

LA AFINACIÓN JUSTA EN EL TROMBÓN Y LA NOTACIÓN MICROTONAL DE MANFRED STAHNKE: ANÁLISIS INTERPRETATIVO Y ESTRUCTURAL DE *BEATING*

JUST INTONATION IN THE TROMBONE AND MANFRED STAHNKE'S MICROTONAL NOTATION: INTERPRETATIVE AND STRUCTURAL ANALYSIS OF *BEATING*

Antonio Marín

Musikschule Müllheim

Guillem Escorihuela

Universitat de València

Recepción: 07-12-2025

Aceptado: 23-12-2025

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18196838>

Resumen

Este artículo examina *Beating* (1987) de Manfred Stahnke, un trío para trombones que constituye uno de los ejemplos más significativos de la aplicación de la afinación justa y la notación microtonal en instrumentos de viento-metal. El estudio combina análisis cuantitativo y cualitativo para abordar la estructura acústica, la organización interválica, el comportamiento de los batimentos, la función del glissando y la aparición de sonidos diferenciales como herramientas de verificación auditiva. La comparación entre la edición manuscrita de 1999 y la versión revisada de 2013 revela un proceso de clarificación gráfica orientado a mejorar la legibilidad y la eficacia performativa sin modificar los fundamentos acústicos de la obra. El análisis interválico muestra la convivencia de dos planos complementarios: el sistema temperado como punto de referencia y las proporciones naturales como motor estructural. Esta dualidad permite que la obra explore distintas regiones acústicas manteniendo siempre su coherencia global. Los resultados cuantitativos confirman la solidez del sistema, mientras que los sonidos diferenciales y el uso estratégico del glissando evidencian su verificabilidad empírica y su carácter funcional. En conjunto, *Beating* se presenta como un laboratorio acústico donde notación, física del sonido y práctica instrumental convergen para configurar un modelo de interpretación basado en la escucha activa y el entendimiento profundo de la afinación natural.

Palabras clave: Microtonalidad, Afinación justa, Trombón.

Abstract

This article examines *Beating* (1987) by Manfred Stahnke, a trio for trombones that stands as one of the most significant examples of applying just intonation and microtonal notation to brass instruments. The study combines quantitative and qualitative approaches to analyse the work's acoustic structure, intervallic organisation, beating behaviours, the structural role of glissandi and the presence of difference tones as mechanisms for auditory verification. The comparison between the 1999 manuscript and the revised 2013 edition reveals a process of graphical refinement aimed at improving clarity and performative functionality without altering the acoustic foundations of the work. The intervallic analysis highlights the coexistence of two complementary layers: the equal-tempered system as a point of reference and natural proportional relationships as the structural engine. This duality allows the piece to traverse different acoustic regions while maintaining global coherence. Quantitative results confirm the internal consistency of Stahnke's system, while the use of difference tones and strategic glissandi demonstrates its empirical verifiability and practical effectiveness. Overall, *Beating* emerges as an acoustic laboratory in which notation, sound physics and instrumental practice converge, offering a model of interpretation grounded in active listening and a deep understanding of natural tuning.

Key words: Microtonality, Just intonation, Trombone.

Introducción

La afinación constituye uno de los elementos interpretativos más relevantes en la práctica musical, especialmente en instrumentos cuyo tono no está prefijado y que presentan un amplio margen de flexibilidad interválica. En la música académica occidental, la estandarización del temperamento igual de doce notas desde el siglo XVIII puede entenderse como la consolidación de un modelo homogéneo de organización sonora, progresivamente desvinculado de las relaciones acústicas naturales. Aunque este sistema ha favorecido la modulación y la expansión tonal, diversos estudios han demostrado que intervalos fundamentales —como la tercera mayor, la tercera menor o la sexta mayor— difieren significativamente de sus proporciones naturales cuando se interpretan en temperamento igual (Duffin, 2007), siendo especialmente relevante el caso de la tercera mayor, aproximadamente 14 cents más amplia que en la afinación justa.

En este contexto, la afinación justa y otros modelos interválicos alternativos han mantenido su relevancia tanto en la teoría musical como en la práctica interpretativa contemporánea. Los trabajos de Helmholtz (1863), ampliados por Ellis (1885), establecieron las bases fisiológicas y matemáticas de la percepción del tono y ejercieron una influencia decisiva en el desarrollo de la microtonalidad durante el siglo XX. Desde una perspectiva complementaria, Liern (2022) subraya que los sistemas de afinación operan como modelos matemáticos ideales que no agotan la complejidad de la práctica interpretativa real, caracterizada por variabilidad y dependencia perceptiva. En esta misma línea, Goldáraz (2010) señala que numerosos sistemas microtonales —como los derivados del archicémbalo de Vicentino— deben entenderse como dispositivos híbridos en los que convergen diseño teórico, organización espacial del teclado y práctica interpretativa, desplazando el foco desde una lectura estrictamente matemática hacia su funcionalidad perceptiva y performativa.

Este marco permite reconsiderar las propuestas microtonales contemporáneas —y, en particular, las de Manfred Stahnke— no como desviaciones respecto a un modelo afinatorio normativo, sino como configuraciones abiertas que operan

en un continuo perceptivo. La microtonalidad en Stahnke se sitúa así en un espacio intermedio entre la precisión de modelos como la notación Helmholtz–Ellis extendida (Sabat, 2009a) y la radicalidad matemática de las proporciones de Ben Johnston (2006). Su sistema notacional, desarrollado para obras como *Beating* (1987), propone alteraciones y desviaciones interválicas orientadas a aproximar al intérprete a la afinación natural sin imponer un sistema racional estricto.

El trombón, gracias a la movilidad continua de su vara y a la posibilidad de ajustar la longitud del tubo en tiempo real, constituye un laboratorio privilegiado para la práctica de la entonación natural. Como instrumento de entonación libre, permite reproducir sonidos de cualquier frecuencia dentro de su tesitura (Gevaert, 1885). Investigadores-intérpretes como Svoboda (2016, 2017) han subrayado que la afinación debe entenderse como una dimensión expresiva, contextual y dinámica. En este marco, el presente artículo examina la propuesta notacional de Stahnke mediante un estudio interpretativo de *Beating*, analizando la relación entre afinación justa, notación microtonal y su aplicabilidad práctica en el trombón.

1. Fundamentos teóricos y antecedentes de la microtonalidad en la práctica interpretativa

La bibliografía sobre afinación natural y microtonalidad presenta un sesgo disciplinar, con un predominio de estudios desde la acústica, la teoría musical y la composición (Wood, 1986; Narushima, 2017; Nuorvala, 2018), mientras que las aportaciones desde la interpretación siguen siendo minoritarias. Los fundamentos científicos de la teoría moderna de la afinación se establecen con Helmholtz (1863) y se amplían con Ellis (1885) mediante la introducción del sistema de cents.

El impulso por ampliar el vocabulario interválico y superar las limitaciones del temperamento igual condujo, a lo largo del siglo XX, a la formulación de múltiples sistemas microtonales y métodos de notación. Como señala Asuar (1957), compositores y teóricos desarrollaron procedimientos diversos para representar y materializar los nuevos intervalos, desde adaptaciones de la

escritura tradicional —como los sistemas de Obouhow y Wyschnegradsky— hasta propuestas más radicales como la de Julián Carrillo, basada en un eje horizontal numerado capaz de representar dieciseisavos de tono.

Estas innovaciones plantearon de inmediato el problema de su materialización sonora, dado que la construcción de instrumentos capaces de reproducir con estabilidad variaciones microtonales constituyó una barrera técnica persistente (Asuar, 1957). En este contexto, resultan fundamentales las aportaciones de Alois Hába y del propio Carrillo, así como el recurso a instrumentos de entonación no temperada, como las cuerdas o la voz humana.

Superadas parcialmente las dificultades de notación y organología, emergió un reto estético central: cómo otorgar autonomía a los microtonos frente a la gravitación del sistema temperado (Asuar, 1957). Estas tensiones se articularon con mayor claridad en la segunda mitad del siglo XX a través de dos grandes líneas: por un lado, la tradición estadounidense encabezada por Harry Partch (1949) y continuada por Ben Johnston, basada en las proporciones de la serie armónica; por otro, la tradición europea representada por Marc Sabat y Wolfgang von Schweinitz, que dio lugar a la notación extended Helmholtz–Ellis (Sabat, 2009a).

En conjunto, la microtonalidad del siglo XX constituye un campo plural en el que convergen enfoques perceptivos, físicos, matemáticos, instrumentales y estéticos. No obstante, la investigación desde la perspectiva interpretativa sigue siendo limitada. Destacan aportaciones como la tesis doctoral de Lukas Storm (2017) y los trabajos de Mike Svoboda (2016, 2017), especialmente relevantes en el ámbito del trombón. En este panorama se inscribe la propuesta notacional de Manfred Stahnke (2017), cuya orientación pragmática la convierte en un caso de estudio especialmente pertinente.

1.1. Fundamentos acústicos de la afinación justa

La afinación justa se basa en relaciones proporcionales simples derivadas de la serie armónica, entendida como el conjunto formado por una frecuencia fundamental y sus múltiplos enteros (2f, 3f, 4f, 5f, 6f...). Estas relaciones reflejan directamente la estructura física del sonido y constituyen el fundamento

acústico de la afinación natural. Tal como demostró Helmholtz (1863), la percepción de consonancia está estrechamente ligada a la coincidencia entre los parciales de los sonidos implicados y a la consiguiente ausencia o minimización de batidos.

Desde esta perspectiva, los intervalos justos no son construcciones abstractas, sino manifestaciones audibles de proporciones físicas objetivas. Afinar un instrumento en afinación justa implica, por tanto, ajustar sus parámetros físicos —longitud del tubo, tensión de la cuerda, presión del aire— de modo que las frecuencias resultantes se correspondan con dichas proporciones simples (Withington, 2020).

Esta forma de afinación optimiza la estabilidad espectral de los intervalos y produce una sonoridad percibida como especialmente estable y coherente, especialmente en contextos donde la relación entre sonidos es prioritaria, como la música vocal, camerística o microtonal.

En contraste, el temperamento igual no responde a proporciones derivadas de la serie armónica, sino a un modelo matemático abstracto que divide la octava en doce semitonos logarítmicamente idénticos. Este sistema permite la modulación libre entre todas las tonalidades y garantiza la invariancia estructural del teclado y de los instrumentos de afinación fija, pero introduce desviaciones sistemáticas en todos los intervalos excepto la octava. Como consecuencia, intervalos históricamente considerados consonantes —como la tercera mayor o la sexta— se encuentran ligeramente desplazados respecto a sus equivalentes naturales, generando frecuencias de batido que pueden llegar a ser perceptibles (Barbour, 1938).

Estas diferencias no constituyen meramente una cuestión teórica, sino que tienen consecuencias acústicas y perceptivas directas. Mientras que la afinación justa prioriza la pureza local de los intervalos y la alineación de parciales, el temperamento igual sacrifica dicha pureza en favor de una mayor flexibilidad estructural del sistema musical. En contextos contemporáneos, estas desviaciones dejan de ser un efecto colateral para convertirse en un material sonoro consciente: los batidos generados por la coexistencia de

afinaciones naturales y temperadas pueden ser explotados intencionalmente como recurso compositivo, como ocurre en obras que trabajan explícitamente con el fenómeno del *beating*, o bien evitados mediante un control fino de la afinación en la interpretación tradicional.

Desde esta perspectiva, la afinación justa y el temperamento igual no deben entenderse como sistemas excluyentes, sino como modelos acústicos y funcionales distintos, cada uno con implicaciones específicas para la percepción, la notación y la práctica interpretativa. La comprensión de esta diferencia resulta esencial para abordar repertorios microtonales y para interpretar obras en las que la gestión de las desviaciones interválicas y de los batidos forma parte estructural del discurso musical (Withington, 2020).

1.2. Notación microtonal y desafíos epistemológicos

La notación occidental tradicional está diseñada para un sistema discreto de alturas. Cuando los compositores desean representar relaciones interválicas naturales o desviaciones microtonales, se enfrentan a limitaciones que han motivado la creación de múltiples sistemas alternativos. Estos sistemas se dividen, principalmente, en:

1. Notaciones racionales basadas en proporciones, como la de Ben Johnston, donde cada signo corresponde a una relación exacta derivada de la serie armónica.
2. Notaciones diferenciales en cents, como la *extended* Helmholtz–Ellis, que codifican desviaciones concretas respecto al temperamento igual.
3. Notaciones pragmáticas o interpretativas, como la de Stahnke, concebidas para guiar la realización acústica sin exigir una correspondencia matemática estricta.

Cada una de estas aproximaciones plantea desafíos específicos: desde la complejidad perceptiva de las proporciones racionales hasta la proliferación simbólica de los sistemas diferenciales. Frente a ello, Stahnke propone una semiografía intermedia en la que la indicación microtonal actúa como

orientación acústica, dejando al intérprete la responsabilidad de ajustar el intervalo según el contexto armónico y las propiedades del instrumento.

1.3. El trombón como instrumento para la afinación natural

El trombón se encuentra naturalmente alineado con la serie armónica debido a su mecanismo de emisión. La posibilidad de modificar la longitud del tubo mediante la vara permite ajustar el tono con gran precisión, lo que lo convierte en un instrumento propicio para la microtonalidad. Además, los parciales superiores del trombón presentan resonancias claras y estables, facilitando la afinación de intervalos naturales y la manipulación de batidos.

Desde la perspectiva pedagógica, Svoboda (2017) sostiene que la afinación natural debería incorporarse de forma transversal en la formación del trombonista, dado que permite explorar gradientes de tensión-relajación sonora, optimizar la calidad del timbre y comprender la interacción entre acústica e interpretación. La obra *Beating* constituye un caso paradigmático en este sentido, ya que combina batidos intencionados, intervalos naturales y desviaciones microtonales que exigen un dominio fino de la relación entre emisión, articulación y control auditivo.

2. Metodología

La metodología adoptada en esta investigación se fundamenta en un enfoque mixto, combinando procedimientos cuantitativos y cualitativos con el objetivo de analizar, desde la práctica interpretativa, la relación entre notación microtonal, principios acústicos y toma de decisiones en la afinación natural aplicada al trombón. Esta elección responde a la naturaleza compleja del objeto de estudio, que requiere integrar datos acústicos verificables —como cálculos interválicos y desviaciones en cents— con dimensiones interpretativas vinculadas a la escucha activa, la experiencia sonora y el diálogo con el pensamiento compositivo.

Diversos autores han señalado que la combinación de enfoques cualitativos y cuantitativos resulta especialmente adecuada para el estudio de realidades musicales complejas, al permitir articular medición empírica, observación y

reflexión interpretativa (Campbell, 1986; Moscoloni, 2005; Pérez et al., 2020). En el ámbito específico de la investigación musical, se ha subrayado la necesidad de metodologías híbridas que integren el análisis de parámetros acústicos con el estudio de los fenómenos efímeros propios de la interpretación (Rodríguez-Quiles, 2000; Botella & Escorihuela, 2021). Desde esta perspectiva, el diseño metodológico adoptado no persigue únicamente describir el sistema notacional analizado, sino articular un marco interpretativo empíricamente fundamentado y situado en la práctica instrumental.

2.1. Sistemas de afinación, temperamento igual y unidad de medida interválica

Con el fin de contextualizar el enfoque cuantitativo del estudio, se explicitan brevemente los fundamentos matemático-acústicos que permiten comparar sistemas de afinación y describir desviaciones microtonales de forma objetiva. En acústica musical, la afinación se refiere al ajuste concreto de las frecuencias sonoras, mientras que el temperamento designa un modelo abstracto de organización interválica dentro de la octava.

El temperamento igual de doce notas divide la octava en doce intervalos logarítmicamente idénticos, obtenidos mediante la multiplicación sucesiva de la frecuencia por la raíz duodécima de dos ($2^{1/12}$). Este sistema garantiza la modulación libre entre tonalidades y la invariancia estructural de los instrumentos de afinación fija, a costa de introducir desviaciones sistemáticas respecto a las proporciones naturales de la serie armónica.

En contraste, la afinación justa se basa en relaciones proporcionales simples derivadas de dicha serie (como 3:2, 5:4 o 7:4), que presentan una mayor alineación entre parciales y reducen la aparición de batidos, generando una percepción de mayor estabilidad acústica (Helmholtz, 1863). Para comparar objetivamente intervalos procedentes de distintos sistemas se emplea la unidad cent, introducida por Ellis, que divide la octava en 1200 partes iguales y permite expresar cualquier intervalo como una desviación cuantificable respecto a un estándar de referencia.

Desde esta perspectiva, el uso del temperamento igual como marco de referencia responde a su función métrica común y no a una jerarquía estética. Esta base conceptual permite abordar el análisis cuantitativo del sistema notacional de Stahnke describiendo desviaciones, aproximaciones a intervalos justos y fenómenos acústicos como la aparición de batidos (Barbour, 1938; Withington, 2020).

2.2. Enfoque cuantitativo: análisis interválico y cálculos acústicos

La dimensión cuantitativa del estudio se basa en el análisis interválico del sistema de notación de Manfred Stahnke, con especial atención a las desviaciones microtonales y a las relaciones implícitas en su grafía. Para ello se emplearon cálculos en cents tomando como referencia el temperamento igual, así como diferenciales interválicos derivados de proporciones simples comparadas con la serie armónica.

La conversión de las alteraciones stahnkianas en valores interválicos permitió establecer un marco comparativo preciso, evaluar la coherencia acústica del sistema y analizar su grado de realizabilidad instrumental en el trombón. Este enfoque permitió identificar la relación entre determinadas grafías, la generación de fenómenos de consonancia o batido y su correspondencia con modelos teóricos de afinación justa.

2.3. Enfoque cualitativo: entrevista semiestructurada y trabajo interpretativo

La dimensión cualitativa del estudio se articuló en torno a dos fuentes complementarias, orientadas a contextualizar y profundizar en los resultados obtenidos mediante el análisis cuantitativo. En primer lugar, una entrevista telemática semiestructurada al compositor Manfred Stahnke. Esta no se concibió como un instrumento evaluativo ni como una técnica estandarizada de recogida de datos susceptible de validación formal, sino como un recurso contextual e interpretativo integrado en el proceso de análisis de la obra. Su diseño se derivó directamente del estudio previo de la partitura *Beating* y de su realización interpretativa, adoptando un formato abierto y flexible propio de los estudios artísticos y performativos.

Las preguntas, de carácter abierto, estuvieron orientadas a clarificar aspectos estéticos, notacionales y acústicos del sistema microtonal del compositor, y sus respuestas permitieron: contextualizar la lógica interna de la grafía utilizada en *Beating*; contrastar y matizar interpretaciones derivadas del análisis cuantitativo; replantear algunos de los objetivos iniciales del estudio a partir de la visión del propio autor.

En este sentido, la entrevista funcionó como un dispositivo hermenéutico, cuyo objetivo no fue producir datos generalizables, sino enriquecer la interpretación crítica de la obra desde el marco específico de su creación y de su relación con la práctica instrumental.

El segundo eje cualitativo se basó en la incorporación de conocimientos interpretativos adquiridos a través de la práctica instrumental y del trabajo con Mike Svoboda, especialmente en relación con la afinación basada en proporciones naturales, la gestión de desviaciones microtonales y la experimentación controlada con batidos y sonidos resultantes.

Este componente permitió integrar una perspectiva performativa fundamental para un estudio centrado en el trombón, en el que la afinación y la realización microtonal dependen de decisiones continuas del intérprete. La combinación de práctica instrumental, reflexión crítica y contraste con los resultados cuantitativos contribuyó a un análisis situado de la obra, coherente con el enfoque metodológico mixto adoptado.

2.4. Consideraciones epistemológicas y límites del enfoque

La afinación justa constituye uno de los pocos parámetros interpretativos que pueden cuantificarse con relativa precisión mediante cálculos interválicos, a diferencia de otros aspectos musicales como el tempo o la dinámica. Esta verificabilidad permite fundamentar decisiones interpretativas desde una perspectiva acústica mediante herramientas como el cálculo de cents y proporciones interválicas.

No obstante, la música no puede reducirse a su dimensión cuantitativa. Un enfoque exclusivamente matemático corre el riesgo de descontextualizar la

experiencia sonora; por ello, este estudio adopta un modelo integrador en el que la verificación acústica y la experiencia auditiva del intérprete se complementan, analizando las decisiones interpretativas tanto desde su coherencia acústica como desde su pertinencia musical.

3. Análisis integral del caso: *Beating* de Manfred Stahnke

3.1. Planteamiento general del análisis

El análisis de *Beating* (1987), obra para trío de trombones de Manfred Stahnke, constituye un caso paradigmático para examinar la traslación de una notación microtonal basada en principios de afinación justa a un instrumento de viento-metal cuya naturaleza acústica permite un control preciso de la altura. La obra articula un sistema interno en el que las indicaciones microtonales —flechas, alteraciones numéricas y valores aproximados en cents— integran proporciones naturales, fenómenos de interferencia acústica, batimentos estructurales y procesos de migración del tono.

Beating no plantea la microtonalidad como un recurso ornamental, sino como motor estructural del discurso musical. La escritura funciona como extensión del comportamiento acústico del instrumento, lo que exige un análisis que combine estructura interválica, diseño notacional, fundamentos acústicos y experiencia interpretativa.

3.2. Relación entre la escritura y la estructura acústica de la obra

La estructura de *Beating* se fundamenta en fenómenos de interferencia derivados de la superposición de frecuencias próximas. Los batimentos no aparecen como efecto colateral, sino como eje articulador del discurso. Proporciones armónicas como 3:2, 5:4 o 7:4, junto con armónicos superiores (11, 13, 17, 21 o 25), se integran funcionalmente en un tejido vertical en constante transformación.

Desde los primeros compases (Figura 1) se observa un equilibrio entre intervalos de gran estabilidad y parciales menos habituales que requieren un control auditivo más fino. Esta coexistencia no responde a una búsqueda de complejidad, sino a una arquitectura orgánica que regula la progresión

armónica. La obra prioriza la verticalidad: las tres voces actúan como componentes de un único mecanismo acústico en el que la relación simultánea de alturas determina la percepción global.

Figura 1

Notación de los primeros compases en Beating de Stahnke



Nota. Stahnke-Verlag © Copyright 2013. All Rights Reserved. International Copyright Secured. Reproducido con permiso de la editorial.

3.3. Aplicación práctica de la notación Stahnkiana en *Beating*

La notación de Stahnke no pretende fijar alturas exactas, sino orientar al intérprete hacia regiones acústicas específicas. Las flechas y valores numéricos operan como un sistema bifocal que toma el temperamento igual como referencia métrica y, simultáneamente, abre el espacio hacia desviaciones derivadas de la afinación justa, garantizando coherencia perceptiva sin rigidez matemática.

En la práctica interpretativa, cada indicación microtonal se traduce en una aproximación proporcional verificada mediante la escucha de batimentos. Desviaciones pequeñas (10–20 ¢) no requieren cálculo explícito, sino una búsqueda auditiva activa. Valores como –30 ¢ deben entenderse como orientaciones acústicas dependientes del contexto armónico, el registro y la interacción espectral, y no como posiciones fijas de la vara. Este carácter orientativo explica la operatividad del sistema dentro del margen auditivo razonable de un trombonista experimentado (Figura 2).

Figura 2

Representación visual de las referencias y las proporciones en la notación stahnkiana del c. 1 al 9 en Beating de Stahnke

The image shows a musical score for three staves. The top staff is in bass clef with a tempo marking of $\text{♩} = 92$ and the text "viel Zeit". It contains notes with circles around them, some labeled with "1:1", "3:2", and "5:8". The middle staff is also in bass clef and contains notes with circles around them, some labeled with "3:2" and "5:8". The bottom staff is in bass clef and contains notes with circles around them, some labeled with "5:8". Below the staves, there is a section titled "Hinweise zur Harmonik:" with a scale of notes: Es, 5, 3, 4, D, 3, E. Below this, there is a note in parentheses: "(rein über Es, 5. Naturton im Baß)".

Nota. Stahnke-Verlag © Copyright 2013. All Rights Reserved. International Copyright Secured. Reproducido con permiso de la editorial.

3.4. Comparación entre la edición de 1999 y la edición definitiva de 2013

La comparación entre ambas ediciones muestra un proceso de refinamiento orientado a mejorar la claridad acústica y la inteligibilidad performativa. La edición de 2013 reorganiza registros y funciones de las voces, favoreciendo una mayor transparencia vertical y una distribución más equilibrada de los roles instrumentales.

Asimismo, se introduce una notación más consistente y puntos explícitos de "reset temperado" que controlan la migración del tono derivada de la acumulación de proporciones naturales. Estos ajustes no alteran la estructura interválica, sino que optimizan su realización interpretativa.

3.5. Resultados del análisis cuantitativo: cálculos en cents y migración del tono

El análisis cuantitativo confirma la coherencia interna del sistema. Incluso en pasajes densamente cargados de microdesviaciones, los cálculos muestran que las proporciones indicadas por la notación se corresponden con las

desviaciones naturales esperables. Por ejemplo, la quinta 3:2 mantiene un valor aproximado de +2 ¢, la tercera mayor natural se sitúa en torno a +14 ¢ y los armónicos 11 y 13 reproducen aproximadamente +49 y +40 ¢ respectivamente. Las diferencias menores entre los valores teóricos y los utilizados por Stahnke no afectan la percepción, razón por la cual el sistema resulta operativo.

Una parte esencial de este análisis es el estudio de la acumulación de desviaciones. Las secciones donde se encadenan varias proporciones naturales muestran una migración gradual del tono hacia otra región acústica. Stahnke controla este fenómeno mediante la introducción estratégica de notas ST que restablecen la referencia central. Los puntos de reset temperado aparecen en lugares estructuralmente significativos y garantizan el equilibrio de la progresión armónica.

Los compases 50–53 (Figura 3) constituyen uno de los ejemplos más llamativos: la sucesión de parciales 11, 13, 15 y 17 genera una arquitectura interválica extremadamente rica, cuyos valores en cents coinciden con los derivados de sus proporciones naturales. La aparición de batimentos es especialmente intensa por la proximidad de valores naturales contiguos. De manera similar, en los compases 63–66 —que integran parciales poco frecuentes, como 21, 22 y 25— se observa una sorprendente estabilidad acústica gracias a la coherencia proporcional interna.

Figura 3

Cálculo en cents de los intervalos del c. 50 al 53 en Beating de Stahnke



3.6. El glissando como mecanismo estructural y acústico

El glissando desempeña una función crucial en *Beating*: no se trata de un efecto ornamental, sino de una herramienta que permite el reajuste continuo de la afinación. Actúa como vector de transición entre regiones interválicas, corrige desviaciones acumuladas y modula la densidad de batimentos. En los compases 10–12 y 41–45, el glissando sirve para estabilizar nuevas referencias armónicas, mientras que en la sección final (138–154) regulariza la acumulación de proporciones antes del cierre de la obra.

La versión revisada de 2013 presenta un caso destacable: la desaparición del glissando en el compás 154, un elemento cuya ausencia contradice la lógica interválica del pasaje. El análisis cuantitativo demuestra que el glissando es necesario para mantener la continuidad proporcional, razón por la cual se propone su restitución en la corrección incluida en este trabajo (Figura 4). Los glissandi largos también influyen en la percepción de los batimentos: cuando dos voces convergen hacia un mismo parcial durante un glissando, el ritmo de batimentos se intensifica y luego se estabiliza al alcanzar la consonancia natural. Este comportamiento no solo guía al intérprete, sino que estructura el discurso musical.

Figura 4

Notación del compás 11 al 12; y del compás 150 al 154

The image displays a musical score for three voices (Soprano, Alto, Tenor) and a double bass line. The score is in 3/4 time and features dynamic markings (pp, p, mp) and articulation (accents). The first system shows measures 11-12, and the second system shows measures 150-154. Two orange boxes highlight specific passages: one in measure 12 and another in measure 154. The text "tempo primo, sempre poco acc." is written above the second system. The bottom line is a double bass line with notes D and Es.

Nota. Stahnke-Verlag © Copyright 2013. All Rights Reserved. International Copyright Secured. Reproducido con permiso de la editorial.

3.7. Los sonidos diferenciales como herramienta de verificación acústica

El análisis de los sonidos diferenciales confirma la consistencia del sistema stahnkiano y su funcionalidad práctica. Los intervalos naturales utilizados en la obra favorecen la aparición de resultantes audibles, especialmente cuando la distancia entre dos alturas no supera los 20 ϕ . Los compases 31–36 son particularmente ilustrativos: en la mayor parte de esta sección, el sonido diferencial coincide con la nota del trombón I, lo que demuestra que las voces mantienen la proporcionalidad esperada.

Este fenómeno tiene profundas implicaciones pedagógicas: permite que los intérpretes verifiquen la afinación en tiempo real, sin necesidad de apoyos externos, y fortalece una escucha activa que convierte la obra en un “laboratorio” acústico. Cuando las voces se alinean proporcionalmente, el sonido resultante emerge con claridad; cuando no, desaparece o se vuelve inestable, actuando como indicador inmediato de la precisión interválica (Figura 5).

Este sistema dota a *Beating* de una dimensión interpretativa singular: el intérprete no solo ejecuta las alturas, sino que escucha la arquitectura interna de la obra desde dentro.

Figura 5

El sonido diferencial en Beating de Stahnke

The image shows a musical score for three staves. The top staff is in bass clef, the middle in alto clef, and the bottom in bass clef. All are in 4/4 time. The tempo is marked 'D tempo primo e poco acc.' and the dynamics start at 'p' (piano) and follow a 'sempre cresc.' (always crescendo) instruction. An orange box highlights a section from measure 20 to 25. In measure 22, there is a '- 50' marking. The final measure (25) is marked '2 reine Terzen senza gliss.' and features a glissando line. Below the staves, a timeline shows measures 17, 18, 19, 20, 21, and 22, with a 'C' (C-clef) at measure 17.

Nota. Stahnke-Verlag © Copyright 2013. All Rights Reserved. International Copyright Secured. Reproducido con permiso de la editorial.

3.8. La utonality en *Beating*: resultados y aplicación práctica

La Utonality —concepto derivado de Harry Partch — consiste en series interválicas generadas por división, en contraste con la Otonality basada en multiplicación. Su aparición en la sección J (a partir del compás 82) expande el vocabulario interválico de la obra y demuestra la profundidad con la que Stahnke integra estructuras microtonales complejas.

El análisis cuantitativo confirma que las inversiones numéricas utilizadas mantienen coherencia matemática: las desviaciones en cents coinciden con las previstas por la teoría de Partch y generan un comportamiento acústico estable, pese a su complejidad. Desde el punto de vista performativo, la Utonality presenta retos evidentes debido a su rareza en el repertorio occidental. Sin embargo, Stahnke facilita su interpretación mediante el uso consistente de flechas, la distribución clara de las voces y la presencia de glissandi que conectan progresivamente las relaciones interválicas descendentes.

La Utonality, además, genera patrones de batimentos distintos a los de la Otonality. Mientras que esta última produce batimentos ascendentes vinculados a la progresión de parciales, la Utonality tiende a generar batimentos

descendentes que se intensifican cuando se alcanza con precisión una relación proporcional inversa. Este comportamiento, lejos de ser anecdótico, refuerza la coherencia acústica del sistema stahnkiano.

3.9. Síntesis del análisis integrado

El análisis integral muestra que *Beating* no es una obra concebida como un compendio de técnicas microtonales, sino como un sistema orgánico en el que notación, acústica y práctica interpretativa se retroalimentan. La coexistencia de sistema temperado y la afinación justa crea un marco híbrido donde la precisión matemática se combina con la flexibilidad auditiva. Los batimentos, los glissandi, los sonidos diferenciales y la Utonality funcionan como componentes de un mismo entramado interválico que se comporta con coherencia interna a todos los niveles.

Para el intérprete, *Beating* se convierte tanto en una pieza artística como en una herramienta de investigación aplicada: un espacio donde es posible experimentar con la naturaleza acústica del instrumento, verificar la precisión interválica mediante resultantes y comprender la lógica profunda de la afinación natural. El trombón, por su diseño, ofrece un control excepcional sobre estos parámetros, haciendo de la obra un ejemplo privilegiado de interacción entre teoría y práctica.

Conclusiones

El análisis desarrollado confirma que la notación microtonal diseñada por Manfred Stahnke presenta una notable coherencia interna y una adecuación acústica especialmente sólida para un instrumento de entonación flexible como el trombón. Su aproximación a la afinación justa no opera como una traslación estricta de los modelos teóricos derivados de Partch (1949) o Johnston (1974), sino como una formulación híbrida que combina intervalos naturales, desviaciones aproximadas en cents y referencias puntuales del temperamento igual. Esta combinación, lejos de generar inestabilidad, dota al sistema de una flexibilidad que facilita la ejecución y previene la migración no controlada del tono a lo largo de la obra.

Los resultados ponen de manifiesto un profundo conocimiento del instrumento por parte del compositor. Stahnke evita la fijación de posiciones exactas de la vara y orienta la afinación mediante indicaciones interválicas claras, delegando en el oído —y no en la mecánica— la toma de decisiones afinatorias. Esta concepción coincide con la literatura especializada, que subraya la capacidad del oído entrenado para discriminar desviaciones superiores a pocos cents (Piles, 1982) y recomienda trabajar por regiones acústicas más que por posiciones fijas, especialmente en instrumentos de viento-metal. Frente a sistemas notacionales de alta densidad simbólica, como la notación Helmholtz–Ellis o las propuestas de Sabat y Schweinitz, la grafía stahnkiana destaca por su legibilidad, economía visual y aplicabilidad real en la práctica interpretativa.

Asimismo, el estudio ha demostrado que el sistema incorpora mecanismos internos de verificación acústica que facilitan la afinación en tiempo real. La aparición de sonidos diferenciales, la organización coherente de las estructuras armónicas y el control de los batimentos —especialmente en pasajes con parciales elevados— convierten el propio tejido musical en una guía auditiva para el intérprete. El uso moderado de desviaciones en cents permite, además, mantener una referencia estable al temperamento igual sin renunciar a la exploración de relaciones naturales, configurando un sistema intermedio eficaz entre la precisión matemática y las posibilidades reales del instrumento.

Entre las limitaciones del estudio cabe señalar que el recurso al cálculo matemático, aunque aporta rigor analítico, no siempre resulta imprescindible para la práctica interpretativa cotidiana, especialmente en un contexto en el que las herramientas digitales simplifican estos procesos. No obstante, la investigación abre diversas líneas de interés, como la aplicación del sistema stahnkiano a instrumentos con menor capacidad de ajuste microtonal, el análisis acústico avanzado de resultantes y batimentos, o su integración en contextos pedagógicos y ensembles especializados.

En conjunto, este trabajo evidencia que la afinación no debe entenderse en términos dicotómicos, sino como un proceso dinámico y contextual, dependiente del instrumento, del entorno acústico y de la escucha compartida. La notación de Stahnke constituye un ejemplo elocuente de cómo la grafía

puede acompañar —y no obstaculizar— ese proceso, ofreciendo al intérprete herramientas claras sin renunciar a la flexibilidad, la musicalidad y la intuición auditiva. En este sentido, *Beating* se presenta como una obra paradigmática: una música que articula estructura y experiencia sonora, e invita al intérprete a participar activamente en la construcción acústica del discurso musical.

Referencias

- Asuar, J. V. (1957). De los microtonos y su aplicación como sistemas temperados. *Revista musical chilena*, 11(55), 59-73.
- Barbour, J. M. (1938). Just intonation confuted. *Music & Letters*, 48-60.
- Botella, A. M.^a y Escorihuela, G. (2021). Educación performativa musical: herramientas para la investigación. *Revista de Comunicación de la SEECI*, 54, 1-19. <https://doi.org/10.15198/seeci.2021.54.e614>
- Campbell, D. T. (1986). “Grados de libertad” y el estudio de casos. En T. D. Cookm y C. S. Reichardt (eds.), *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Morata.
- Duffin, R. W. (2007). *How equal temperament ruined harmony (and why you should care)*. W. W. Norton & Company.
- Ellis, A. (1895). On the calculation of cents from interval ratio. En H. von Helmholtz, *On the sensations of tone* (3a ed., pp. 446–451). Longmans, Green, and Co.
- Gevaert, F. A. (1885). *Nouveau traité d'instrumentation*. Lemoine.
- Goldáraz Gaínza, J. J. (2004). *Afinación y temperamentos históricos*. Alianza Editorial.
- Helmholtz, H. V. (1863). Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. *Archiv für Ophthalmologie*, 9(2), 153-214.
- Johnston, B. (1974). *Microtones*. En J. Vinton (Ed.), *Dictionary of contemporary music* (pp. 483–484). E. P. Dutton & Co.

- Johnston, B. (2006). Rational structure in music. *Maximum Clarity and other writings on music*, 62-76.
- Liern, V. (2009). Las matemáticas de los músicos, *Suma*, 60, 129– 134.
- Moscoloni, N. (2005). Complementación metodológica para el análisis de datos cuantitativos y cualitativos en evaluación educativa. *Revista Electrónica de Metodología Aplicada*, 10, 1-10.
- Narushima, T. (2017). *Microtonality and the tuning systems of Erv Wilson*. Routledge.
- Nuorvala, J. (2018). Composer and Theorist Joel Mandelbaum on Microtonality. *Проблемы музыкальной науки/Music Scholarship*, (2), 56-59.
- Partch, H. (1949). *Genesis of a Music: Monophony: the Relation of Its Music to Historic and Contemporary Trends; Its Philosophy, Concepts, and Principles; Its Relation to Historic and Proposed Intonations; and Its Application to Musical Instruments*. University of Wisconsin Press.
- Pérez, R., Galán, A. y Quintanal, J. (2020). *Métodos y diseños de investigación en educación*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Piles Estellés, J. (1982). *Intervalos y gamas*. Ed. Piles.
- Rodríguez-Quiles, J. A. (2000). Investigación cualitativa en educación musical: Un nuevo reto en el contexto educativo español. *Revista LEEME*, 5, 1-6.
- Sabat, M. (2009a). *An Informal Introduction to the Helmholtz–Ellis Accidentals*. Marc Sabat.
- Sabat, M. (2009b). On Ben Johnston's Notation and the Performance Practice of Extended Just Intonation. *Marsbat space*.
- Stahnke, M. (1999/2013). *Beating für drei Posaunen* [Partitura]. Hamburgo, Alemania: Stahnke-Verlag.

- Stahnke, M. (2017). *Mein Blick auf Ligeti / Partch & Compagnons*. Hamburgo, Alemania: Stahnke-Verlag.
- Stahnke, M. (2006/2012). *Tom's Twin Trombone für Patrick Crossland* [Partitura]. Hamburgo, Alemania: Stahnke-Verlag.
- Storm, L. T. (2017). *Wolfgang von Schweinitz's "plainsound brass trio" in theory and practice: A guide for performers* [Tesis doctoral]. Universidad de California, Los Ángeles.
- Svoboda, M. (2016, 19 de enero). *Intonation is to pitch what Groove is to rhythm* [Conferencia]. Universidad de Basilea, Suiza.
- Svoboda, M., & Roth, M. (2017). *Die Spieltechnik der Posaune*. Bärenreiter.
- Withington, A. (2020). Just Intonation. *The Choral Journal*, 60(7), 26-41.
- Wood, J. (1986). Microtonality: aesthetics and practicality. *The Musical Times*, 127(1719), 328-330.