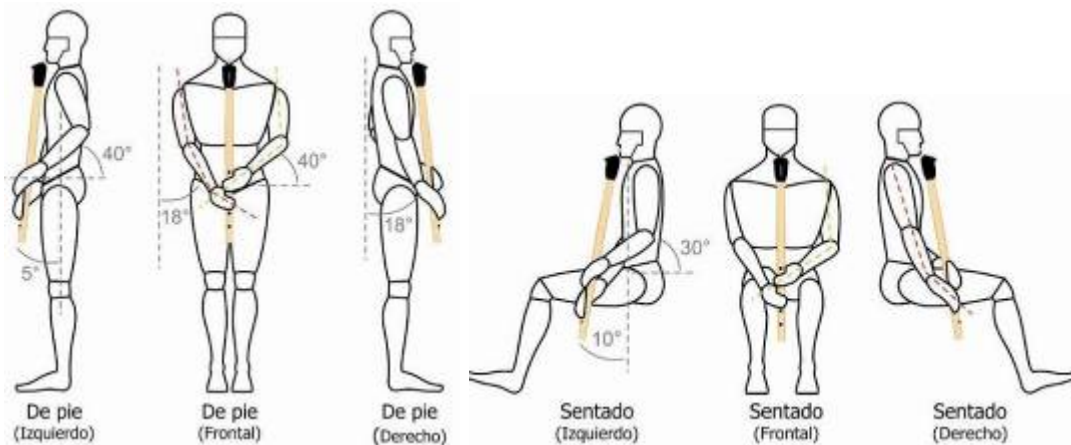
- Movimientos repetitivos (dedos índice y anular)
- Movimientos de manipulación (dedos pulgar y corazón)
- Movimientos continuos (manos)
- Movimientos en serie (brazo)
- Movimiento de ajuste estático (Antebrazo)

En cuanto al tipo de agarre, un buen acoplamiento mano-objeto, reduce la fuerza de agarre máxima requerida e incrementa el peso aceptable para el levantamiento. Ya que la gaita no es muy pesada, el buen agarre se ve reflejado en el esfuerzo de posicionamiento del instrumento y facilidad de su interpretación. Un buen agarre para la gaita está dado si en el producto hay piezas diferentes (diseño de orificios, llaves) que cognitivamente indiquen el acople de los dedos y que puedan ser asidas perfectamente, sin producir desviaciones en la muñeca. Existen 2 tipos de agarre<sup>34</sup> y la gaita utiliza un híbrido de ambos: Un agarre de fuerza, que es cómodo si el tubo es entre 2-4cm de diámetro, ayudando a sujetar la gaita. Un agarre de precisión, que se utiliza para sujetar el instrumento, ayuda a tapan y destapar los orificios.

#### 4.3.2.2 Estudios de ergonomía correctiva de la gaita referente.

Análisis de la gaita referente. Se toma como referencia la gaita hembra afinada en SOL# de 89cm, que obtiene mejores resultados en la prueba 1 de sonido.

Figura 24. Posturas de interpretación de la gaita referente



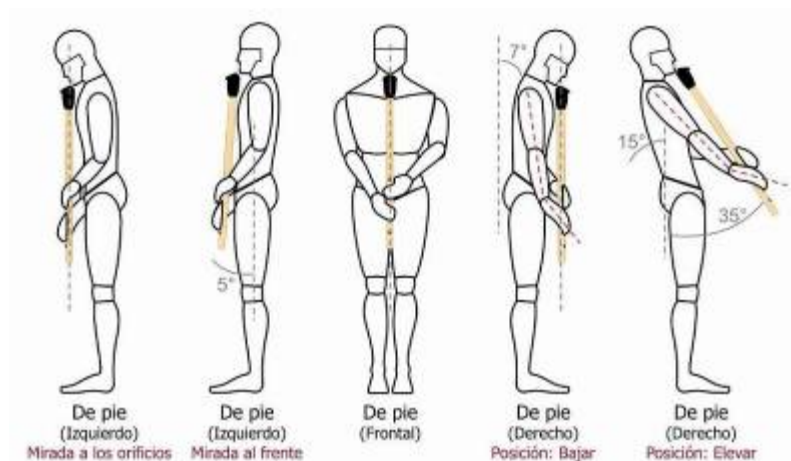
Fuente: Los autores

<sup>34</sup> MAPFRE. 20 preguntas básicas para aplicar la ergonomía en la empresa: Diseño de herramientas. Instituto de Ergonomía MAPFRE. Universidad de Zaragoza. 2001. Pág.203-2007

### Evaluación.

- En posición neutra, el brazo izquierdo se flexiona  $40^\circ$  y el antebrazo y la mano quedan alineados en posición cómoda. En el brazo derecho se exige a la mano un movimiento de aducción<sup>35</sup> no adecuado para acomodarse a los orificios de la gaita. Mientras menor sea la estatura del intérprete, más retirados quedan los orificios y el brazo izquierdo tiende a comportarse como el derecho, adoptando su mala posición.
- Ambos brazos se dirigen al centro donde se encuentra la gaita. El movimiento desde el hombro por delante del tronco es en ambos casos por aducción oblicua<sup>36</sup> anterior. Sin embargo, en todos los casos, el brazo derecho permanece extendido en proyección<sup>37</sup> y el izquierdo se flexiona en retroproyección<sup>38</sup>.

Figura 25. Movimientos de interpretación de la gaita referente



Fuente: Los autores

<sup>35</sup> ADUCCIÓN: Giro de la mano extendida en torsión interna hacia el torso.

<sup>36</sup> ADUCCIÓN OBLICUA: Giro del brazo en torsión interna hacia el torso.

<sup>37</sup> PROYECCIÓN: Brazo extendido a la altura del hombro y este hacia delante.

<sup>38</sup> RETROPROYECCIÓN: Brazo flexionado con el codo hacia atrás.

### Evaluación.

- La posición de pie de frente es la más correcta. Sin embargo, no permite el ángulo de visión necesario para ver los dedos cuando no se domina la melodía, por lo que el tronco se flexiona levemente; quedando la gaita casi perpendicular al piso, obligando al hombro a un movimiento de depresión hacia abajo.
- A partir de esta inclinación, la cadera gira aproximadamente 45°. Al levantar los brazos en abducción<sup>39</sup> hacia la altura de los hombros, se produce un gasto energético mayor, duplicando el consumo de Kilocalorías por minuto, de 0.16 a 0.30. Por la longitud del instrumento, es una posición en la que no se puede permanecer mucho tiempo (*Véase Anexo M. Gastos energéticos en la interpretación de la gaita*).
- El brazo izquierdo se eleva en movimiento de proyección y el antebrazo pierde la flexión adecuada, exigiendo a la muñeca una desviación radial no adecuada.

Análisis de otros instrumentos de viento. Revisando un poco la ergonomía del clarinete, el saxofón y el fagot, comparándola con la gaita tradicional, se identifica que los orificios no son tan distantes a la boquilla; tienen una posición más natural e intentan compensar el peso del instrumento con la posición del cuerpo. (*Véase Anexo N. Análisis de ergonomía en otros instrumentos de viento*).

4.3.2.3 Estudios de ergonomía Preventiva. Se estudian e identifican dentro de los posibles riesgos: Lesiones en miembros superiores tales como tendinitis, tenosinovitis, síndrome de túnel del carpo; fatiga muscular producida por contracciones prolongadas musculares, disnea o falta de oxígeno que puede causar asma, problemas sanguíneos o cardíacos o efisema pulmonar y por último

---

<sup>39</sup> ABDUCCIÓN: Giro de la mano extendida en torsión externa opuesta al torso

problemas auditivos generados por el ruido. (*Véase Anexo O. Posibles riesgos de salud en la interpretación de la gaita*).

Como acciones preventivas se deben tener en cuenta:

- Reducción del esfuerzo muscular, utilizando ayudas mecánicas para una posición óptima de los elementos del producto.
- Distribución de esfuerzos para evitar concentración de fuerzas indebidas, mejorando los puntos de soporte y de apoyo.
- Eliminación de movimientos inútiles para disminuir el gasto energético.
- Adoptar posturas adecuadas con cambios frecuentes: evitar las contracciones prolongadas en la misma posición.
- Si se interpreta en un ambiente cálido, asegurar una buena circulación de aire o ventilación.

#### 4.3.3 Principios básicos de diseño para la ergonomía.

- Mantenimiento natural de los codos junto al cuerpo.
- Las muñecas en posición neutral, alineada al antebrazo.
- Minimizar la tensión al agarrar el instrumento.
- Ambas manos deben realizar movimientos simultáneos semejantes, en direcciones opuestas y simétricas.
- Los orificios de digitación en que se fije la mirada, deben ser tan próximos entre sí como sean posibles, y su ubicación proporcional a la distancia visual del más cercano a mirar, ya que mientras mayor longitud del instrumento, el ángulo visual se reduce.

## 4.4 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE DISEÑO

### 4.4.1 Board de diseño de la gaita referente.

Figura 26. Board de la cabeza de la gaita referente



Fuente: Los autores

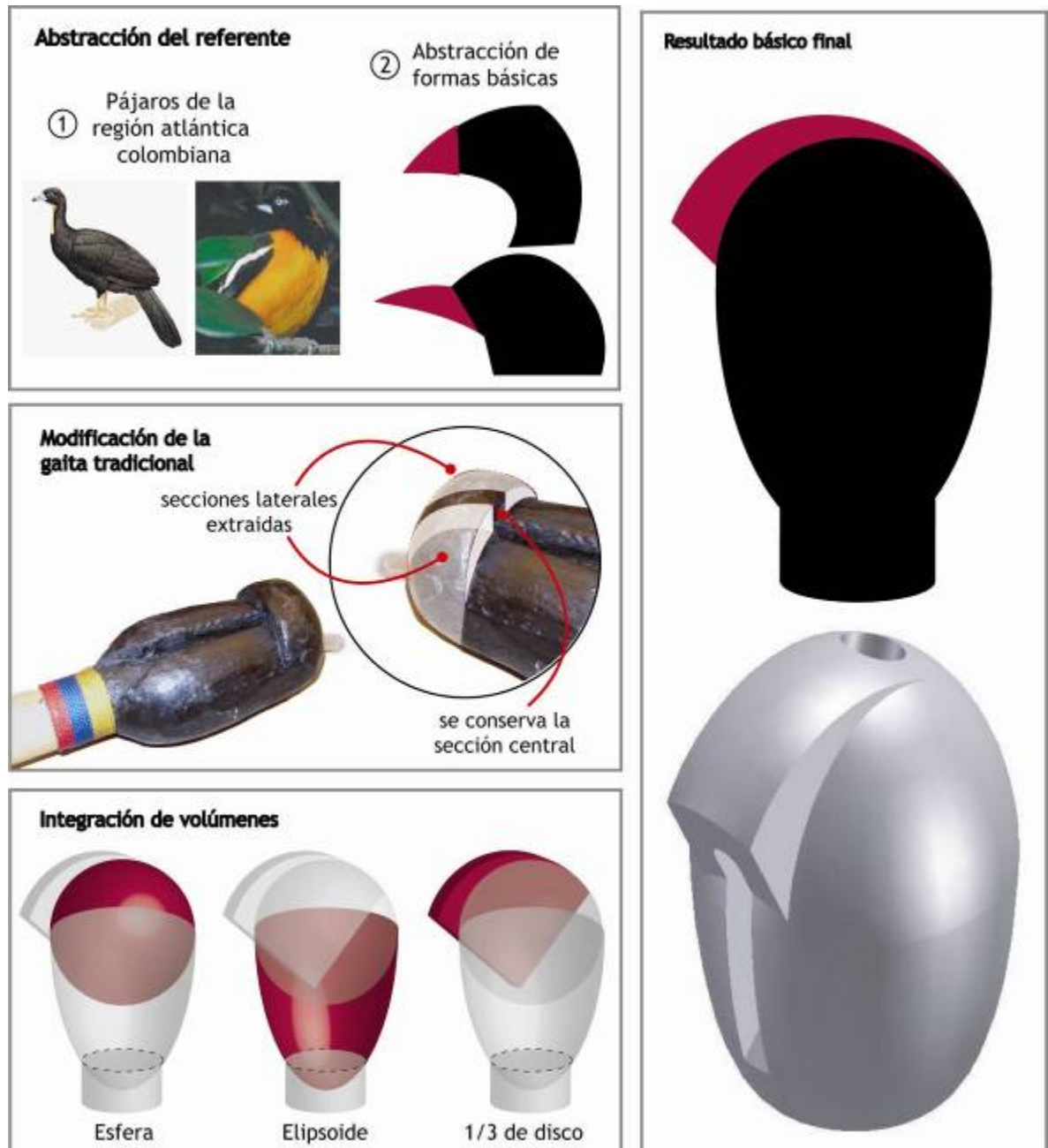
4.4.2 Generación del concepto estético. La aplicación de teoría de las formas, como son: la abstracción del referente formal y simbólico para conservar su origen y la integración de volúmenes para generar nuevas geometrías,<sup>40</sup> se implementa especialmente en el diseño de la cabeza de resonancia. Los propósitos de la evolución de su forma tradicional, son especialmente: recuperar el referente sonoro relacionado con los pájaros, involucrándolos en la forma y

---

<sup>40</sup> TEORÍA DE LA FORMA. Documentación de la asignatura de Ingeniería de Diseño de Producto. Universidad Eafit. Medellín. 2006

trabajar las líneas de diseño del referente sexual original, para una propuesta mucho más conceptual y contemporánea (menos explícita).

Figura 27. Aplicación de teoría de la forma



Fuente: Los autores

4.4.3 Selección de conceptos de diseño. A partir del diseño conceptual, se extraen los conceptos de diseño para elaborar alternativas de solución: Tubos sonoros, sistema de ensamble de tubos y cabeza, mecanismo posicionador de boquilla, sistema para graduar y asegurar la boquilla, dispositivo para evitar la salida del aire, movimiento lineal de la boquilla.

#### 4.4.3.1 Tubos sonoros.

Figura 28. Bocetos y atributos del diseño de los tubos

MAPA DE ATRIBUTOS			
POSITIVO	<b>NO NEGOCIABLE</b>	<b>DIFERENCIADOR</b>	<b>EXCITANTE</b>
	- Que produzca un buen sonido - Que suene como una gaita	- Que esté bien afinado - Que produzca todas las notas de una escala determinada	- Que continúe la tradición de diferentes afinaciones y pueda tener varias escalas.
NEGATIVO	<b>TOLERABLE</b>	<b>INSATISFACTORIO</b>	<b>ENFURECEDOR</b>
	- Que el sonido varíe un poco del sonido de la gaita original	- Que se produzcan sonidos no deseados - Que sea complicado de ajustar	- Que sea incómodo de tocar - Que duelan los dedos
NEUTRO	<b>¿ Y QUÉ ?</b>	<b>PARALELO</b>	
	- Materiales para que no se raye y conserve su acabado fino	- Dispositivo muy standard y fácil de entender y operar	

A.1 Tubo con 2 configuraciones de afinación y cuneta para tapar las salidas de sonido



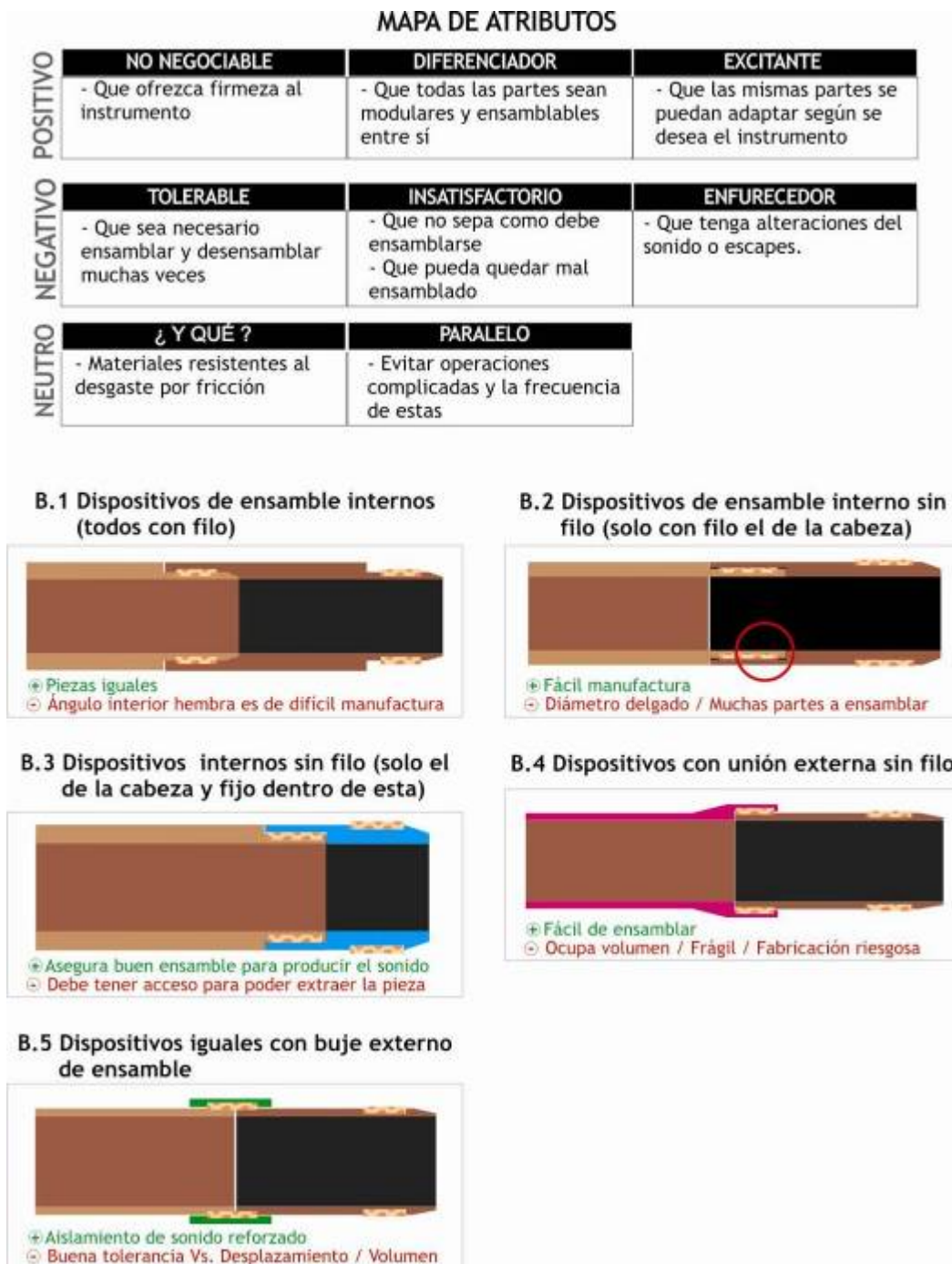
A.2 Dos tubos diferentes



Fuente: Los autores

#### 4.4.3.2 Sistema de ensamble de tubos y cabeza.

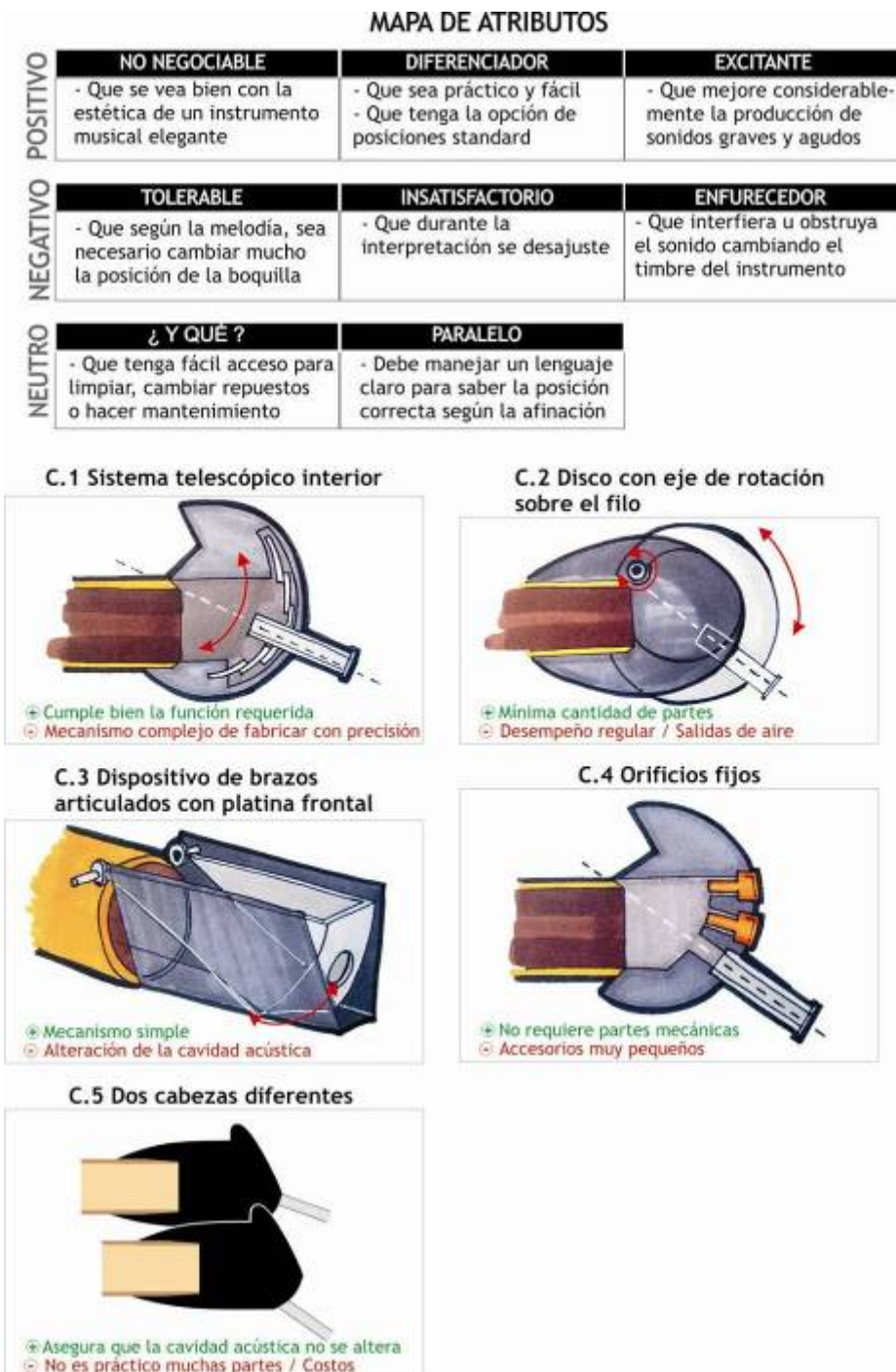
Figura 29. Bocetos y atributos del diseño de ensambles



Fuente: Los autores

### 4.4.3.3 Mecanismo posicionador de la boquilla.

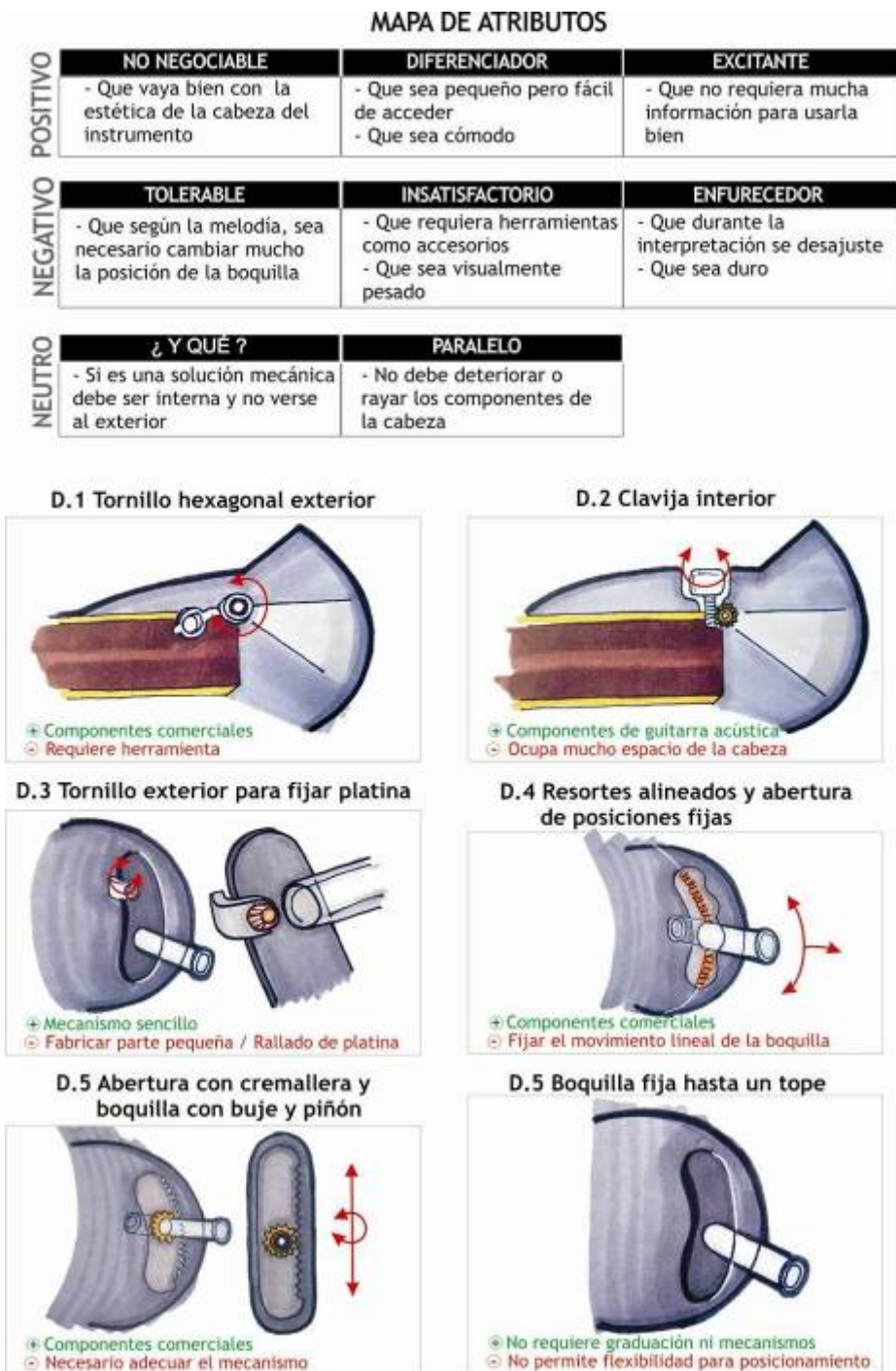
Figura 30. Bocetos y atributos del diseño de mecanismos para la boquilla



Fuente: Los autores

#### 4.4.3.4 Sistema para graduar y asegurar la boquilla.

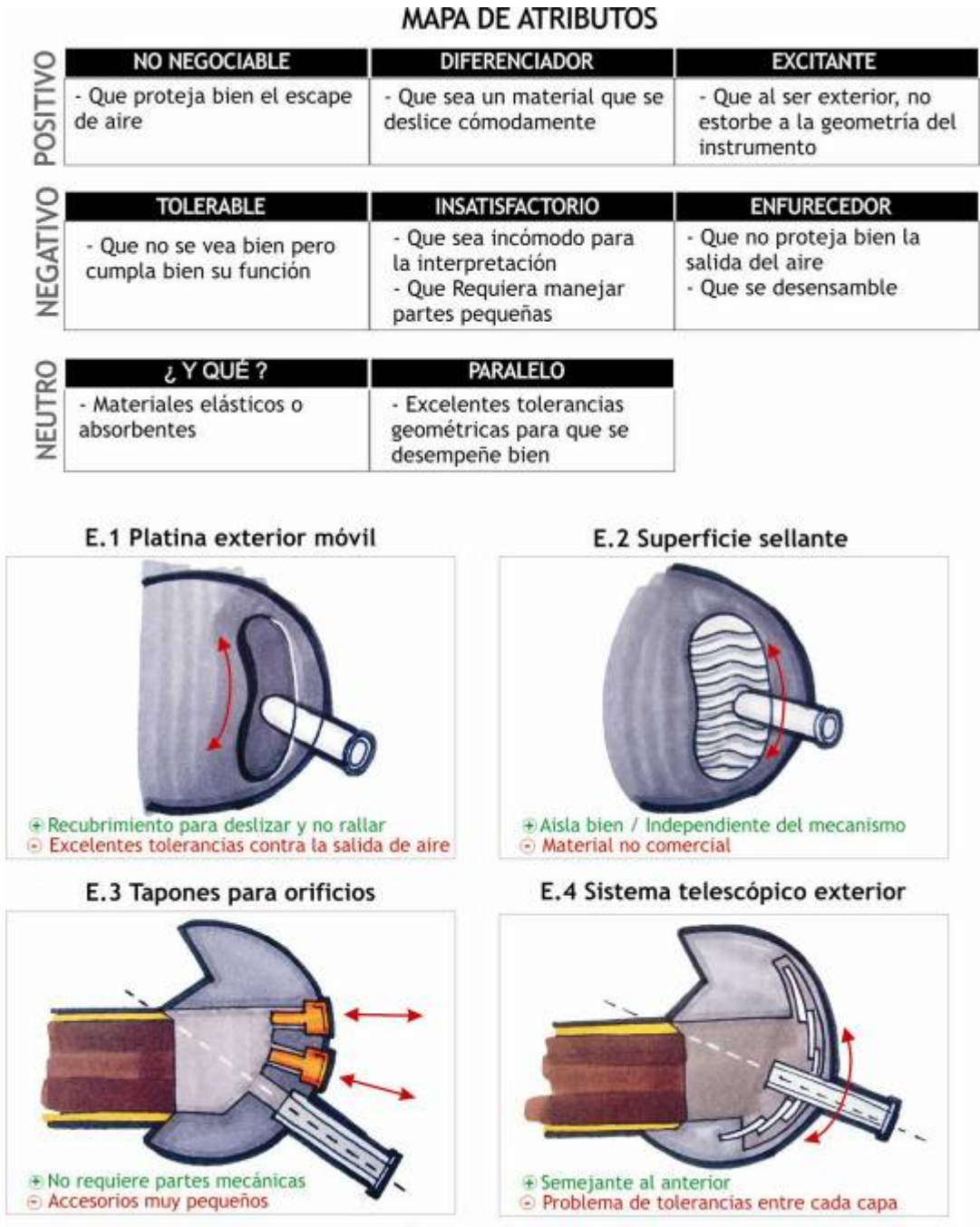
Figura 31. Bocetos y atributos del diseño para graduar la boquilla



Fuente: Los autores

#### 4.4.3.5 Dispositivo para evitar la salida del aire.

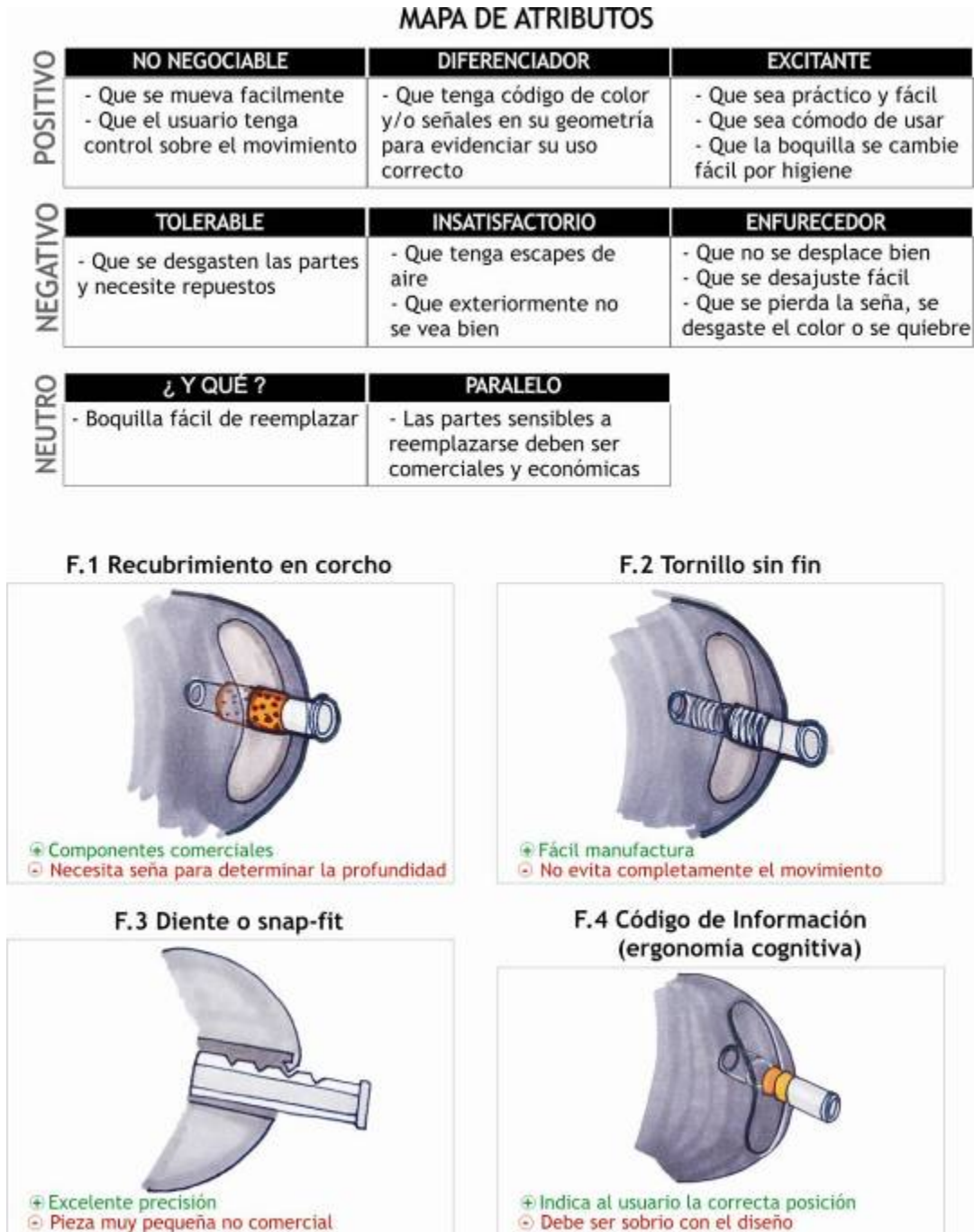
Figura 32. Bocetos y atributos del diseño de sellamiento



Fuente: Los autores

#### 4.4.3.6 Movimiento lineal de la boquilla.

Figura 33. Bocetos y atributos del diseño de posicionamiento de la boquilla



Fuente: Los autores

4.4.4 Evaluación de conceptos de diseño. Para evaluar las propuestas de diseño en cada función señalada, se utiliza una matriz de puntuación ponderada de concepto<sup>41</sup>, en la cual se seleccionan 10 criterios básicos, a los cuales se les asigna un porcentaje de peso y se califica cada concepto de 1 a 5 según su relevancia (siendo 5 el máximo). Finalmente se multiplica por su peso para dar una puntuación ponderada, que se suma y se ordena por rangos según los puntajes obtenidos, para determinar así su continuidad en el proceso.

Tabla 8. Matriz de puntuación ponderada de concepto

Criterios de selección	Peso	Conceptos															
		A.1		A.2		B.1		B.2		B.3		B.4		B.5			
		1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=		
1	Fácil de entender por usuario	15	5	75	4	60	4	60	4	60	5	75	2	30	3	45	
2	Fácil de operar	15	5	75	5	75	4	60	5	75	4	60	3	45	2	30	
3	Logra la precisión deseada	20	4	80	5	100	5	100	5	100	5	100	5	100	3	60	
4	Fácil obtención de material	5	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	
5	Fácil manufactura y costos	10	4	40	4	40	2	20	4	40	4	40	2	20	2	20	
6	Mantenimiento	5	3	15	3	15	5	25	5	25	4	20	3	15	3	15	
7	Seguridad	5	4	20	3	15	4	20	4	20	5	25	3	15	4	20	
8	Ensamble	10	5	50	4	40	5	50	5	50	5	50	5	50	5	50	
9	Vida en servicio	5	4	20	5	25	4	20	4	20	5	25	3	15	3	15	
10	Afinidad con el tipo de producto	10	3	30	5	50	5	50	5	50	5	50	2	20	3	30	
<b>Total</b>			430		445		430		465		470		335		310		
<b>Rango</b>			2		1		3		2		1		4		5		
<b>Signe?</b>			Revisar		Si		Revisar		Revisar		Si		No		No		

Criterios de selección	Peso	Conceptos																							
		C.1		C.2		C.3		C.4		C.5		D.1		D.2		D.3		D.4		D.5		D.6			
		1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=		
1	Fácil de entender por usuario	15	5	75	3	45	4	60	3	45	5	75	5	75	3	45	5	75	3	45	5	75	5	75	
2	Fácil de operar	15	5	75	4	60	5	75	3	45	4	60	5	75	3	45	5	75	5	75	4	60	5	75	
3	Logra la precisión deseada	20	3	60	3	60	5	100	5	100	5	100	4	80	5	100	5	100	4	80	4	80	4	80	
4	Fácil obtención de material	5	3	15	5	25	5	25	4	20	5	25	5	25	5	25	3	15	5	25	5	25	5	25	
5	Fácil manufactura y costos	10	2	20	4	40	4	40	3	30	3	30	5	50	5	50	3	30	4	40	4	40	5	50	
6	Mantenimiento	5	3	15	5	25	5	25	3	15	3	15	3	15	2	10	4	20	5	25	5	25	5	25	
7	Seguridad	5	5	25	3	15	5	25	3	15	5	25	2	10	3	15	3	15	4	20	5	25	5	25	
8	Ensamble	10	2	20	5	50	3	30	5	50	5	50	3	30	3	30	3	30	5	50	4	40	5	50	
9	Vida en servicio	5	2	10	2	10	4	20	3	15	5	25	5	25	4	20	5	25	3	15	5	25	5	25	
10	Afinidad con el tipo de producto	10	4	40	2	20	5	50	3	30	5	50	2	20	3	30	3	30	4	40	3	30	4	40	
<b>Total</b>			355		350		450		365		455		405		370		415		415		425		470		
<b>Rango</b>			4		5		2		3		1		5		6		3		3		2		1		
<b>Signe?</b>			No		No		Si		No		Si		No		No		Revisar		Desarrollo		Si		Si		

<sup>41</sup> ULRICH, Kart T. y EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos. Enfoque multidisciplinario. Tercera edición. EU, McGraw Hill, 2004. Pág. 130-134.

Criterios de selección	Peso	Conceptos																
		E.1		E.2		E.3		E.4		F.1		F.2		F.3		F.4		
		1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	1-5	=	
1	Fácil de entender por usuario	15	5	75	5	75	3	45	5	75	5	75	5	75	3	45	5	75
2	Fácil de operar	15	5	75	5	75	3	45	5	75	5	75	5	75	4	60	5	75
3	Logra la precisión deseada	20	3	60	5	100	5	100	3	60	4	80	5	100	5	100	4	80
4	Fácil obtención de material	5	5	25	2	10	4	20	3	15	5	25	4	20	4	20	4	20
5	Fácil manufactura y costos	10	3	30	2	20	3	30	2	20	4	40	4	40	4	40	4	40
6	Mantenimiento	5	5	25	3	15	3	15	3	15	3	15	4	20	5	25	4	20
7	Seguridad	5	4	20	5	25	3	15	5	25	5	25	3	15	4	20	5	25
8	Ensamble	10	4	40	4	40	5	50	2	20	5	50	4	40	5	50	5	50
9	Vida en servicio	5	5	25	3	15	3	15	2	10	4	20	5	25	5	25	4	20
10	Afinidad con el tipo de producto	10	5	50	2	20	3	30	4	40	5	50	3	30	5	50	3	30
<b>Total</b>			425		395		365		355		455		440		435		435	
<b>Rango</b>			1		2		3		4		1		2		3		3	
<b>Sigue?</b>			Si		Desarrollo		No		No		Si		Desarrollo		Revisar		Combinar	

Fuente. Los autores

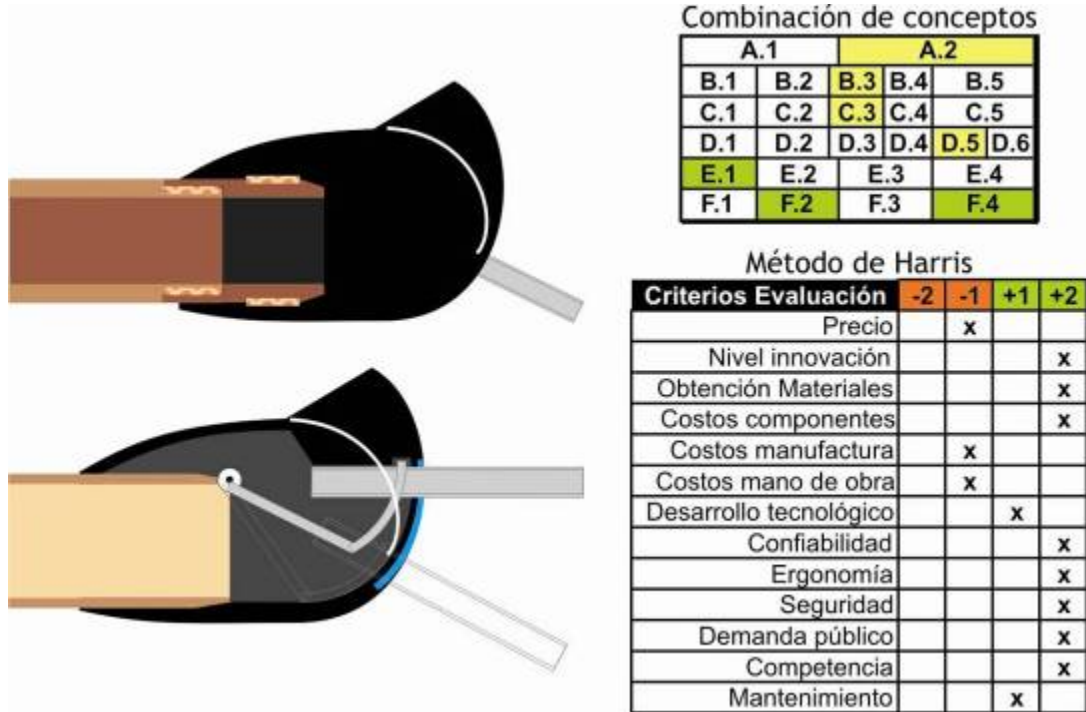
4.4.5 Generación y evaluación de alternativas. Para evaluar las diferentes combinaciones de las alternativas de diseño, se emplea el método de Harris<sup>42</sup> en el cual se visualiza rápidamente la efectividad lograda en cada concepto analizado, (+2) si supera las expectativas del usuario o (-2) si no lo logra. Para más detalle: (Véase Anexo P. Criterios de evaluación para el Método Harris).

Para cada alternativa se realiza una combinación de conceptos, provenientes del capítulo de selección de conceptos de diseño. Cada fila corresponde a un concepto analizado y se señala la alternativa más eficiente. Se continúa utilizando los colores con los que se representan los resultados en la matriz anterior.

<sup>42</sup> PUGH, Stuart. Adaptación del método de selección del concepto, desarrollado en 1990.

#### 4.4.5.1 Alternativa 1.

Figura 34. Boceto de la alternativa 1, combinación de conceptos y método de Harris



Fuente: Los autores

#### Observaciones.

- Propone un mecanismo que obstruye lo menos posible el espacio requerido en la cavidad de la cabeza para producir el sonido. Sin embargo, el espesor de este elemento puede ser crítico para que sostenga bien la boquilla siempre y cuando la abertura por donde sale el aire no sea mayor a la definida en las especificaciones del producto anteriormente.
- El tubo seccionado incluye una extensión a su extremo que ensambla con la cabeza, al interior de ésta, que elimina operaciones de ensamble y asegura una buena generación del sonido siempre, independiente del tubo sonoro empleado para dar afinación.
- La forma exterior de la cabeza es consecuente con la funcionalidad de sus mecanismos al interior.

#### 4.4.5.2 Alternativa 2.

Figura 35. Boceto de la alternativa 2, combinación de conceptos y método de Harris



Fuente: Los autores

#### Observaciones.

- Esta alternativa propone un solo tubo sonoro, eliminando procesos de ensamble. Sin embargo, es complicado asegurar un buen elemento que cubra las demás afinaciones sin escapes de sonido y conserve los acabados sin deterioro por el movimiento.
- Posee 2 cabezas diferentes. Lo que evita incorporar un mecanismo, pero que duplica la manufactura de moldes y aumenta la cantidad de partes para ensamblar y desensamblar, corregido con el tubo único.
- El elemento que tapa los orificios no necesarios, tiene problemas de sujeción, según los dispositivos modulares que se añaden o extraen, según la afinación deseada.

#### 4.4.6 Recomendaciones finales del desarrollo de diseño.

- A partir de las 2 alternativas generadas, se continúa el desarrollo de un diseño óptimo que conserva los conceptos más relevantes de cada una. De la alternativa 1, se continúa la idea de trabajar tubos independientes para cada afinación y su sistema de ensamble segmentado. De la alternativa 2 se conserva la simplicidad del sistema, evitando mecanismos internos y componentes delicados de ajuste, especialmente para sellar la salida del aire.
- Se determina que el sistema de graduación de la boquilla es bastante complicado, ya que afectaría de manera significativa el sellamiento de la salida del aire y la resonancia producida por la cavidad de la cabeza. Así que se opta por determinar un ángulo preciso para fijar la posición de la boquilla, que permita un buen desempeño para cada configuración de afinación.
- Seguido a esto, sigue el proceso de perfeccionamiento de detalles y refinamiento de la idea, ya que hasta este punto no se han estudiado a fondo las acciones correctivas de ergonomía y las características finales de diseño, orientadas al ensamble y la manufactura.

## 5. DISEÑO DE DETALLE

### 5.1 DEFINICIÓN

Es necesario profundizar el análisis de los detalles que han de configurar el nuevo diseño, analizando diferentes situaciones que son clave para facilitar su proceso de manufactura y luego evaluar su desempeño en las pruebas finales.

### 5.2 METODOLOGÍA

En las etapas de desarrollo acústico y de diseño, se evidencian problemas ergonómicos presentes, tanto en la gaita referente como en una posible nueva configuración de orificios, haciendo evidente la necesidad de incorporar un sistema que mejore la calidad de digitación.

Luego se perfeccionan las características de diseño con modelaciones tridimensionales, en función de materializar su concepto estético y su diseño para el ensamble, con el fin de satisfacer las necesidades que sugieren especial atención a este concepto en las etapas iniciales del proyecto. Este análisis va de la mano para alcanzar un eficiente diseño de su proceso de manufactura en su etapa de producción.

### 5.3 MECANISMOS

Con los parámetros de ergonomía y la prueba a los tubos seleccionados, se concluye la necesidad de incorporar mecanismos de llaves para mejorar la interpretación del 1º y 4º orificio del tubo en DO, ya que presentan incomodidad. El tubo en SOL no requiere llaves. Se tienen en cuenta los sistemas de llaves del

clarinete y la flauta<sup>43</sup>, y se propone la adaptación a la gaita la llave de DO de flauta travesa o llaves de LA o MI de clarinete, por el diámetro de la zapatilla, la longitud del eje, la accesibilidad comercial y los costos de importación.

Figura 36. Llaves para flauta travesa y para clarinete.



Fuente: Yamaha parts list [CD-ROM]. [Japan 2006]

## 5.4 MODELACIONES Y EXPLICACIÓN DE LAS PARTES

### 5.4.1 Diseño formal del producto.

Figura 37. Vistas renderizadas del diseño de la cabeza.



Fuente: Los autores

En esta etapa se materializa el concepto estético que se comienza a explorar en la etapa de diseño. La evolución de la parte formal de la gaita se concentra solamente en el diseño de su cabeza, ya que el resto de componentes dependen netamente de su funcionalidad.

---

<sup>43</sup> ENTREVISTA con José Julián Botero. Clarinetista. 29 de Noviembre de 2006  
ENTREVISTA con Juan Gonzalo Saldarriaga. Técnico Musical. Yamaha. 28 de Marzo de 2007  
ENTREVISTA con Rubén Valencia. Luthier experto en instrumentos de viento. 30 de Marzo de 2007

## 5.4.2 Partes del producto.

Figura 38. Vistas en explosión y lista de partes de las gaitas en SOL y DO.



Fuente: Los autores

La selección del material para cada componente del instrumento, se analiza profundamente dentro de la etapa de diseño para la producción.

### 5.4.3 Detalles de diseño.

Figura 39. Detalles de la cabeza y el mecanismo de llaves.



**Diseño de las llaves para la gaita en DO:**



Fuente: Los autores

## 5.5 DISEÑO PARA ENSAMBLE

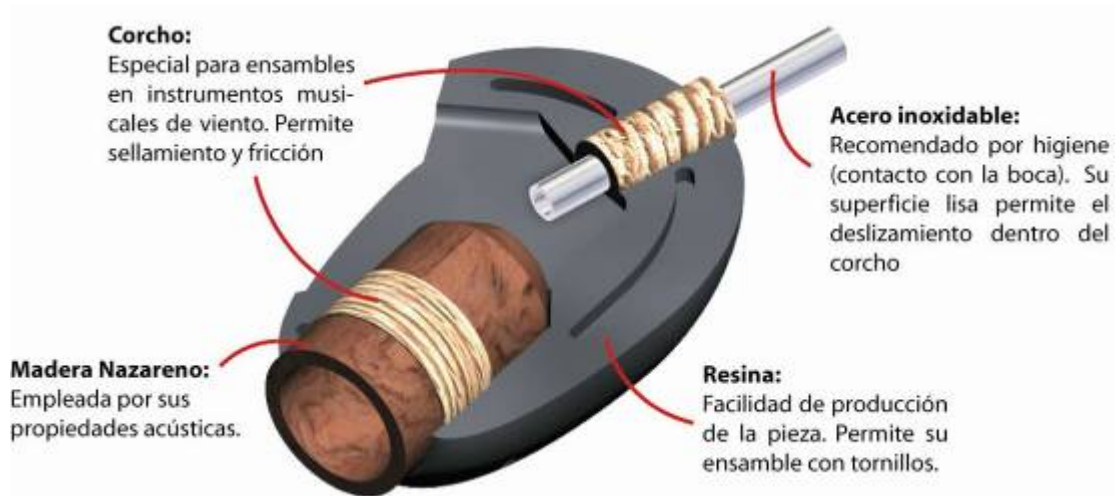
Uno de los elementos en el diseño de la gaita, que se establece como requerimiento desde el inicio del proceso, es el de facilidad de transporte. Por esta razón se decide dar el atributo de modularidad al instrumento, tal como se encuentra en otros instrumentos musicales de viento como el clarinete, la flauta travesa, el piccolo, entre otros.

La gaita afinada en DO se secciona en tres partes básicas: la cabeza (con un tubo interno) y dos secciones del tubo, ensamblables según el uso. La afinada en SOL se secciona en dos partes básicas: la cabeza con tubo interno y un único tubo sonoro para interpretar. (La gaita en SOL es más corta que la de DO). Su sistema de ensamble es completamente manual.

A continuación se presentan los elementos tenidos en cuenta para los diferentes ensambles en el diseño:

### 5.5.1 Materiales para el ensamble.

Figura 40. Materiales sugeridos para el ensamble de las partes

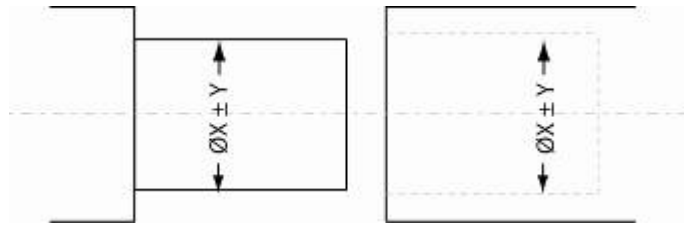


Fuente: Los autores

### 5.5.2 Detalles de las partes de ensamblaje.

Ensamble entre tubos de madera o cabeza - tubo: Los tubos de madera sin el corcho deben entrar con un ensamble deslizante. Es el ajuste más apretado que puede girar libremente (Ajuste deslizante tipo ANSI RC3).

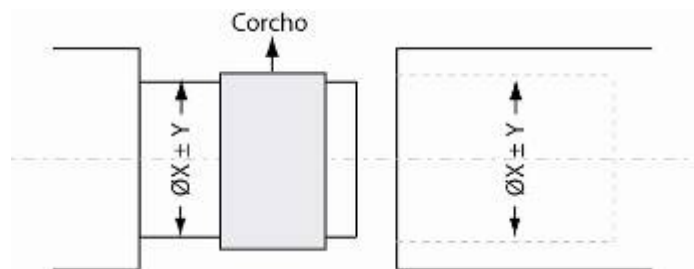
Figura 41. Ajuste deslizante tipo ANSI RC3



Fuente: Los autores

Ensamble entre tubos de madera o cabeza - tubo, con el corcho: Los tubos de madera, con el corcho, deben entrar con un ensamble de ajuste fijo. Se emplea para la fijación exacta de piezas que deben ensamblar sin juego perceptible (Ajuste tipo ANSI RC1)<sup>44</sup>.

Figura 42. Ajuste tipo ANSI RC1



Fuente: Los autores

---

<sup>44</sup> DIBUJO TÉCNICO. Documentación de la asignatura. Universidad Eafit, Ingeniería Mecánica. 2001

Ensamble de la cabeza de resina. La cabeza cuenta con unas guías macho - hembra para facilitar el posicionamiento del ensamble. Para sujetar las dos partes con mayor firmeza, y evitar escapes de aire (para efectos de resonancia), se utilizan cuatro tornillos de sujeción.

Figura 43. Elementos de ensamble de la cabeza de resonancia



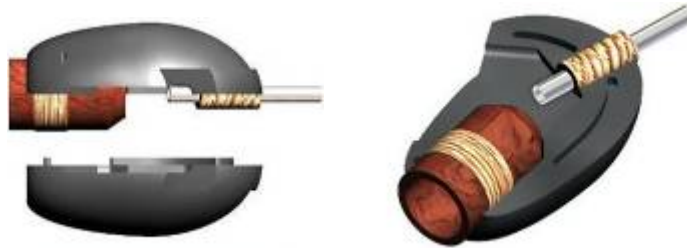
Fuente: Los autores

Ensamble de la boquilla. Es recomendable ubicar el corcho cilíndrico antes de cerrar las dos partes de la cabeza. El tubo de acero inoxidable puede ensamblarse antes o después de cerrarla, ubicándolo en el orificio del corcho (este ensamble queda deslizante, gracias a la superficie lisa del tubo y las tolerancias entre ellos. Sin embargo, no se percibe juego entre ellos y el ensamble queda bien ajustado para evitar escapes de aire<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston. Product design for manufacture and assembly. Marcel Dekker Inc. September 2001

Figura 44. Ensamble de la boquilla y la cabeza de resonancia



Fuente: Los autores

Ensamble de las llaves. Las llaves van ensambladas a la madera por medio de torres roscadas. El resto del ensamble se ve claramente en las imágenes.

Figura 45. Ensamble del mecanismo de llaves



Fuente: Los autores

## 5.6 PLANOS PARA LA FABRICACIÓN

Antes de detallar los procesos de manufactura y como conclusión de la etapa de diseño de detalle, todas las decisiones en cuanto a geometría, dimensiones y tolerancias, quedan registradas en planos de fabricación para cada parte. La definición de estos se hacen en paralelo con la elaboración de las cartas de procesos, que se anexan debidamente en el diseño para la producción, para evaluar los requerimientos y limitaciones de fabricación con cada técnica sugerida, sea por medio de herramientas manuales o mecánicas, o por medio de máquinas automáticas. (Véase Anexo Q. Planos para la fabricación).

## 6. DISEÑO PARA LA PRODUCCIÓN

### 6.1 DEFINICIÓN

A partir del interés inicial de una fabricación más industrial, el diseño para la producción replantea los materiales y procesos originales, proponiendo un proceso alternativo.

### 6.2 METODOLOGÍA

Inicia con la revisión de los procesos artesanales de fabricación, necesaria para saber escoger los mejores materiales y procesos sustitutos. Continúa con un estudio de los materiales que puedan tener un buen desempeño acústico en cada uno de las partes del diseño y su proceso de manufactura más adecuado. Por último, se estiman los costos aproximados del proceso planteado.

### 6.3 ANÁLISIS DE LA FABRICACIÓN ARTESANAL

El proceso de fabricación artesanal de la gaita hembra se caracteriza por las diferencias notables en el diseño, según el fabricante y la región<sup>46</sup>. Aún si la transformación de los materiales es muy semejante, (tubo sonoro de cactus, cabeza de cera de abeja y carbón, y boquilla de pluma de pato o de plástico), las dimensiones de sus partes y la calidad de la manufactura es muy variable. El análisis detallado del proceso, evidencia aquellos “secretos”, fundamentados en la experiencia propia del artesano, tenidos en cuenta al momento de determinar

---

<sup>46</sup> ENTREVISTA con Alexis Cárcamo, gaitero profesional. 20 de Febrero de 2006

los nuevos procedimientos para su producción industrial. (*Véase Anexo R. Proceso de Fabricación Artesanal*).

## 6.4 INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES ACÚSTICAS DE DIFERENTES MATERIALES

Tanto el aislamiento acústico como la posibilidad de facilitar la producción de ondas de sonido, dependen de los materiales utilizados al igual que de los detalles de diseño. Es necesario determinar materiales de buena resonancia

6.4.1 Propiedades acústicas de la madera. La transmisión del sonido a través de la madera se puede sintetizar en 2: la velocidad del sonido, la cual en sentido longitudinal es mayor que en el transversal; y la resistencia al paso de ondas sonoras (factor que depende de la densidad del material).

La madera es relativamente de baja densidad y tiene un bajo índice de reflexión de ondas sonoras, absorbiendo la energía acústica; haciéndola apta para los efectos de aislamiento acústico. Sin embargo, las maderas de alta densidad, tienen efecto contrario: buena propagación de vibraciones resonantes o reflejadas<sup>47</sup>.

6.4.2 Evaluación y pre-selección del material. Analizando diferentes maderas comerciales en Colombia, los siguientes son los parámetros de selección para evaluar y seleccionar el más adecuado<sup>48</sup> (*Véase Anexo S. Estudio comparativo entre diferentes Maderas*):

---

<sup>47</sup> WEIR PAREDES, Alfredo José. HERNÁNDEZ VÉLEZ, José Ignacio. Características, resistencias y usos de algunas maderas colombianas. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Seccional Medellín. Facultad Nacional de Minas. Medellín 1982.

1. Material accesible en zonas donde fabrican el Instrumento actualmente y/o en el departamento donde se desarrolla este proyecto.
2. Madera dura de densidad media-alta para buena resonancia.
3. Experiencia previa en la construcción de otros instrumentos musicales o que según estudios tenga potencial para ser empleado con este fin.
4. Facilidad para trabajar con herramientas manuales y mecánicas.
5. Durabilidad, resistencia a los insectos, a la humedad, a la intemperie.
6. Que no se raje o astille y que aguante esfuerzos de rotura y flexión.
7. Buen acabado y pulimiento de la superficie. Que no sea corrosiva.
8. Estabilidad dimensional. Máximo 5% de contracción radial y encogimiento.
9. Madera liviana, que no cause fatiga luego de un tiempo prolongado.
10. Coeficiente de fricción adecuado para detalles de ensamble.
11. Si imita las propiedades de otra madera, que cumplan con el mínimo de los aspectos destacados en ésta para el proyecto.

Con los parámetros de selección definidos y basados en una lista preliminar de 58 diferentes especies Colombianas (*Véase Anexo S. Estudio comparativo entre diferentes Maderas*), se pre-seleccionan las siguientes 25 que se consideran cumplen con las propiedades suficientes para fabricar tubos sonoros para instrumentos musicales de viento<sup>49</sup>:

---

<sup>48</sup> ESCOBAR CARDONA, Oscar y RODRÍGUEZ GUZMÁN Jorge Ricardo. Las maderas en Colombia. SENA Regional Antioquia Chocó. Centro Colombo Canadiense de la Madera. Medellín. 1993

<sup>49</sup> ENTREVISTA con Jorge Eliécer Guzmán, Ingeniero forestal e instructor y asesor del Centro Nacional de la Madera del SENA, regional Medellín. 23 de Septiembre de 2006  
ENTREVISTA con Juan Fernando Hincapié, experto en etnomusicología. 1 de Octubre de 2006

Tabla 9. Maderas pre-seleccionadas para fabricar la gaita

Maderas de excelentes propiedades		Maderas de buenas propiedades	
1	ALGARROBO - JATOPA ( <i>Hymenaea courbaril</i> )	12	ACHAPO ( <i>Cedrelinga catenaeformis</i> )
2	CAOBA - PALO SANTO ( <i>Swietenia spp</i> )	13	BOCOTE - NOGAL CAFETERO - VARA DE HUMO ( <i>Cordia alliodora</i> )
3	CARACOLÍ ( <i>Anacardium Excelsum</i> )	14	CAMAJÓN ( <i>Sterculia apetala</i> )
4	CHANUL ( <i>Humiriastrum procerum</i> )	15	CEDRO ( <i>Cedrela odorata</i> )
5	GRANADILLO ( <i>Dalbergia retusa</i> )	16	CEIBA ( <i>Ceiba pentandra</i> )
6	GUADUA CARRIZO ( <i>Chusqueam phyllips</i> )	17	CIPRÉS ( <i>Cupressus disticha</i> )
7	NAZARENO ( <i>Peltogyne porphyrocordia</i> )	18	CUANGARE ( <i>Diaphanthera gracilipes</i> )
8	PANDALA ( <i>Dugadodentrum striatifolia</i> )	19	CHINGALÉ ( <i>Jacaranda copaia</i> )
9	SANDE ( <i>Brosium utile</i> )	20	GUADARIPO ( <i>Nectandra guaripipo</i> )
10	SUCUPIRA ( <i>Diptotropis purpúrea</i> )	21	GUINO ( <i>Carapa guianensis</i> )
11	TECA ( <i>Tectona grandis</i> )	22	MACHARE ( <i>Symphonia globulifera</i> )
		23	MARAPOLAN ( <i>Guarea grandifolia</i> )
		24	NOGAL ( <i>Juglans regia</i> )
		25	SAJO ( <i>Camposperma panamensis</i> )

Fuente. Los autores

## 6.5 MATERIALES SELECCIONADOS PARA EL PROTOTIPO

6.5.1 Madera nazareno. (*Peltogyne paniculada Benth*). Para fabricar los tubos sonoros. Su procedencia principal en Colombia viene del Noreste de Antioquia y es una madera fina utilizada en fabricación de diapasones de guitarra y cajas de resonancia de violines. Aunque no es muy fácil de trabajar con herramientas manuales, con herramientas de filo reforzado se logra un buen acabado (no muy brillante). Es de buena estabilidad dimensional con contracciones muy bajas para su densidad. Su duramen<sup>50</sup> violeta presenta buena durabilidad y es resistente al ataque de hongos e insectos.

Figura 46. Madera nazareno



Fuente: Pavimentos online. <[www.pavimentosonline.com/bautista/imagenes/galeria](http://www.pavimentosonline.com/bautista/imagenes/galeria)>

<sup>50</sup> Duramen: Parte interna y más oscura del leño generalmente no funcional. Tiene consistencia más dura. Tomado de <http://www.definicion.org/duramen>

No es una madera excesivamente pesada, además que la perforación longitudinal la vuelve muy ligera. Incorporar un elemento de sujeción reduciría también el esfuerzo de carga, siendo necesario perforar previamente la madera antes de atornillar para evitar agrietamientos.<sup>51</sup>

6.5.2 Resina epóxica. Para la cabeza de resonancia. Es recomendable por presentar un buen desempeño al vaciarse sobre un molde de silicona, ya que posee buena dureza y estabilidad dimensional una vez curada. Se caracteriza por una buena adherencia a superficies metálicas (En este caso la boquilla y los tornillos) y a la madera (el tubo y los corchos). Es utilizada en recubrimiento de tambores por su buena resonancia. Tiene excelente resistencia a la intemperie y a la corrosión.<sup>52</sup>

Además, la resina epóxica se conoce por sus aplicaciones acústicas y se utiliza para recubrimientos de componentes electrónicos para parlantes y sistemas de amplificación, ya que en estos su función es ayudar a disminuir la impedancia acústica y aumenta la amplitud de la onda emitida.<sup>53</sup>

6.5.3 Corcho. Conocido por sus propiedades acústicas como aislante. Se usa en la manufactura de instrumentos musicales, particularmente en instrumentos de viento donde se utiliza para ajustar diferentes segmentos del instrumento y hacer que las uniones queden herméticas. La elasticidad del corcho y sus propiedades de impermeabilidad, lo hacen apropiado como material sellante, en

---

<sup>51</sup> VÁSQUEZ CORREA, Ángela María, RAMIREZ ARANGO Alejandra María. Maderas comerciales en el valle de Aburrá. Área. 2005

<sup>52</sup> Universitat Rovira I Virgili <[www.tdx.cesca.es/TDX-0307106-123728](http://www.tdx.cesca.es/TDX-0307106-123728)>

<sup>53</sup> CASALS MIRONES, Jorge Alejandro. Tesis Doctoral: Caracterización no lineal de composites piezoeléctricos de potencia para la emisión de ultrasonidos en el aire.

diferentes aplicaciones. Esta industria es reconocida por ser ambientalmente amigable<sup>54</sup>.

Figura 47. Textura de corcho



Fuente: CORK 2000. <<http://www.cork-2000.com/webvella/caixa.php?lang=2>>

**6.5.4 Acero inoxidable.** El acero inoxidable es un material reconocido por su versatilidad y su gran variedad de aplicaciones. Se escogió para la fabricación de la boquilla, especialmente por las siguientes propiedades<sup>55</sup>:

- Es una de las superficies más higiénicas (para la preparación de alimentos, por ejemplo) y es muy fácil de limpiar, ya que su superficie no tiene poros o grietas que puedan convertirse en foco de bacterias o mugre.
- Es un material muy atractivo visualmente y requiere un mínimo cuidado.
- Tiene una vida útil de aproximadamente 100 años y es completamente reciclable.

Figura 48. Tubos de acero inoxidable



Fuente: Phillips & Johnston Inc. <[www.phillips-johnston.com/](http://www.phillips-johnston.com/)>

---

<sup>54</sup> Wikipedia. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Cork\\_\(material\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Cork_(material))>

<sup>55</sup> Fante's Kitchen Wares Shop. <[www.fantes.com/stainless\\_steel.htm](http://www.fantes.com/stainless_steel.htm)>

6.5.5 Lubricante para corcho en instrumentos musicales. (Alisyn cork & Slide grease). Ayuda a que el ensamble y desensamble de las secciones de tubo sea más suave, y mantienen el corcho humectado y en buen estado para que su vida útil sea más larga<sup>56</sup>.

Figura 49. Lubricante para corcho



Fuente: Yamaha. <[www.durc.com.mx/new/masinfo.asp?IdProd=1458](http://www.durc.com.mx/new/masinfo.asp?IdProd=1458)>

## 6.6 PROCESOS DE MANUFACTURA

La elaboración artesanal de la cabeza de resonancia es un proceso manual que varía según la tradición y no ha sido estandarizado. Luego de determinar el diseño más óptimo en la etapa de diseño, es necesario construir un prototipo fiel a estos requerimientos con ayuda de máquinas de CNC (control numérico) y a partir de éste, elaborar moldes en silicona para su reproducción en serie. Se definen además algunos procesos de maquinado adicionales, principalmente roscados para el ensamble de los tornillos (*Véase Anexo T. Carta de procesos de la cabeza de resonancia*).

En cuanto a la fabricación de los tubos sonoros, el proceso más práctico es el torneado, el cual necesita mucha precisión para un buen acople de sus elementos modulares. Este concepto facilita el perforado interior del tubo, ya que no es una sola perforación pasante de la longitud total sino un tubo seccionado. Debido a

---

<sup>56</sup> Aerospace Lubricants. <<http://aerospacelubricants.thomasnet.com/category/market-musical-instrument-lubricant>>

que se escoge un material de buenas propiedades acústicas, pero difícil para trabajar por su dureza, se necesitan herramientas de filo resistente (*Véase Anexo U. Carta de procesos de los tubos sonoros*).

Finalmente, se manufacturan los accesorios pequeños de la gaita. Ellos son: El corcho cilíndrico (que sólo tendrá la perforación para la boquilla) y la boquilla que requiere un proceso de rectificado para adaptarse adecuadamente dentro de la cabeza (*Véase Anexo V. Carta de procesos de la boquilla*).

## 6.7 COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN

Tabla 10. Costos netos

<b>TABLA DE COSTOS NETOS</b>			
<b>Parte</b>	<b>Parte</b>	<b>Materiales - herramientas - procesos</b>	<b>Costos</b>
Costos iniciales para la manufactura en serie	Protitipo CNC	Resina para CNC	\$ 20.000
		Mecanizado CNC (outsourcing)	\$ 150.000
	Moldes	Silicona para molde	\$ 30.000
		Mano de obra molde	\$ 30.000
	Herramientas de taladrado	Broca HSS 3/8"	\$ 2.600
		Broca HSS 17/64"	\$ 1.200
		Broca mad. 5/8"	\$ 13.000
		Extensión para broca 5/8"	\$ 15.000
		Broca HSS 5/16 (8mm)	\$ 1.750
		Broca HSS 25/64 (10mm)	\$ 2.650
<b>Subtotal costos iniciales</b>			<b>\$ 266.200</b>

TABLA DE COSTOS NETOS				
Parte	Parte	Materiales - herramientas - procesos	Costos	
Costos de partes comunes entre las dos gaitas SOL y DO	Boquilla	Varilla de Acero Inoxidable 6mm int	\$ 2.000	
		Maquinado	\$ 10.000	
	Corcho cilíndrico	Corcho repuesto para Oboe		\$ 3.000
		Cabeza de resonancia	Resina vaciado	\$ 12.000
			Proceso de vaciado y pulido	\$ 10.000
	Tornillos 1/8" x 1/2"		\$ 3.000	
	Mantenimiento	Lubricante para corcho (Cork grease)		\$ 3.500
		Limpiador absorbente de humedad		\$ 10.500
		Aceite <i>Bore Oil</i> para lubricar el tubo		\$ 12.000
	<b>Subtotal partes comunes</b>			<b>\$ 66.000</b>
Costos de tubo en DO	Corchos planos	Lám. de corcho para inst. musicales 1" x 3"	\$ 9.000	
		Pegante para zapatos	\$ 200	
	Tubo sonoro	Madera Nazareno 4x4x 66cm	\$ 1.300	
		Mano de obra fabricación del tubo	\$ 25.000	
	Llave de DO	Llave de MI para clarinete		\$ 27.000
		Zapatilla de cuero		\$ 3.250
		2 Torres de soporte y eje		\$ 5.000
	Llave de SOL	Llave de LA para clarinete		\$ 27.000
		Zapatilla de cuero		\$ 3.250
		2 Torres de soporte y eje		\$ 5.000
		Modificación		\$ 30.000
	Apoya-pulgar	Un apoya-pulgar de clarinete		\$ 15.000
		2 Tornillos YM-0141010		\$ 10.000
<b>Subtotal tubo en DO</b>			<b>\$ 161.000</b>	
Costos de tubo en SOL	Corchos planos	Lám. de corcho para inst. musicales 1" x 2"	\$ 6.000	
		Pegante para zapatos	\$ 200	
	Tubo sonoro	Madera Nazareno 4x4x 66cm	\$ 800	
		Mano de obra fabricación del tubo	\$ 15.000	
<b>Subtotal tubo en SOL</b>			<b>\$ 22.000</b>	

ESTIMATIVA DE COSTOS NETOS TOTALES	
Elaboración de prototipos pilotos (juego de dos gaitas)	\$ 515.200
Fabricación en serie* (gaita en DO)	\$ 227.000
Fabricación en serie* (gaita en SOL)	\$ 88.000
Fabricación en serie* (juego de dos gaitas)	\$ 315.000

\*Luego de haber hecho la inversión inicial

#### NOTA

En caso de una producción inicial, el precio de venta incluirá un 15% del costo de la inversión inicial hasta recuperar el capital invertido y a partir de ahí, generar utilidades

Fuente. Los autores

# 7. PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL PROTOTIPO

## 7.1 DEFINICIÓN

Una vez se diseña y se fabrica el prototipo del nuevo instrumento musical a partir de la gaita tradicional, se pretende evaluar la eficiencia de las decisiones de diseño e ingeniería más relevantes. De esta manera, se examinan de nuevo los efectos ergonómicos en comparación con el primer diagnóstico y la calidad del sonido interpretado. Con estas pruebas se busca determinar si el proyecto alcanza los objetivos propuestos desde el anteproyecto.

## 7.2 METODOLOGÍA

Se realizan pruebas de ergonomía e interpretación, para analizar las posiciones, la postura y la incidencia de posibles riesgos de salud. Luego se efectúan las pruebas finales de sonido, para determinar el grado de afinación de los nuevos prototipos y la similitud de su timbre, con el de la gaita tradicional que pretende emular. Por último, se analiza cualitativamente el nivel de satisfacción de diferentes intérpretes.

## 7.3 PRUEBA 4: PRUEBA DE ERGONOMÍA Y POSTURA (OWAS)

Objetivos de la prueba. Evaluar el mejoramiento de las condiciones ergonómicas críticas analizadas previamente<sup>57</sup>, en cuanto a posturas, agarre y manejo del nuevo prototipo, comprobando la solución de los problemas detectados en la gaita referente mediante la aplicación de la prueba OWAS<sup>58</sup>.

---

<sup>57</sup> Prueba realizada en el Taller de prototipos de la Universidad Eafit. 3 de Abril de 2007

Descripción del proceso. Se solicita al gaitero sostener la gaita en la posición más cómoda para interpretar el instrumento, de manera que busque la mayor comodidad para soplar y para ubicar los dedos en los orificios.

Figura 50. Posturas en gaita en DO



Fuente: Los autores

Figura 51. Posturas en gaita en SOL



Fuente: Los autores

Proceso de toma de datos. Se hace un análisis visual a partir de la medición manual por medio de un transportador. Se hace un registro fotográfico y se anotan las medidas, analizando los ángulos de brazos, antebrazos y manos, en posición de pie (*Véase Anexo L. Biomecánica y tipos de movimientos*).

---

<sup>58</sup> BECKER, Jean-Paul. Ergonomía Y Factores Humanos. Prevención de lesiones traumáticas acumulativas. Adaptación del modelo de Pruebas para evaluación de cargas OWAS (Ovako working posture analysis system).

Figura 52. Medición de ángulos



Fuente: Los autores

Para analizar el efecto del peso en el agarre, sostén y manejo de la gaita, se pesan en una báscula los nuevos prototipos, al igual que se tienen en cuenta el peso mínimo y el máximo presentados entre las siete gaitas evaluadas en la prueba 1.

Tabla 11. Pesos de los prototipos evaluados

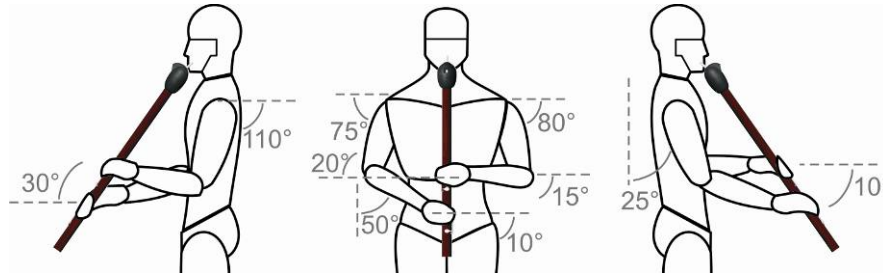
Prototipo	Rango de peso en (gr.)
Gaitas Prueba 1	260-332
Gaita en SOL	358
Gaita en DO	440

Fuente. Los autores

Reporte de resultados. En la postura para elevar la gaita, se observa que la columna permanece erguida, y los brazos que antes formaban un ángulo agudo con la horizontal (flexionando el codo hacia atrás) y hacían movimientos en serie buscando la posición más cómoda, ahora forman un ángulo obtuso, en donde hay mayor control sobre el instrumento. De igual manera, el antebrazo que ejerce una posición de ajuste estático, antes necesitaba tener el brazo pegado al cuerpo para extenderlo unos centímetros por encima del muslo, pudiendo causar fatiga muscular (Escala 4 según la tabla OWAS para levantamiento de cargas). Ahora

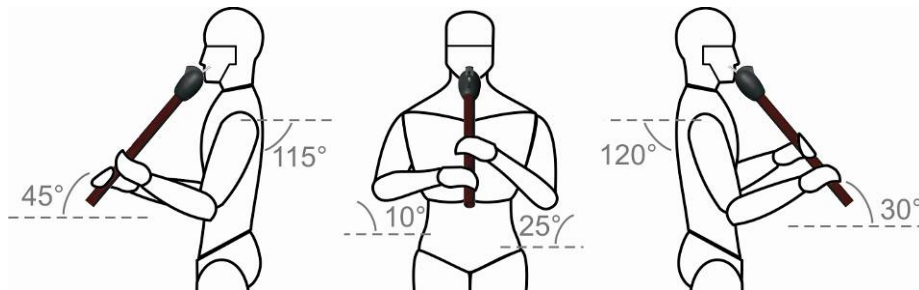
forma un ángulo más cerrado, con los codos más cerca al cuerpo y el brazo en posición más natural (Escala 2)<sup>59</sup>.

Figura 53. Ángulos tomados en gaita en DO



Fuente: Los autores

Figura 54. Ángulos tomados en gaita en SOL



Fuente: Los autores

- El agarre del instrumento no se hace por fuerza ya que ninguna de las manos queda inactiva. Al realizar al mismo tiempo movimientos de manipulación (para asegurar la sujeción) y repetitivos (con los dedos que tapan orificios o presionan llaves) se da un agarre de precisión, en el cual a diferencia de la gaita artesanal, sólo se utilizan la yema de los dedos.
- En cuanto al sostén, según los estándares de evaluación de cargas OWAS, el peso de un objeto comienza a incidir en un esfuerzo inadecuado a partir

---

<sup>59</sup> La escala de evaluación de cargas (OWAS) según la posición para el levantamiento, va de 0 a 8 puntos, en el cual 2 (menor esfuerzo) hace referencia a la parte central superior cerca al pecho y 4 (mayor esfuerzo) a la parte central inferior cerca de los muslos.

de 2.5Kg, por lo cual el peso de las nuevas gaitas sigue muy por debajo y solo llegaría a ser crítico en frecuencias de manejo altas y prolongadas.

Causas de error. La observación busca mostrar patrones generales de cambio en las nuevas configuraciones, por lo cual la medición visual no es de total precisión.

Conclusiones de la prueba.

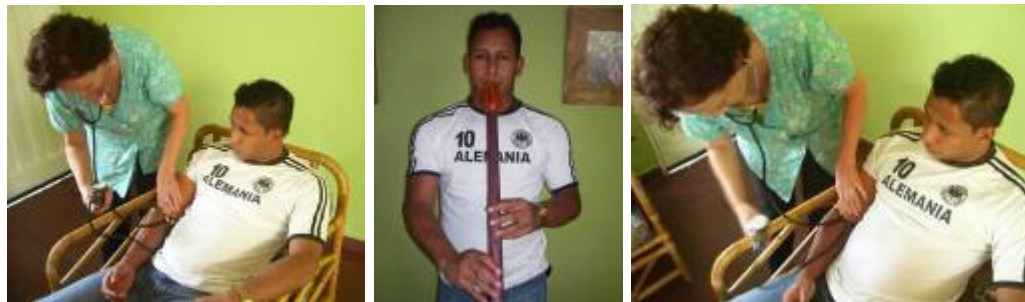
- En los prototipos no hay movimientos de aducción inadecuados y ambos brazos se flexionan por retroproyección, conservando una posición más simétrica entre ambos brazos y linealidad entre el antebrazo y la muñeca, evitando la extensión inadecuada de cualquiera de las extremidades.
- Al acortar la gaita y elevarla de la cintura, basta con analizar la posición de pie, ya que sentado se presenta la misma postura de agarre y los movimientos libres del intérprete se realizan con menor esfuerzo.
- Se plantea la posibilidad de una boquilla alternativa de forma curvada, en la cual no sea necesario inclinar la cabeza hacia abajo para soplar, sino que se conserve la mirada al frente exigiendo menos el ángulo de visión.
- Adaptar un elemento de apoyo en la parte posterior para el dedo pulgar derecho, de otro instrumento de viento de interpretación vertical, ayuda a mejorar el sostén del instrumento en un tiempo prolongado, ya que es el punto de agarre más inferior y este dedo no se utiliza en la digitación.
- En la gaita en DO, los orificios 1º y 4º no logran alcanzarse cómodamente con los dedos meñiques, y genera una postura forzada para el resto del cuerpo. En cambio, la posición neutral que adquieren los dedos anulares no altera ésta, haciendo ideal accionar las llaves con estos dedos.
- La gaita en SOL presenta la configuración más correcta y se convierte en la alternativa propuesta más cómoda para solucionar los problemas ergonómicos detectados en el diseño de detalle.

## 7.4 PRUEBA 5: PRUEBA DE ESFUERZO (PRESIÓN SANGUÍNEA ARTERIAL)

Objetivos de la prueba. Analizar la variación de esfuerzos que realiza un intérprete profesional de gaitas en diferentes condiciones, a partir de diferentes mediciones de presión sanguínea arterial<sup>60</sup>.

Descripción del proceso. Se toma la presión sanguínea del intérprete sentado en posición de reposo, antes de interpretar alguna de las gaitas. Luego se hacen diferentes mediciones, con la gaita referente y con los dos prototipos nuevos.

Figura 55. Tomas de presión arterial después de interpretar cada gaita



Fuente: Los autores

La medición arroja dos valores, cuya unidad de medida son milímetros de mercurio. El primer valor equivale a la presión sistólica o tensión máxima (fase en la cual el corazón lanza a las arterias determinada cantidad de sangre). El segundo valor corresponde a la presión diastólica o tensión mínima (fase de relajación muscular del corazón)<sup>61</sup>.

---

<sup>60</sup> Prueba realizada el 4 de Abril de 2007

<sup>61</sup> READER'S DIGEST. El gran libro de la salud. Enciclopedia Médica. 1971

Proceso de toma de datos. Se utilizan para las mediciones un tensiómetro y un estetoscopio. Entre cada medición, se toman 5 minutos de descanso en los cuales el intérprete se vuelve a sentar y toma un vaso de agua, regresando a un estado de reposo. En cada gaita se interpreta una melodía en la que se exigiera llegar a las notas más altas que puede registrar cada prototipo.

Reporte de resultados. Los siguientes fueron los resultados obtenidos:

Tabla 12. Mediciones de presión sanguínea

Mediciones	Presión	
	Máx.	Min.
Estado de reposo	110	80
Gaita referente	135	95
Gaita en DO	120	80
Gaita en SOL	130	90

Fuente. Los autores

Causas de error.

- El tiempo entre cada medición puede no ser suficiente para recuperar completamente el nivel de presión sanguínea en reposo, por lo que al final de la prueba el gaitero puede estar más cansado y reflejar resultados más altos. Sin embargo, es una situación muy común dentro de la interpretación normal del instrumento.
- Sólo se evalúa al gaitero-profesional con quien se han estado validando los desarrollos del proyecto, por lo cual no puede considerarse la muestra como verdad médica, sino como insinuación para posteriores mediciones más a fondo.

Conclusiones de la prueba.

- Se comprueba que interpretar la gaita de por sí, incrementa la presión sanguínea considerablemente; elevando el ritmo cardíaco junto al mismo

tiempo que se expulsa más aire, lo cual requiere mayor contracción pulmonar.

- Las nuevas gaitas logran reducir el esfuerzo de interpretación en comparación con el instrumento referente (*Véase Anexo O. Posibles riesgos de salud en la interpretación de la gaita*).

## 7.5 PRUEBA 6: PRUEBA DE MEDICIÓN DE DECIBELES

Objetivos de la prueba.

- Medir el nivel de presión sonora al cual están expuestos el intérprete de la nueva gaita y el oyente, identificando el grado de dismunición respecto a la gaita tradicional.
- Determinar las diferencias entre mediciones realizadas en espacios cerrados y abiertos.

Descripción del proceso. Un gaitero debe interpretar la nota más alta producida por cada prototipo de gaita a evaluar, primero dentro de un salón cerrado<sup>62</sup> y luego en un espacio abierto al exterior. Se evalúan 3 posiciones. Primero ubicando el sonómetro en el oído del intérprete, para evaluar la presión de aire a la cual está expuesto, y a continuación, dos nuevas mediciones a distancias de 1mt y 3mt para evaluar la incidencia del sonido hacia los oyentes (*Véase Anexo O. Posibles riesgos de salud en la interpretación de la gaita*).

Instrumentos de Medición. Se utiliza el sonómetro Brüel & Kjaer Modelo 2236 con un calibrador a 94dB SPL-1000Hx. Este instrumento está conectado al computador, transmitiendo los datos al software BK-Link, el cual toma datos

---

<sup>62</sup> Prueba realizada en el Laboratorio de mecánica experimental. Universidad EAFIT. 10 de Abril de 2007

cada segundo arrojando tres mediciones en decibeles (dB). La primera corresponde al ataque producido por el instrumento, la segunda a los decibeles mínimos de la onda sonora y la tercera a los máximos.

Figura 56. Sonómetro y software



Fuente: Los autores

Proceso de toma de datos. Se toman las diferentes mediciones con el sonómetro, durante 5 segundos por nota interpretada. De los datos que arroja el software, se toman dos: El ataque cuando el aparato recibe el primer sonido, y los decibeles máximos que alcanza. Se realizan las mediciones, primero dentro del laboratorio y luego al aire libre.

Figura 57. Distancias de las diferentes mediciones de decibeles



Fuente: Los autores

### Reporte de resultados.

- Las gaitas en DO y en SOL reducen notablemente el nivel de decibeles, notándose especialmente en las pruebas en exterior.

Tabla 13. Recopilación de datos en decibeles (dB) en Interior y exterior

Ubicación del sonómetro	Prueba en interior		
	Gaita tradicional	Gaita en DO	Gaita en SOL
En el oído	114,6 - 114,8	100,3 - 100,9	102,8 - 103,4
A 1mt	103,1 - 104,7	92,0 - 91,8	97,2 - 98,7
A 3mt	101,8 - 102,1	85,4 - 89,7	87,3 - 91,5

Ubicación del sonómetro	Prueba en exterior		
	Gaita tradicional	Gaita en DO	Gaita en SOL
En el oído	109,2 - 112,2	97,7 - 99,8	104,7 - 104,7
A 1mt	99,6 - 111,1	91,9 - 93	104,6 - 106,2
A 3mt	100,2 - 102,3	91,6 - 91,6	97,1

Fuente. Los autores

- La gaita referente presenta un nivel de decibeles mayor, por encima de 100dB, pero no alcanza el umbral de dolor establecido a partir de 120dB<sup>63</sup>.
- La medición más alta de las nuevas gaitas fue 104.7dB, registro menor al producido por la gaita referente, y la medición más baja es 85.4, muy por debajo del umbral de fatiga auditiva.
- La gaita en SOL alcanza un nivel de decibeles mayor aunque sea más corta. Esto debido a que produce sonidos octava por encima de la de DO.

Causas de error. En la medición en exterior, el sonido de la calle puede interferir en el valor de los datos registrados por la gaita. Igual es interesante comparar los resultados en este medio en el que las ondas se propagan diferente.

Conclusiones de la prueba:

- En la medición de frente al instrumento de medición, el flujo del aire es más fuerte que cuando está sobre el oído. Quiere decir que el sonido percibido por el intérprete puede no ser el máximo de la fuente sonora.

---

<sup>63</sup> PIERCE R., John. Los sonidos de la música. Barcelona: Biblioteca Scientific American, 1983. 241p. (Editorial labor). Pág. 105-117

- Según el análisis de posibles riesgos, el nivel de ruido de fondo, sumado al sonido de la música, no deben ser mayores a 90dB o causaría fatiga auditiva. En las mediciones hacia el oyente, se reduce considerablemente. A mayor distancia de la fuente sonora, menor el nivel de decibeles. Igualmente, mientras más cerrado el lugar, más concentrado el sonido.
- Aunque los registros más altos producidos por la gaita puedan exceder el nivel máximo de decibeles, el tiempo de exposición a estos no es muy prolongado, ya que las melodías en gaita siempre aumentan y disminuyen su dinámica para compensar el esfuerzo del intérprete.
- En exteriores, la medición al oído enmascara los sonidos externos.

## 7.6 PRUEBA 7: PRUEBA DE AFINACIÓN DE LOS PROTOTIPOS FINALES

Objetivo de la prueba. Tomar registros sonoros digitales de las 2 gaitas elegidas (sus notas según la intensidad y los intervalos entre ellas) para determinar su afinación<sup>64</sup>.

Figura 58. Implementos para la prueba de afinación



Fuente: Los autores

---

<sup>64</sup> Prueba realizada en el Estudio de grabación de Luis Jaime Ángel M. 4 de Abril de 2007

Descripción de la prueba. Se registran digitalmente las notas de las dos gaitas elegidas en la prueba anterior (Gaita en DO y gaita en SOL) ya con sus materiales y medidas reales.

El nuevo diseño de la gaita hace que la columna de aire se dirija más hacia el frente, por esto el micrófono se ubica más arriba de cómo había estado en las otras pruebas, con el objeto de evitar ser golpeado físicamente por ésta. Además se antepuso a él un difusor de viento (antipop)<sup>65</sup>.

Características del entorno, proceso de toma de datos e instrumentos de medición. (Véase Anexo H. Reporte complementario de la prueba 1).

Tabla 14. Registros de las notas de las gaitas en SOL y en DO

#	GAITA 1 (sol)	COMENTARIOS	#	GAITA 2 (do)	COMENTARIOS
	Nota aprox. (Hz)			Nota aprox. (Hz)	
1	G3 (392)	La gaita está afinada, aunque está medio tono por debajo del que debería estar. En general, el intervalo entre cada nota se conserva.	1	C3 (262)	La gaita está afinada, aunque está medio tono abajo del que debería estar. En general, el intervalo entre cada nota se conserva.
2	A4 (440)		2	D3 (294)	
3	B4 (494)		3	E3 (330)	
4	C4 (523)		4	F3 (349)	
5	D4 (587)		5	G3 (392)	
6	E4 (659)		6	A4 (440)	
7	F4 (698)		7	B4 (494)	
8	G4 (784)		8	C4 (523)	
9	A5 (880)		9	D4 (588)	
10	B5 (988)		10	E4 (659)	
11	C5 (1046)		11	F4 (698)	
12	D5 (1175)		12	G4 (784)	
13	E5 (1319)		13	A5 (880)	
14	F5 (1397)		14	B5 (988)	
15			15	C5 (1046)	
16			16	D5 (1175)	
17			17	E5 (1319)	

Fuente. Los autores

<sup>65</sup> Este elemento es comúnmente usado durante las grabaciones de sonido para aislar el ruido que causa el viento al cantar o al interpretar un instrumento.

Reporte de resultados. La tabla anterior corresponde a los resultados que se obtienen en cada una de los 2 prototipos interpretando sus notas en orden.

Causas de error.

#### Afinación.

- La contracción de la madera puede ser un factor determinante para que las gaitas queden un poco más altas o más bajas que su afinación original.
- La intensidad con la que el intérprete sopla el instrumento puede generar variaciones en la afinación de las notas<sup>66</sup>.

#### Amplitud del registro de notas.

- La cabeza que se utiliza para la prueba no cuenta con tornillos ni otros elementos sellantes. Su ensamble se improvisa con ayuda de hombrosolos<sup>67</sup>, lo cual puede influir bastante en la amplitud de notas registradas, ya que posiblemente hay muchas fuentes de escape de aire que no permiten que el instrumento se desempeñe de manera óptima.

#### Esfuerzos del intérprete.

- La intensidad con la que el intérprete sopla el instrumento puede ser un factor leve de desafinación.

#### Ruido en la grabación.

- El sonido del soplo del instrumento puede afectar levemente el registro de las notas en el software. En las notas más altas registradas en cada gaita,

---

<sup>66</sup> BERG, Richard E; STORK, David G. The physics of sound. University of Maryland. Prentice Hall Inc. New Jersey. 1982. Pág 67-74.

<sup>67</sup> Herramienta manual

el software presenta dificultad en la identificación de la nota, ya que es más fuerte el sonido producido por la columna de aire que el del registro de la gaita.

#### Sonido con *vibrato*.

- Los sonidos con *vibrato* hacen que la nota real interpretada sea más difícil de identificar, ya que presenta variaciones en la afinación hacia arriba y hacia abajo, como es de esperarse de este efecto.

#### Conclusiones de la prueba.

- La variación en la afinación de ambas gaitas puede darse por el factor de contracción de la madera. Sin embargo, según el asesor del proyecto, este comportamiento se considera normal si la variación no es mucha (en este caso, es de un semitono y se considera baja)
- Las pequeñas variaciones que se puedan presentar en la afinación de las notas, son principalmente causadas por la interpretación del instrumento y la fuerza con la que el aire entra al instrumento.
- El rango de registro de notas se nota algo bajo al obtenido en la prueba anterior, debido más que todo a la improvisación del ensamble de la cabeza que no permite un óptimo sellamiento para evitar el escape de aire.

#### Recomendaciones de la prueba.

- Sellar por completo la cabeza, de manera que no haya ningún escape de aire.
- Cerciorarse que la contracción de la madera no afecte más la afinación del instrumento.

## 7.7 PRUEBA 8: PRUEBA COMPARATIVA DE TIMBRE AL PROTOTIPO FINAL

Objetivo de la prueba. Determinar si el timbre del prototipo final es igual o similar al timbre del instrumento autóctono<sup>68</sup>.

Descripción de la prueba. Con los registros sonoros de los dos prototipos de gaitas tomadas en la prueba anterior, se analizan unas gráficas elaboradas automáticamente por el software *Digital Performer*. Estas gráficas se comparan con las obtenidas según el registro grabado por las gaitas tradicionales de la primera prueba y con base a esto, se sacan conclusiones<sup>69</sup>.

Sin embargo, además de esto, la prueba se refuerza al final mediante la anotación de conceptos subjetivos de varias personas, que se entrevistan para conocer su opinión acerca de los sonidos generados tanto por la gaita tradicional, como por el nuevo instrumento desarrollado, y saber de esta manera si cada timbre les parece igual o similar.

Aunque no es el mercado al que el proyecto está dirigido sino aquel del que se extrajeron los conceptos del referente a conservar, la satisfacción de este sector ayuda a validar las pautas de la investigación inicial para la construcción de un instrumento musical a partir de la gaita hembra de la costa atlántica colombiana.

---

<sup>68</sup> Prueba realizada en el Estudio de grabación de Luis Jaime Ángel M. 4 de Abril de 2007

<sup>69</sup> BERG, Richard E; STORK, David G. The physics of sound. University of Maryland. Prentice Hall Inc. New Jersey. 1982. Pág 103-107

Características y proceso de toma de datos. Para medir el timbre de manera cuantitativa, habría que descomponerlo en sus diferentes armónicos. En el país no existe la manera de efectuar este análisis, se necesitaría un software o un aparato especial que en el país no hay.

Para comparar dos sonidos de una manera distinta, se pueden comparar de manera física y formal sus componentes. Para esto se compara lo que se llama “envolvente” de cada sonido. La envolvente se compone de tres partes:

- El ataque: Es el comienzo del sonido. Determina el tiempo en que el sonido alcanza su máxima altitud (parte más alta en la gráfica).
- La elongación: Determina el tiempo en que el sonido se queda en su máxima altitud (duración del sonido, es la longitud de la gráfica).
- La caída: Es el final del sonido. Determina el tiempo en que el sonido va del final de la elongación, hasta que finalmente se acaba (declive final de la gráfica)

Figura 59. Envolvente de un sonido (Digital Performer)



Fuente: Los autores

Si se hace un acercamiento en cualquier parte de esta gráfica, se puede ver más claramente la onda senoidal generada por el sonido.

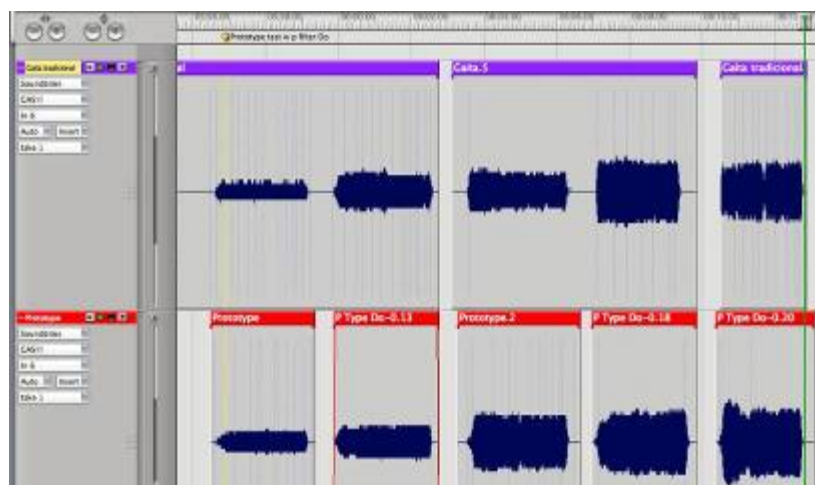
El análisis técnico se hace mediante el software de edición y análisis de timbre. La encuesta se efectúa a varias personas. Todas escuchan el sonido de los dos instrumentos y posteriormente dan su opinión<sup>70</sup>.

**Instrumentos de Medición.** Las gráficas se determinan mediante un módulo del software *Digital Performer*. Se graba el sonido y en la pantalla se muestran unas barras horizontales, a medida que se hace un acercamiento, se clarifica más detalladamente la onda senoidal generada por el sonido.

**Reporte de resultados.**

**Análisis técnico.** En la siguiente gráfica se observan comparativamente los segmentos envolventes para las mismas notas (DO, RE, MI, FA, SOL, LA) de la gaita tradicional (arriba) y el prototipo final del nuevo instrumento (abajo). Se puede observar que su altura promedio es similar en los dos casos. Las variaciones se producen principalmente por la interpretación del músico.

Figura 60. Envolventes comparativas para cinco notas de la gaita tradicional y el nuevo prototipo



Fuente: Los autores

<sup>70</sup> ENTREVISTA con Luis Jaime Ángel, Ingeniero de sonido. Georgia State University. 4 de Abril de 2007

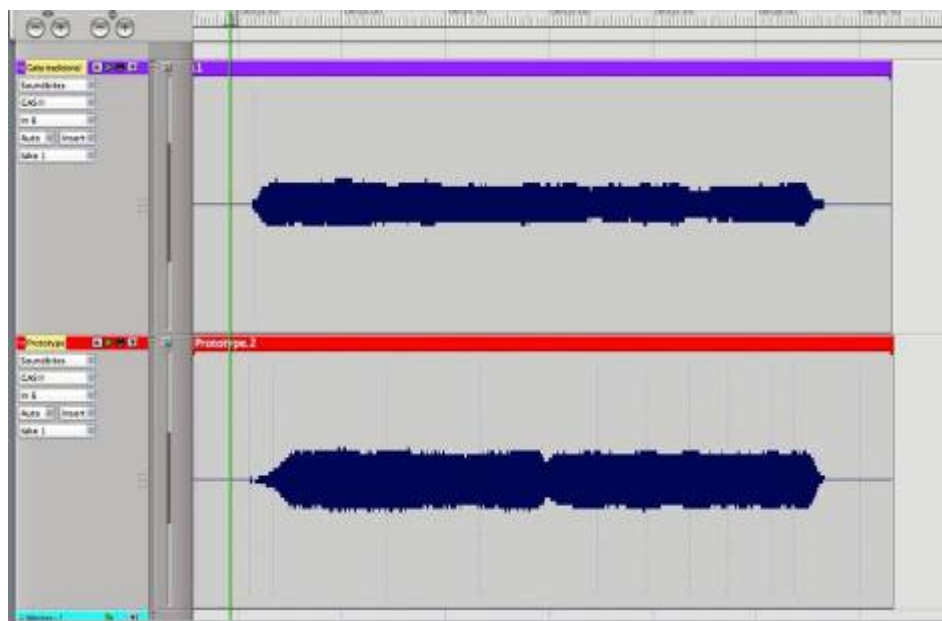
En la siguiente gráfica se ve más claramente la comparación para una sola nota musical. (Arriba: gaita tradicional, abajo: nuevo instrumento).

El *ataque* es similar para los dos instrumentos. Como ya se ha dicho, las variaciones se producen principalmente por causa del intérprete mismo, ya que éste puede variar la intensidad del soplo y otros factores.

La *elongación* en este caso depende del tiempo que el intérprete sople por la boquilla, ya que si este deja de soplar, el instrumento deja de sonar.

La *caída* en los dos casos también es similar: si por ejemplo fuera comparada con la cuerda de una guitarra, se vería que la caída del sonido de la guitarra es mucho más larga que la de la gaita, ya que la gaita deja de sonar cuando el intérprete deja de soplar y la guitarra se demora más tiempo en terminar de sonar.

Figura 61. Envoltura comparativa para una nota (Digital Performer)



Fuente: Los autores

La siguiente gráfica muestra un acercamiento de la onda para los dos instrumentos musicales (Arriba: gaita tradicional, abajo: nuevo instrumento).

Las irregularidades que se notan en la onda están dadas por los armónicos que componen el timbre y por la forma de interpretación del músico (*vibratos* y otros efectos de sonido). Se puede observar que las gráficas son bastante similares, si se comparara con el sonido de otro instrumento, se notaría de inmediato la gran diferencia.

Figura 62. Gráfico comparativo entre ondas senoidales



Fuente: Los autores

**Análisis de opinión.** Se entrevistaron algunos gaiteros del grupo musical folclórico de la Universidad EAFIT<sup>71</sup>. El comentario más significativo es que el timbre, hasta el momento de esta evaluación, sí suena a gaita en el proceso de

---

<sup>71</sup> ENTREVISTAS con Juan Rafael Granda, William Alvarez y Helmut Steffens. Gaiteros Profesionales.

fabricación, mas no con la fuerza de una gaita terminada, por los escapes de aire que aún presenta dicho prototipo.

Otros comentarios sobre la emulación de la gaita tradicional son:

- Es una buena propuesta porque da más opciones de acompañamiento. Se parece más a las gaitas nuevas, especialmente de Cartagena, que a las gaitas viejas del Monte de María.
- Este tipo de investigaciones que buscan nuevos procesos tiene que hacerse para que el instrumento evolucione, y en caso de que por ejemplo se acabe el *guamacho* tradicional, no se acabe el instrumento.
- Occidentalizar una gaita implica acomodar de otra manera la distancia entre los agujeros para comodidad y mayor destreza del intérprete. Esto ha sido incluso parte de la evolución de la gaita tradicional de hoy en día y se demuestra con esta investigación.
- Se nota un especial agrado por la nueva forma de la cabeza de resonancia, el acabado de los materiales y su nueva propuesta más estándar y resistente. En el caso de la boquilla en acero inoxidable, el gaitero acostumbrado a morder la boquilla tradicional, la siente menos dócil mientras la interpreta.
- La propuesta de diseño con pocos elementos llena las expectativas de los gaiteros, ya que al evolucionar un instrumento tradicional muy básico en sus componentes, no se llega a una nueva gaita complicada ni aparatosa.

Causas de error.

- La cabeza que se utiliza para la prueba no cuenta con tornillos ni otros elementos sellantes. Su ensamble se ayuda de hombrosolos<sup>72</sup>.

---

<sup>72</sup> Herramienta manual

- La manera de intensidad con la que el intérprete sopla el instrumento puede ser un factor de variación de la gráfica.
- El sonido del soplo del instrumento puede afectar levemente el registro de las notas en el software.
- Los sonidos con vibrato hacen que la nota real interpretada sea más difícil de identificar, ya que presenta variaciones en la afinación hacia arriba y hacia abajo.

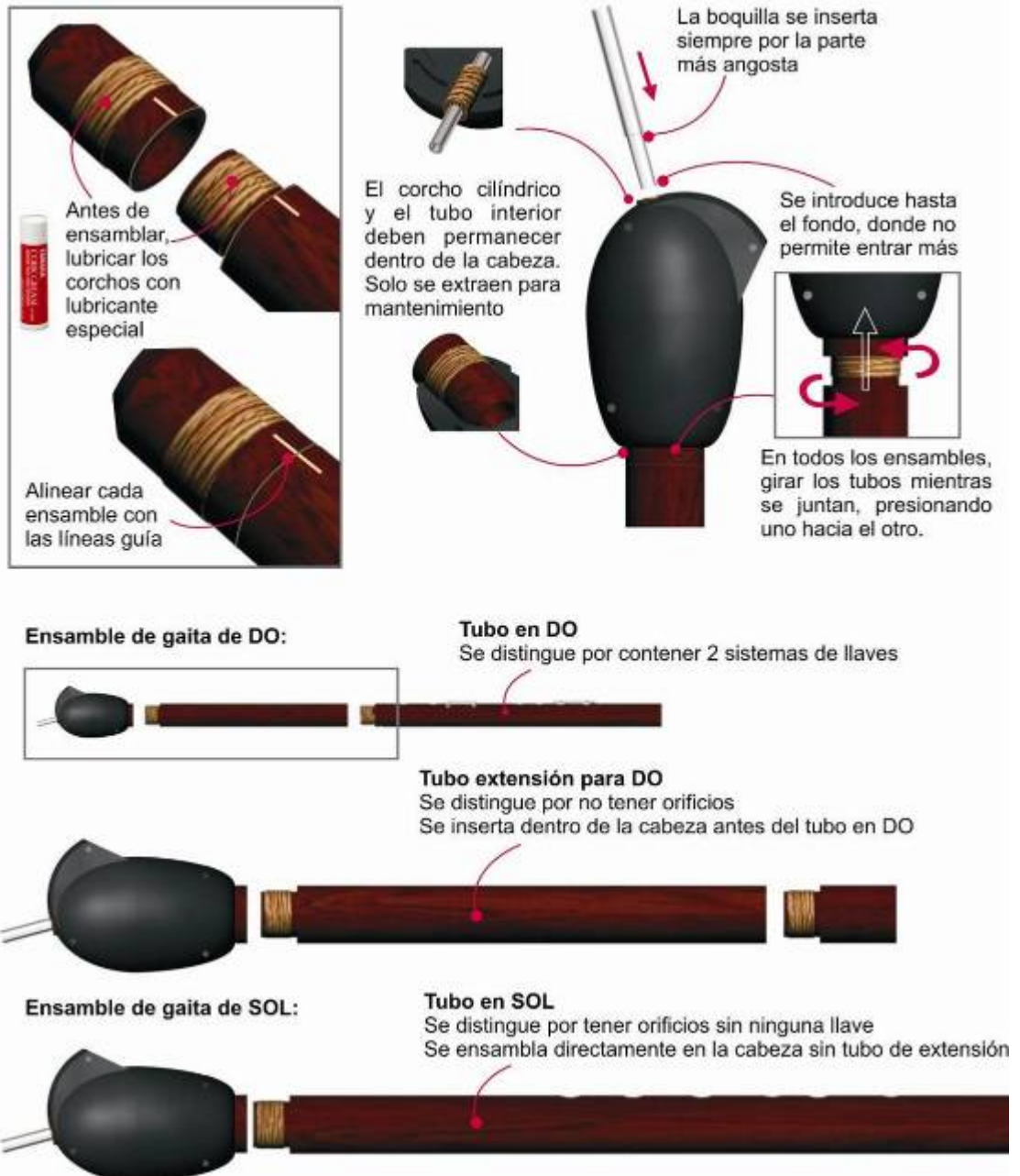
#### Conclusiones y recomendaciones de la prueba.

- Las graficas comparativas son muy similares entre ellas, lo que significa que el timbre es el mismo a la gaita tradicional o muy aproximado.
- Con la entrevista a los gaiteros se termina de comprobar que el nuevo timbre sí corresponde al de la gaita tradicional. Audiblemente no se notan diferencias en los timbres de las dos gaitas.
- Se logra un buen diseño, simple y sin mecanismos complejos para ubicar la boquilla, asemejándose al diseño de otros instrumentos de viento profesionales, que en ningún caso, son variables contra el filo.
- La opinión acerca del diseño y la afinación, sigue estando muy arraigada a las costumbres tradicionales, lo cual se ha diagnosticado desde el principio del proyecto y por lo tanto, el enfoque de este desarrollo decide dirigirse preferencialmente a los músicos profesionales, intérpretes de instrumentos de viento en otro ámbito más global.
- A partir de la entrevista se culmina el desarrollo de la nueva propuesta y se procede a terminar el prototipo para su validación final. Esta vez ante un músico teórico que domine el tema de instrumentos musicales de viento y su evolución en la historia.

# 8. INSTRUCTIVOS PARA EL USUARIO

## 8.1 INSTRUCTIVO DE ENSAMBLE

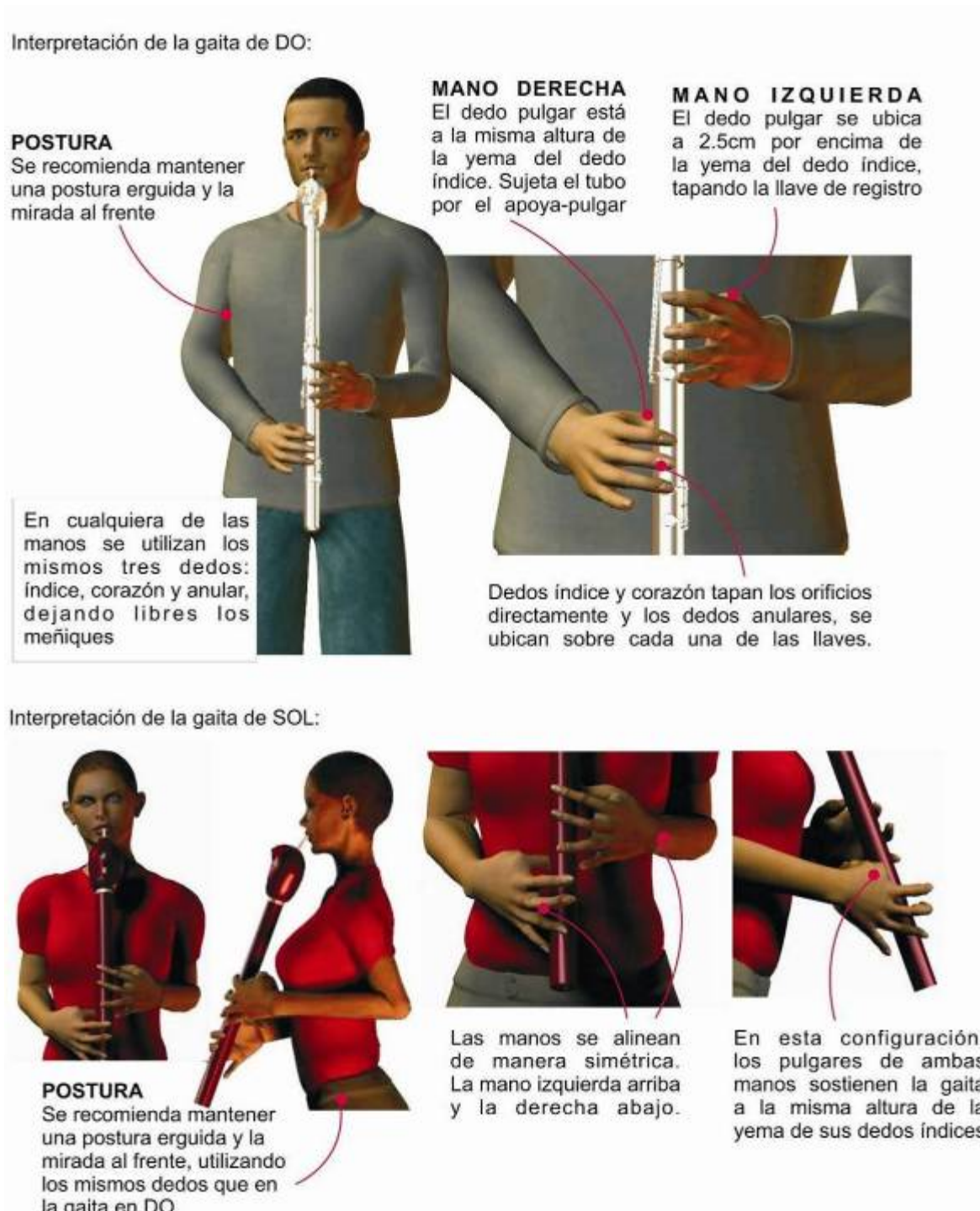
Figura 63. Recomendaciones para ensamblar el instrumento



Fuente: Los autores

## 8.2 INSTRUCTIVO DE INTERPRETACIÓN

Figura 64. Instrucciones para la postura y digitación



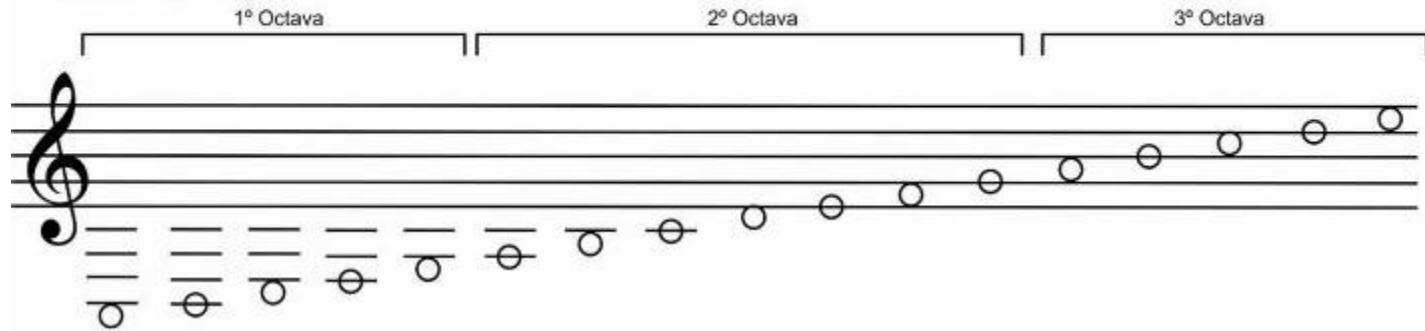
Fuente: Los autores

### 8.3 POSICIONES PARA GAITA EN DO

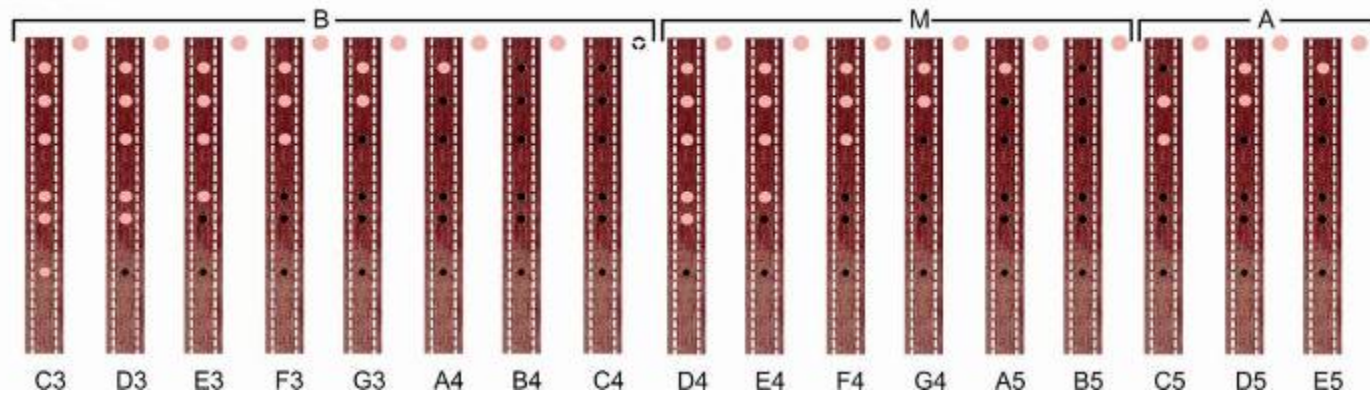
Figura 65. Tablaturas para la gaita en DO

La gaita afinada en DO consta de 6 orificios y un séptimo como llave de registro en la parte trasera. Este ayuda a alcanzar las notas altas con mayor facilidad. Produce en total 17 registros.  
Las notaciones B-M-A, equivalen al aumento de la intensidad del soplo para alcanzar la nota deseada (B=bajo, M=medio, A=alto).

**Notación musical:**



**Notación cifrada:**



Fuente: Los autores

## 8.4 POSICIONES PARA GAITA EN SOL

Figura 66. Tablaturas para la gaita en SOL

La gaita afinada en SOL consta de 6 orificios y no tiene llave de registro en la parte trasera. Esto indica que las notas altas se alcanzan aumentando la presión de aire como en la gaita tradicional. Produce en total 14 registros. Las notaciones B-M-A, equivalen al aumento de la intensidad del soplo para alcanzar la nota deseada (B=bajo, M=medio, A=alto).

**Notación musical:**

**Notación cifrada:**

G3 A4 B4 C4 D4 E4 F4 G4 A5 B5 C5 D5 E5 F5

Fuente: Los autores

## 9. CONCLUSIONES

Producto.

El prototipo cumple con las especificaciones de diseño determinadas al principio del proceso, luego de culminar la etapa de investigación preliminar y determinar los requerimientos acústicos, ergonómicos y de diseño funcional.

Con el objetivo de afinar el instrumento, se lograron dos escalas de afinación similares a las producidas por las gaitas cortas y largas tradicionales, a diferencia de estas, temperadas (afinadas) en SOL y en DO respectivamente.

El nuevo instrumento está en capacidad de adaptarse a contextos más profesionales, donde puedan componerse melodías a partir de notaciones musicales que puedan escribirse por medio de partituras. Además, su diseño se enfoca en mejorar la interacción con el usuario (hombre-instrumento), reduciendo cualquier esfuerzo inadecuado durante su interpretación.

Los detalles diseñados para las nueva gaitas, mejoran el desempeño al interpretar el instrumento, ya que permite un mayor rango de notas musicales y facilita al músico su digitación. Logra además, asemejarse a otros instrumentos de viento profesionales, en sus características de ensamble, materiales, sistemas y mecanismo, conservando el timbre característico que lo hace reconocer como evolución de la gaita autóctona colombiana.

Se logra un diseño más eficiente, adaptable a las necesidades de los músicos contemporáneos, factible de guardarse en un estuche de menores dimensiones, que proteja las partes del instrumento al momento de

transportarlo y que rápida y fácilmente pueda ensamblarse en el momento en que se desee interpretar.

Al comparar las ondas senoidales producidas por las nuevas gaitas, con la gaita tradicional, se comprobó a través de métodos cuantitativos y cualitativos, una gran similitud entre ellas, lo que significa que el timbre es el mismo a la gaita tradicional o muy aproximado. Una vez definido el diseño preciso para el nuevo instrumento, la calidad del sonido entra a depender de la calidad de manufactura del mismo.

#### Metodología.

Una buena planeación del producto, permitió que se logaran buenos resultados en los dos procesos de desarrollo de concepto paralelos (acústica y diseño), para integrarlos al perfeccionamiento de sus detalles técnicos y estéticos, llegando a la mejor solución en todos los aspectos profundizados.

Los diferentes análisis conceptuales del instrumento tradicional, de otros instrumentos de viento y la simulación de sus principios en materiales sustitutos, permitieron comprender los principios físicos y funcionales necesarios en el nuevo instrumento para el proceso de sintetización y concepción del rediseño.

Los software utilizados para las pruebas y análisis sonoro del instrumento, apoyados de bases teóricas sólidas, optimizan la investigación y experimentación y facilitan la obtención de resultados confiables, como los obtenidos a lo largo de las ocho pruebas realizadas.

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de materiales sustitutos y procesos de producción alternativos, en paralelo con la exploración de los

principios funcionales del diseño original, reflejan la posibilidad de dar solución a los requerimientos vigentes para instrumentos musicales profesionales, con mayor calidad de factura, conservando los elementos referentes de la gaita tradicional.

Para concebir el nuevo producto fue necesario contar con la colaboración de personas expertas en cada una de las etapas del proyecto, que tengan especialidad en el tema que se desarrolle. Esto hizo posible tener puntos de vista de carácter técnico en todos los momentos del proyecto, para apoyar la labor de diseño.

#### Propósito.

En el nuevo diseño, la gente logra reconocer elementos característicos de su origen indígena, detrás del nuevo aspecto contemporáneo y simplificado de sus formas. Logra un balance óptimo entre los elementos históricos que evoca y su necesidad implícita de recontextualización. Adicionalmente, se reintegró el referente de emulación del sonido de los pájaros de la región, originalmente funcional, a la parte estética del diseño.

Es posible hacer que un instrumento musical rústico evolucione, conservando su timbre y adaptándolo a los nuevos estándares de afinación a nivel global. Para este caso se adaptó como modelo una metodología científica por medio de observación, hipótesis, experimentación, análisis y simplificación; demostrando la utilidad del método científico como método de diseño dentro de la ingeniería de productos.

A lo largo de la realización del proyecto, se observó bastante interés por parte de diferentes grupos de personas relacionados con la música y folclore,

lo cual acredita una de las justificaciones relacionadas con este aspecto para la realización del proyecto.

Se demuestra que un Ingeniero de Diseño de Producto, con los conocimientos generales adquiridos en el pregrado sobre el proceso de diseño y desarrollo de cualquier producto, está en capacidad de investigar, experimentar y deducir nuevos conceptos, trabajando en conjunto con otras áreas del conocimiento, para concebir productos especializados para un sector específico.

Es un valor agregado para un diseñador Colombiano, en comparación con diseñadores de otras regiones del mundo, la capacidad de imprimir en sus diseños elementos gráficos, formales o conceptuales, arraigados en la historia cultural de su país de origen. Este proyecto muestra que es posible, desarrollar productos contemporáneos con conceptos funcionales y elementos de diseño distintivos de Colombia para el mundo.

# BIBLIOGRAFÍA

ABADIA MORALES, Guillermo. Instrumentos de la música folklórica de Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano de Cultura, 1981. 60p. (Publicaciones especiales).

ABADÍA MORALES, Guillermo. [CD-ROM] Instrumentos musicales de Colombia. Bogotá: Fundación BAT. 2005.

ARAUJO, Couto H. Fisiología Do Trabalho Aplicada. Belo Horizonte 1978

BECKER, Jean-Paul. Ergonomía Y Factores Humanos. Prevención de lesiones traumáticas acumulativas. Pruebas para evaluación de cargas OWAS (Ovako working posture analysis system).

BERG, Richard E; STORK, David G. The physics of sound. University of Maryland. Prentice Hall Inc. New Jersey. 1982. Pág. 67-74.

BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston. Product design for manufacture and assembly. Marcel Dekker Inc. September 2001

CASALS MIRONES, Jorge Alejandro. Tesis Doctoral: Caracterización no lineal de composites piezoeléctricos de potencia para la emisión de ultrasonidos en el aire.

CROSS, Nigel. Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos. Cuernavaca. Editorial Limusa S.A. Grupo Norega Editores. 1999. Pág. 75-79

DIBUJO TÉCNICO. Documentación de la asignatura. Universidad Eafit, Ingeniería Mecánica. 2001

ESCOBAR CARDONA, Oscar y RODRÍGUEZ GUZMÁN Jorge Ricardo. Las maderas en Colombia. SENA Regional Antioquia Chocó. Centro Colombo Canadiense de la Madera. Medellín. 1993

ESTRADA, Jairo. Ergonomía. Editorial Universidad de Antioquia. 2da. Edición. Colección Yuluka / Salud Pública. Pág. 95-96.

HERNÁNDEZ, Juan Daniel. Estudio de acústica instrumental sobre la gaita hembra para el desarrollo de un modelo físico. Proyecto de grado (Maestro en música con Énfasis en Ingeniería de sonido). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Música. Bogotá, 2002.

MAPFRE. 20 preguntas básicas para aplicar la ergonomía en la empresa: Diseño de herramientas. Instituto de Ergonomía MAPFRE. Universidad de Zaragoza. 2001.

PIERCE, John R. Los sonidos de la música. Barcelona: Biblioteca Scientific American, (Editorial labor). 1983. Pág. 241

POSTGRADO BASES CIENTÍFICAS DE LA ACÚSTICA ARQUITECTURAL Y URBANA. Documentación de clase. Escuela De Arquitectura Paris-Val-De-Seine. Paris, Francia. 2002.

READER'S DIGEST. El gran libro de la salud. Enciclopedia Médica. 1971

TEORÍA DE LA FORMA. Documentacion de la asignatura de Ingeniería de Diseño de Producto. Universidad Eafit. Medellin. 2006

ULRICH, Kart T. y EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos. Enfoque multidisciplinario. Tercera edición. EU, McGraw Hill, 2004

VÁSQUEZ CORREA, Ángela María, RAMIREZ ARANGO Alejandra María. Maderas comerciales en el valle de Aburrá. Área. 2005

WEIR PAREDES, Alfredo José. HERNÁNDEZ VÉLEZ, José Ignacio. Características, resistencias y usos de algunas maderas colombianas. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Seccional Medellín. Facultad Nacional de Minas. Medellín 1982.

Internet.

Aerospace Lubricants.

<<http://aerospacelubricants.thomasnet.com/category/market-musical-instrument-lubricant> >

Asociación Española de Ergonomía. <[www.ioc.upc.es/ergomain/AEE](http://www.ioc.upc.es/ergomain/AEE)>

Fante's Kitchen Wares Shop. <[www.fantes.com/stainless\\_steel.htm](http://www.fantes.com/stainless_steel.htm)>

Orquesta Sinfónica Del Instituto Politécnico Nacional. Glosario de términos musicales. <[www.orquestasinfonica.ipn.mx/glosario.html](http://www.orquestasinfonica.ipn.mx/glosario.html)>

Organización Indígena Gonawindua Tayrona

<<http://www.tairona.org/galeria.html>>

Universitat Rovira I Virgili <[www.tdx.cesca.es/TDX-0307106-123728](http://www.tdx.cesca.es/TDX-0307106-123728)>

Wikipedia. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Cork\\_\(material\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Cork_(material))>

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Sobre comportamiento de los bordes en las flautas.

ANCIANO, S.A., "Edgetones contra Pipetones," J. Acoust. Soc. . 64, 1721-1723, (1978)

BOUASSE, H., respiradero del a de los instrumentos, 2 vols., París: Librairie Delagrave, 1929.1930.

COLTMAN, JUAN W., "Mecanismo del sonido de la pipa de la flauta y del órgano", J. Acoust. Soc. . 44 (1968)

CREMER, EL L. E ISING, H., "Dado selbsterregten a Schwingungen von Orgelpfeifen," Acustica 19, 143-153, (1968)

FLETCHER, N.H., "Interacciones no lineales en pipas del tubo del órgano," J. Acoust. Soc. . 56 (1974)