

La relación entre la música y la arquitectura en la antigua Grecia

Music and architecture relations in ancient Greece

Daniel Atilano

Universidad Central de Venezuela

Caracas, septiembre 2012

Resumen

La relación entre la música y la arquitectura en Grecia hubo dos vertientes principales una práctica y una teórica, ambas fueron influyentes para la relación.

Desde la práctica musical, la cual refiere a la ejecución de instrumentos en el acompañamiento de la poesía, al canto de la misma, manifestaciones culturales y religiosas en los lugares específicos donde se ejecutaba la música en edificaciones o en la ciudad, por ejemplo, el lugar de la orquesta y el coro en el teatro, la ubicación de los músicos o el coro en la música de danza e himnos en el culto religioso en las cortes y templos, donde ocurrían tales manifestaciones.

La corriente teórica, la cual surgió como consecuencia de la práctica musical en cuanto a las reglas que regían a la música, como distinguimos anteriormente, la escuela pitagórica tuvo una visión matemática (proporción y simetría), una filosófica (la armonía de las esferas y modelo del universo) de estas propuestas surgieron otras corrientes teóricas como la de Aristóxeno con una visión del arte musical autónomo, con reglas propias independiente de la matemática y la corriente acústica, con Aristóteles, basada en el comportamiento del sonido como fenómeno físico. Todas las propuestas teóricas griegas surgieron a partir de la invención del monocordio (kanon y helikon), instrumentos de investigación músico – matemática que permitió establecer la teoría de las proporciones en la práctica y como demostración experimental.

Palabras claves: Arquitectura, música, relación, Pitágoras, Aristóxeno, Grecia.

Introducción

El presente artículo pretende revisar la relación entre la música y la arquitectura en la antigua Grecia, cuna la cultura de Occidente a través de los tratados escritos musicales y tratados de arquitectura antiguos. Como advertiremos, ambas disciplinas se han relacionado, principalmente, desde la matemática, así la teoría de la música ha coincidido con la arquitectura en los aspectos que rigen la forma arquitectónica basada en la teoría de las proporciones. Verificaremos que la matemática y su aplicación ha sido el articulador en la práctica del arte inmaterial y metafísico de la música y el arte material y físico de la arquitectura siguiendo el preciso orden compositivo de la belleza como lo es la proporción o la armonía (Clerc, 2003:20). Identificaremos, además, el origen de líneas teóricas o corrientes de aproximación entre la relación música y arquitectura que tuvieron su origen en Grecia que trataremos de desarrollar en este trabajo.

Grecia: El cifrado pitagórico.

La música es tan antigua como el hombre, es sinónimo de movimiento. La danza y la música parecen tener un origen común y es probable que acompañaran a ceremonias religiosas y rituales espirituales para la curación de enfermos a través del canto y el ritmo. Este significado se acerca más al uso que actualmente les dan las tribus indígenas americanas o africanas, donde la música tiene poder de comunicación con dioses y espíritus y función curativa.

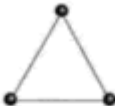
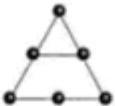
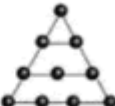
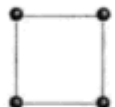
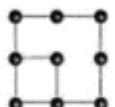
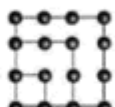
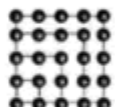
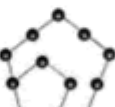
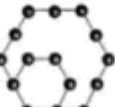
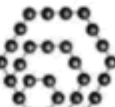
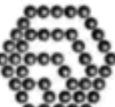
En Grecia, la música en la práctica, era esencialmente vocal. Todas las obras líricas se cantaban y eran de uso obligatorio en el teatro como en los juegos olímpicos. Estaba estrechamente ligada a la poesía y el ritmo estaba determinado por el ritmo del verso.

La música instrumental no se entendía como lo hacemos hoy día, esta servía a la palabra y cuando resaltaba creaba un ambiente rítmico de acompañamiento a la poesía (Dufourcq, 1963, p. 13). No es absurdo suponer que la práctica musical estaba asociada a un lugar o sitio físico donde esta se ejecutaba, es decir, el lugar de la orquesta y el coro en el teatro y en los juegos, por lo tanto, este criterio de ubicación de los músicos en obras de construcción civil fue tomada en cuenta, tal ubicación y criterios forman parte de uno de los aspectos en la relación entre la música y la arquitectura. Es lógico suponer que estuvo relacionada por criterios acústicos, en la cercanía y manera de tratar la emisión del sonido en estos espacios, por ejemplo, la relación entre sonido cantado y acompañado por

instrumentos en el espacio de la orquesta cuya forma semicircular y ubicación entre la escena y el público garantizaba la audición para los actores y el público. La aproximación visual garantizaba la secuencia de la escena o avisos de entrada y salida del canto y de actores, de esta manera se estableció una relación entre la práctica musical y el sitio que la sociedad le asignaba a dicho oficio.

La relación entre medida y la forma geométrica era de uso común del hombre antiguo en Egipto y Grecia e inclusive es muy posible que fuera una práctica común en la construcción de casas, aldeas, caminos y delimitación de territorios, así el ser humano se valió de algunas figuras geométricas básicas y de esta forma sencilla pudo dar lugar al nacimiento de las matemáticas como el estudio del número, la cantidad y la forma (Barsa, 1980:208). Relacionar el número, la sombra proyectada por un objeto como medida y la utilización de la cuerda o varas para la asignación del radio de la circunferencia o el perímetro de una elipse a partir de puntos focales fue, y es aún, común práctica entre jardineros, maestros de obra y agrimensores.

Se conoce que los pitagóricos representaban los números mediante puntos o piedras pequeñas que, según la distribución o forma geométrica en que éstos se disponían, calificaban a los números, en otras palabras, asociaban los números a figuras geométricas determinadas. Esta ordenación geométrica de los números es conocida como números poligonales. De esta manera obtienen los distintos tipos de números que serán denominados según su forma: Números triangulares, cuadrados, pentagonales, hexagonales, heptagonales, octogonales, nonagonales, decagonales, etc. (González, 2006:5).

NÚMEROS POLIGONALES	TIPO	ORDEN				
		1	2	3	4	5
	TRIANGULARES					
		1	3	6	10	15
	CUADRADOS					
		1	4	9	16	25
	PENTAGONALES					
		1	5	12	22	35
	HEXAGONALES					
		1	6	15	28	45

Representación de los número triangulares, cuadrados, pentagonales y hexagonales.

Fig. 1. Números Poligonales¹. (Centro Virtual de divulgación de las Matemáticas, 2012)

Esta relación entre el número y la figura geométrica va a repercutir considerablemente en la filosofía de los Pitagóricos y filósofos griegos posteriores, estableciendo que “el número es la esencia de todas las cosas”. Esta concepción les permitió desarrollar, por una parte, una doctrina conocida como “misticismo numérico”, la cual atribuía a los números un carácter sagrado cargado de propiedades místicas y simbólicas. Por otra, otorgó al número, a través del descubrimiento de la forma geométrica – empírica, importantes propiedades aritméticas y relaciones numéricas elementales que van a incidir en el posterior desarrollo de las matemáticas, que aún hoy siguen vigentes (González, 2006: 6).

Ambas corrientes, místico – religiosa y científica – racional, unificadas en el pensamiento pitagórico, se van desarrollar de formas paralelas en el mundo griego y consecuentemente en la cultura occidental.

¹ Los números poligonales se remontan al comienzo mismo de la matemática. Fueron los pitagóricos los que los descubrieron. Tal vez, la mejor forma de comprender los números poligonales es percatarse que en aquella época los números se representaban mediante guijarros (calculi) que se disponían en una superficie.

De la corriente mística – religiosa va a surgir la doctrina de los números. Los pitagóricos denominaron Década a los diez primeros números y les asignaron propiedades cabalísticas y virtudes mágicas mas allá de la aritmética (aritmología), establecieron a cada número atributos especiales y propiedades vitales que fueron posteriormente complementados por otros filósofos como Platón, Filolao, Aristóteles, Teón Jámlico y Porfirio.

De la corriente científica - racional los pitagóricos logran transformar la geometría en saber teórico e investigar los teoremas elementales sobre triángulos, polígonos, círculos, etc. En forma discursiva e intelectual, de allí su famoso teorema, la inconmensurabilidad de la diagonal y el lado del cuadrado y inconmensurabilidad entre la diagonal y el lado del pentágono (González, 2006: 6).

A Pitágoras corresponde el honor de ser el padre de la música en occidente. Varios autores coinciden, sobre todo los pitagóricos (Diogenes Laercio, Jámlico, Teón de Esmirna, Boecio), en atribuir a Pitágoras el primer experimento científico de la historia con el que se determinó las primeras leyes cuantitativas de la acústica y el fundamento matemático de la armonía musical (González, 2006, p. 10). Este descubrimiento fue realizado a través de un aparato de su invención: el monocordio.

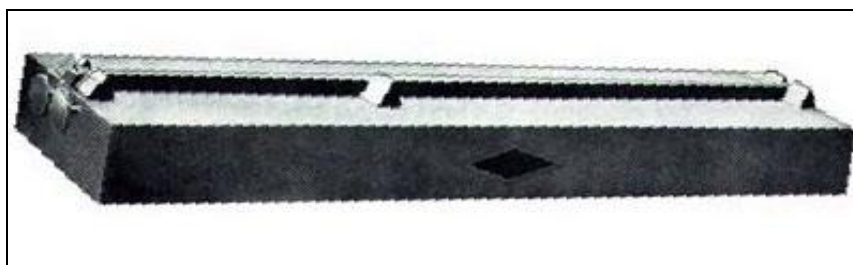


Fig. 2. Monocordio. (Instituto Schiller, 2012)

Con éste instrumento determinó las longitudes de cuerdas correspondientes a los intervalos armónicos más importantes.

Es primordial establecer la importancia de este descubrimiento para la cultura occidental y su relación con el concepto de belleza en este ámbito. Según W. Tatarkiewicz:

La teoría general de la belleza se formuló en tiempos muy antiguos y afirmaba que la belleza consiste en proporciones de las partes, para ser más precisos, en las proporciones y en el ordenamiento de las partes y sus interrelaciones. Esto podría ilustrarse haciendo referencia a la arquitectura: de este modo, podría decirse, que la belleza de un pórtico surge del volumen, número y orden de las columnas. Algo parecido sucede con la música, con la excepción de que en ese caso las relaciones son temporales y no espaciales (Tatarkiewicz, 2006:157).

Esta teoría se inició justamente con los pitagóricos en su versión más limitada y aseguraba que la belleza solo podía encontrarse en aquellos objetos cuyas partes mantengan una relación entre sí como los números pequeños, es decir: uno a uno (1:1), uno a dos (1:2), dos a tres (2:3), etc. Pocas teorías se han mantenido durante tanto tiempo y han tenido tanta influencia en la cultura de occidente como esta teoría.

Debido a su aplicación y éxito en las distintas artes destinadas a lo visual y auditivo: arquitectura, escultura, pintura y música a lo largo de veinticinco siglos ha sido considerada la Gran Teoría de la Belleza.

Corresponde a Filolao², célebre por su ciencia armónica, el haber cedido a Platón el famoso libro de Pitágoras, revelándole el secreto de la armonía, las proporciones musicales y geométricas. Y por ser el primero en precisar las proporciones de los intervalos que se generan en una lira de cuatro cuerdas (Clerc, 2003:64)

La base de consonancia fue establecida de la siguiente manera el unísono cuya proporción era 1:1, la octava o diapason (1:2), la quinta o diapente (2:3) y la cuarta o diatesarón (3:4)

² Filolao: Es muy poco lo que se puede decir acerca de su vida, se estima que nació en Crotona (sur de Italia) aproximadamente en el 470 y murió en el 385 a. C. Según Diógenes Laercio, Filolao y Eurito fueron profesores de la última generación de pitagóricos, entre quienes hubo personajes que hicieron aportes importantes a la geometría y aritmética griegas. Su filosofía está fuertemente influenciada por los nuevos desarrollos de la matemática helena en los cuales también participó. Filolao, muy probablemente, se relacionó con el pitagórico Hipaso (ca. 530-450) a quien se asocia con las matemáticas de la teoría musical. (Correa, 2009, 21).

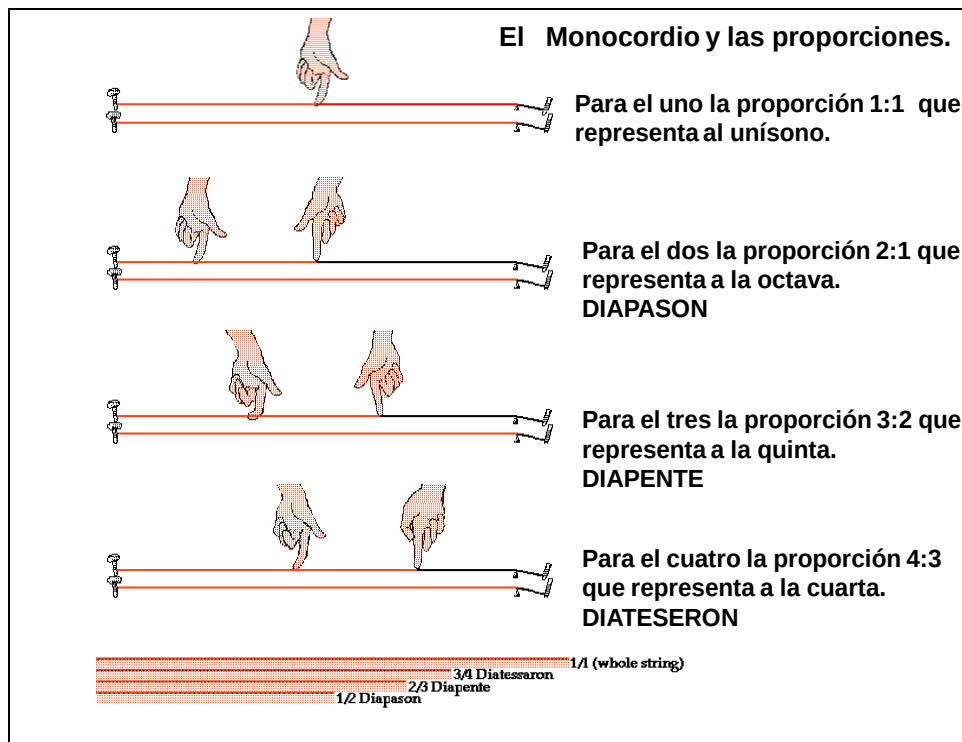


Fig. 3. Proporción y sonidos de la cuerda. (Boyd – Brent, 2000).

Al respecto de estas relaciones con la cuerda Lewis Rowell nos refiere:

La importancia de las grandes coincidencias en occidente de que éstas relaciones, cuando se aplican a cuerdas tensas, producen relaciones básicas de los intervalos consonantes. De haberse descubierto y preferido otras relaciones musicales, la analogía entre música y número no podría haber sido diseñada con tanta simpleza; o, para decirlo de otro modo, si estas relaciones numéricas simples no se hubieran aplicado a la música, todo el curso de nuestra música podría haber sido drásticamente distinto. (Rowell, 1963: 50)

Estas relaciones entre sonido y longitud de la cuerda se sumaron o complementaron el concepto del “número místico” pitagórico estableciendo y reforzando el concepto de armonía.

La *armonía invisible* es un concepto pitagórico donde se fundamenta la peculiaridad de que las tres consonancias se construyen con los cuatro primeros números 1, 2, 3 y 4; es decir, la progresión 1:2 - 2:3 - 3:4. De esta peculiaridad las implicaciones metafísicas y cosmológicas eran de gran importancia para los pitagóricos y se van a manifestar posteriormente en la filosofía de Platón, principalmente en sus libros *El Timeo* y *La Republica*. En el siguiente párrafo ilustraremos la utilización de un lenguaje místico-religioso donde, a través de principios científico- racionales, describe las proporciones en *armonía invisible*:

Así, el diapason, o proporción 1:2, manifiesta el principio inmóvil el Uno y su divisor, el dos, se convierten en el espíritu (lo puro y el Orden) y en la materia (lo impuro y el Caos). De esta manera, según los pitagóricos, el orden, dividido por el caos, genera el radio de la octava

musical, una de las proporciones armónicas más consideradas desde la Antigüedad como la perfecta armonía. En el diapente, o proporción 2:3, la materia, o arquetipo femenino, se relaciona con el tres, principio manifiesto que se corresponde con el intelecto o arquetipo masculino. En el diatesarón, o proporción 3:4, la forma material, simbolizada con el número tres, se manifiesta en el sólido, o sea, da origen a la Geometría de los cuerpos y objetos arquitectónicos. Así las tres consonancias describen las ocultas relaciones geométricas y musicales que actúan sobre las emanaciones del Uno en su proceso de multiplicación y de esta manera la sustancia del Creador se deduce la materialización de la Creación (Clerc, 2003:65).

La armonía, en la filosofía de los Pitagóricos, era un símbolo del orden universal que unía todos los niveles del cosmos: los elementos básicos (tierra, aire, agua y fuego), el hombre y el universo (el sol, los planetas y la luna). Aristóteles se refería a las doctrinas pitagóricas de esta manera: “Ellos [los pitagóricos] suponían que los elementos de los números eran los elementos de todas las cosas y que todo el cielo era una escala musical (harmonian) y un número”. (Rowell, 1963: 50)

Al parecer los pitagóricos tenían una concepción del alma humana “como una relación numérica que armónicamente forma su cuerpo”. (Parra, 1966, p. 143).

Para los pitagóricos, la armonía sirvió como poderosa metáfora de la interdependencia de todas las partes del mundo como ellos lo conocían: los elementos de la naturaleza, las plantas, los animales, la especie humana, el estado, la tierra y el universo formaban una “cadena de ser” continua.

Este concepto lo van a sintetizar en la Tetractys un número triangular compuesto por diez puntos (figura 4).

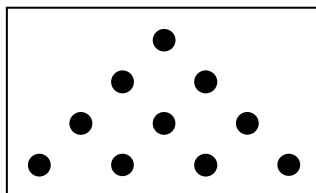


Fig. 4. La Tetractys

Esta disposición permitía observar los cuatro primeros números o unidades en orden creciente y según su ubicación: el uno, el dos, el tres y el cuatro que en suma formaban el diez. Esta ordenación también identificaba los cuatro elementos básicos de la geometría: el punto, la línea, la superficie y el sólido o volumen. (Gajate, 1964: 15).

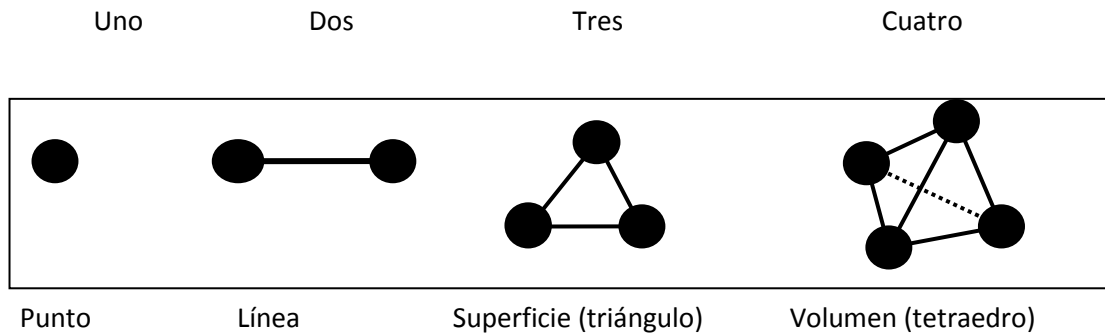


Fig. 5. La Tetractys: relación número - geometría

Con respecto a la música estos cuatro primeros números representarían las “proporciones sonoras o números sonoros” que, como mencionamos anteriormente, eran consideradas consonancias perfectas descubiertas por Pitágoras a través del el monocordio. Además de poseer estas propiedades numéricas, geométricas y musicales la Tetractys suponía un orden cósmico planteado por los pitagóricos acerca de la configuración del universo. Según Aristóteles en *Metafísica*, ellos suponían que los ocho cuerpos celestes: la tierra, la luna, el sol y los cinco planetas conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) giraban en torno a un Fuego Central, situado en el centro del universo. Las estrellas se suponían fijas en una última esfera contaban como un cuerpo mas. Al faltar un cuerpo para llegar a diez y ser coherentes con su teoría, añaden uno al sistema llamándolo *antitierra*, este giraba alineado a la tierra, en una órbita interior y con el mismo período diario (González, 2006, p. 8).

Es ésta filosofía de los pitagóricos y sus símbolos los que van a sustentar y dar origen a la gran teoría de la estética europea, que por su coherencia y gran fortaleza argumental tendrá gran influencia en los grandes pensadores de la Antigüedad como Platón, Aristóteles, Aristóxenos, Euclides, y Ptolomeo.

Una de las grandes influencias de los pitagóricos sobre la filosofía griega se observa en la obra de Platón. *El Timeo* en gran parte refiere a las enseñanzas sobre la cosmogonía pitagóricas y en el libro X de *La República* hace mención de la Armonía de las Esferas, sus diálogos algunos de personajes son pitagóricos diestros en matemáticas (Lócrice, Lisis). Es en *El Timeo* donde Platón menciona los sólidos platónicos (figura 6).

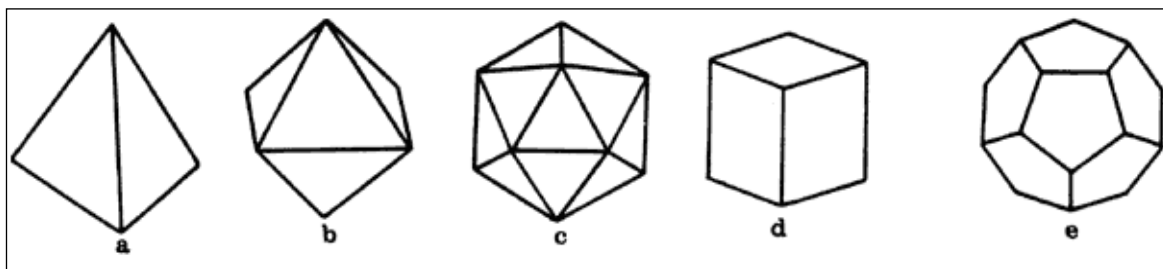


Figura 6. Los cinco sólidos platónicos. El tetraedro o pirámide rectangular (a), el hexaedro o cubo (d), el octaedro (b), el dodecaedro (e) y el icosaedro (c). (Moreno, 2012)

Y refiere, además, el principio de la proporción. Este enunciado fue tomado posteriormente por Euclides en el libro X de *Los Elementos*, el cual describe: “Es imposible combinar dos cosas sin una tercera: es preciso que exista entre ellas un vínculo que las una. No hay mejor vínculo que el que se hace de sí mismo y de las cosas que une un todo único e idéntico. Ahora bien, tal es la naturaleza de la proporción” (Porrua, 690:1998). Este enunciado será el basamento de los cocientes musicales previamente vistos (figura 3) estableciendo relaciones razonables y conmensurables. Estas relaciones son conmensurables (*symmetria*) sólo cuando la razón (cociente) en a/b es un número racional³. Sin embargo, por esta vía se llega a la inconmensurabilidad, si la razón de a/b es irracional, entonces se dice que es inconmensurable. No obstante, el basamento es armónico, ya que se obtiene a partir de las relaciones con las cuerdas y a través de la geometría del cuadrado. Por lo tanto, los lados del cuadrado son conmensurables, ya que el cociente en a/b es 1. En un cuadrado, el lado a es igual al lado b , por lo tanto el resultado del cociente será un número racional. (Figura 7)

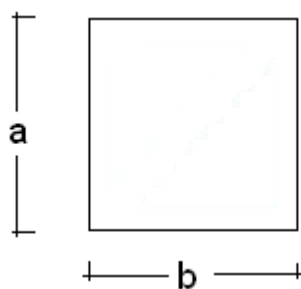


Fig. 7. Los lados del cuadrado son conmensurables

Sin embargo, al producir un rectángulo a partir de la diagonal del cuadrado la relación de conmensurabilidad se pierde ya que la razón o cociente entre los lados del rectángulo a/b es un número irracional, por lo tanto a no es conmensurable con b ($1:1\sqrt{2}$). (Figura 8).

³ El término racional alude a ración o parte de un todo, y no al pensamiento o actitud racional.

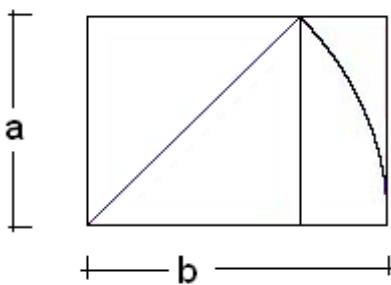


Fig. 8. Los lados del rectángulo son inconmensurables

Al establecer la relación entre el número y su representación geométrica y creer que los números podían medirlo todo a través de la geometría entraron en contradicción al descubrir que en una figura tan simple como el cuadrado y la diagonal de éste no era conmensurable con el lado. Lo mismo ocurrió entre la diagonal del pentágono y su lado.

Con este descubrimiento, todas las pruebas pitagóricas donde se comparaban magnitudes y razones quedaban en duda y debían ser reconstruidas, de allí el temor al descubrimiento de los irracionales por parte de los pitagóricos. Estos números estaban más allá de la representación pitagórica, sin embargo, significaron un avance sin precedentes para la historia de las matemáticas y la geometría porque no eran producto de lo empírico sino de algo puramente teórico.

La sección áurea o sección de oro se rige por el mismo principio de la proporción o de los cocientes musicales, sin embargo, la representación numérica o calculo analítico conlleva a los números irracionales. El procedimiento de dividir un segmento en media y extrema razón (división áurea) se le ha atribuido un carácter estético especial a los objetos que siguen esta razón, así como una importancia mística. En la historia, se le ha cargado de importancia en diversas obras de arquitectura y otras artes, aunque algunos de estos casos han sido objetados por las matemáticas. Tal vez, su misticismo se deba a la frecuencia con la que ésta proporción se presenta en la naturaleza y en las medidas antropométricas del hombre y a la relativa facilidad con que ésta proporción se obtiene a través de recursos y procesos geométricos, su relación la relación con el cuadrado (figura 9), y a su dificultad al relacionarla con números racionales en aquellos tiempos.

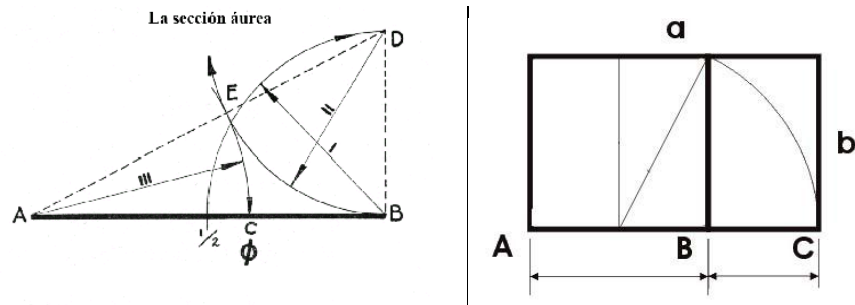


Fig. 9. Construcción geométrica de la sección áurea de un segmento y del rectángulo áureo.

La manifestación más clara del enunciado sobre la proporción referida por Platón y Euclides, estará definida matemáticamente por la siguiente expresión: $AB/AC=AC/BC$. “Se dice que un segmento está en media y extrema razón cuando el segmento total es a la parte mayor como la parte mayor es a la menor” (González, 2006, p. 16). Al despejar matemáticamente la expresión del segmento áureo será inevitable la aparición de los irracionales.

Existen, además de estas relaciones, otros conceptos filosóficos que tienen influencia pitagórica en Platón, por ejemplo, la Teoría de las Ideas y la concepción del alma.

Por su parte, Aristóteles menciona a los pitagóricos refiriéndose al principio de los contrarios en *Metafísica* (Parra, 1966:87). Es, sin embargo, con Aristóteles y sus discípulos, sobre todo con Aristóxeno de Tarento, quienes intentan por primera vez romper con la tradición pitagórica del sonido en relación con el número, por considerar a la armonía una ciencia autosuficiente que depende solo del oído y del entendimiento (Palacios, 2001: 54). Es precisamente, Aristóxeno el responsable de los principios de la teoría de la música como la conocemos en la actualidad y quien propone una perspectiva contraria a la de los pitagóricos.

A continuación expondremos las características de la propuesta de Aristóxeno que posteriormente compararemos con las contribuciones de los pitagóricos, para así establecer la diferencia entre la música como disciplina independiente y autónoma, de la música como ciencia de las medidas y proporción, consecuentemente, ciencia auxiliar de la arquitectura. También, a través de esta comparación, podremos diferenciarla de la concepción actual de la música, de la proporción y de la acústica, todas estas ideas tienen su origen en la música de la cultura griega y fueron determinante para la cultura de Occidente.

Aristóxeno nació en Tarento hacia la mitad del siglo cuarto antes de Cristo. Estudió música y filosofía con su padre y posteriormente con Aristóteles de quien recibió gran influencia. Escribió sobre diversos temas de filosofía, historia, principios de educación, leyes y política. El mayor aporte, sin embargo, fue en la música con su libro *Elementa Harmonica*, donde, como señalamos anteriormente, concebía la armonía musical como una ciencia cuyos datos y principios eran exclusivos del oído musical.

Andrew Barker en su libro *Greek Musical Writings: Volume II, harmonic and acoustic theory* señala y desarrolla las distintas teorías musicales originadas en Grecia a través de escritos de filósofos de la antigüedad. De allí tomaremos las características y diferencias entre la propuesta de Aristóxeno y la de los pitagóricos.

Hay tres principios que van a caracterizar el esquema musical de Aristóxeno (Barker, 1989: 4)

1. La música se basa en los datos que se perciben y se comprenden a través del oído musical, tratan sobre aspectos propios de la música (melodía, relaciones melódicas), no pueden ser descritas como eventos científicos (por ejemplo: movimientos físicos del aire). En tal sentido se puede entender que la nota LA es dominante de RE, pero 440 ciclos por segundo no pueden ser dominante de nada.
2. La armonía, como consecuencia del primer punto, debe describir el fenómeno musical en términos de lo que se escucha. Las notas serán tratadas como puntos colocados sobre un tono continuo y las relaciones entre ellas serán descritas como intervalos o distancia. Estos intervalos serán descritos musicalmente de manera autónoma según su dimensión en tonos (un tono, medio tono, tritono, etc.). El intervalo no puede ser descrito como algo que el oído musical no pueda discernir (ejemplo: una razón entre distintas velocidades de movimiento de los tonos).
3. Los principios que gobiernan y coordinan esta ciencia (la música) deben provenir de la abstracción de los datos musicales percibidos a través del oído. Se puede explicar o definir a partir de estos datos musicales porque una secuencia es melódica y otra no, identificando los patrones generales de orden melódico o musical. Estos principios se adquieren a través del entrenamiento musical y del oído. Éstos no se deben explicar por medios ajenos a la música por ejemplo a través de formulas matemáticas o físicas. Las estructuras musicales pueden diferir

completamente de estructuras matemáticas y éstas pueden ser perfectamente aceptadas.

De estos principios surgirá un lenguaje completamente autónomo que describirá y fundamentará el desarrollo de la música como disciplina independiente.

Para los pitagóricos en cambio, el estudio de la música tenía objetivos científicos más que el estudio de la música como disciplina independiente. Para ellos, como mencionamos anteriormente, la armonía tenía una relación con el orden del universo y el alma humana dependía de este orden. Hay varios principios en la armonía de los pitagóricos que contradicen los de Aristóxeno, estos son:

1. Las notas son entidades donde el tono varía cuantitativamente y puede ser expresado en números. Los intervalos entre las notas serán denominados como razones. Por lo tanto, las notas serán consideradas como parte de un todo y poseen dimensión. No son puntos independientes con distancias en intervalos musicales.
2. Los principios sobre los cuales el sistema armónico analizará su coherencia se expresará en términos matemáticos. El lenguaje que se utilizará será el matemático y se considerará a la armonía como una rama de la matemática, no como ciencia autónoma con términos exclusivamente musicales.
3. La aplicación de conceptos matemáticos al fenómeno musical estará mediado por una teoría física que redefinirá a las notas como movimientos en un medio material, es a esos movimientos a los cuales se les puede adjudicar características cuantitativas.
4. El estudio de la armonía forma parte de un programa filosófico más extenso donde los mismos principios la rigen son aplicados relaciones entre estructuras significativas del cosmos. El universo y todas sus partes están sujetos a los mismos patrones de orden matemático.

La acústica fue otra ciencia cuyos principios aparecieron con los griegos y que se relacionaban directamente con la tradición pitagórica. Fue la escuela de Aristóteles después de los aportes de Arquitas y Platón quienes establecieron las bases físicas de la acústica. Los principios teóricos de esta ciencia en Grecia se van a sustentar sobre la propuesta de que el sonido es una forma de movimiento del aire causado por el impacto hecho en el aire

por un cuerpo sólido, o por una emisión de aliento. Ante esta afirmación, surgieron interrogantes que ayudaron a apuntalar los programas en armonía y acústica musical. Las principales incógnitas eran las siguientes:

1. ¿Cómo el sonido era transmitido de un lugar a otro?
2. ¿Qué es lo que distingue, respecto al movimiento que se percibe, un tono agudo de uno grave?
3. Respecto a la concordancia, es decir, al escuchar dos sonidos al mismo tiempo, algunos son concordantes (agradables) y otros discordantes (desagradables). Surgen dos preguntas en campos distintos, desde la matemática la incógnita es: ¿qué lo que delimita, en los distintos tipos de razones (cocientes), aquellas que son particularmente unificadas y coordinadas? Desde la física: ¿qué clase de interacción física existe entre dos movimientos de velocidades distintas que permite una buena combinación en unas y no en otras?

Estas tres interrogantes provocaron la atención y discusiones persistentes y apasionadas de teóricos musicales y matemáticos griegos que permitieron sentar las bases de la armonía y acústica en los programas metafísicos musicales pitagóricos. Sin embargo, y debido a la dificultad de comprobar científicamente estos hechos en la práctica, esta ciencia, la acústica, no avanzó hacia altos niveles teóricos.

Respecto a las bases de la armonía y de sistemas de proporción los griegos generaron propuestas esquematizadas en las escalas musicales que ayudaron al estudio de la música y de la matemática. Existieron varias proposiciones teóricas que sustentaron las escalas musicales griegas, éstas se fundamentaban en la división proporcional de la cuerda. El primero en establecer, dentro de la línea pitagórica, un modelo de escala fue Arquitas⁴, su propuesta se sustenta sobre la utilización de las medias musicales, es decir, la media aritmética, la geométrica y la armónica o subcontraria (Baker, 1989:42), además de tratar de mantener las concordancias conmensurables con la división del tetracordio (división en cuartas 4:3). Su modelo sirvió a las posteriores incursiones de Aristóxeno, Euclides⁵ y

⁴ Arquitas de Tarento (siglo IV antes de J.C.), uno de los primeros pitagóricos. Se ocupó sobre todo de cuestiones acústicas y musicales en el espíritu del pitagorismo, es decir, subrayando la reducción de las realidades a números y las combinación de éstos a leyes armónicas. (Ferrater, 2004: 242)

⁵ Euclides de Alejandría, floreció hacia 365 antes de J. C. se supone que nació en Atenas y que fundó una escuela de matemáticas en Alejandría. Sistematizó en trece libros de los *Elementos* la matemática y geometría de su época. (Ferrater, 2004: 1152)

Ptolomeo sobre el mismo problema de establecer la escala musical. La importancia de estas escalas fue que sirvieron como modelo para el estudio de las proporciones (referida como *symmetria* o analogía).

Sobre la base pitagórica de la escala de Arquitas, Aristóxeno construyó su modelo, ésta es fundamentalmente musical. El argumento era que la división de la cuerda no tenía que demostrar razones matemáticas sino razones que satisficieran al oído, las distancias interpretadas por él como intervalo (*diastema*) denotaban diferencias de tonos, intervalos, dítonos y términos propiamente musicales, el uso y definiciones de intervalos dependían del ajuste auditivo y no de formulas u ajustes matemáticos, de allí su modelo perceptual. Este razonamiento fue de gran importancia en el desarrollo de la música en el modo que la concebimos en la actualidad.

En el desarrollo de la escala musical griega, nos encontramos con un pequeño tratado, *Sectio Canonis*, atribuido a Euclides escrito hacia el año 300 A.C. aproximadamente. El tratado consiste en una introducción corta y veinte proposiciones escritas y presentada en forma de teoremas. En él se establece una teoría que explica las causas del sonido y los tonos dependientes de las razones numéricas según la división de la cuerda. Las primeras nueve proposiciones son teoremas que definen las diferencias matemáticas de acuerdo a la dimensión, en las siguientes proposiciones demuestra los tonos musicales para finalmente mostrar las divisiones de la cuerda en el monocordio y establecer las divisiones del *Kanon*, de allí el nombre del documento (Baker, 1989:190).

Para concluir los modelos griegos de escalas mencionaremos el importante aporte de Claudio Ptolomeo⁶. El tratado, *Harmonia*, fue escrito hacia el siglo II D.C. en Egipto, es un documento bien argumentado y ejemplificado sobre *armonía* siguiendo la corriente pitagórica, es quizás, según Baker, el documento científico más importante en la historia de la musicología (Baker, 1989:270). La importancia del trabajo de Ptolomeo se fundamenta en el rigor, elegancia y lo sofisticado del desarrollo de conceptos matemáticos y su coherencia en la aplicación de éstos a través de lo percibido. Él apunta hacia la explicación concertada del la razón matemática de las proporciones en las escala con la interpretación correcta del oído, oponiéndose a Aristóxeno que sugiere lo contrario. Ptolomeo basó sus

⁶ Claudio Ptolomeo, floreció hacia 140, descubrió la irregularidad del movimiento de la Luna. Su importancia reside en su compilación y sistematización de los datos, resultados y doctrinas de los geógrafos y astrónomos griegos y alejandrinos, conocido como “sistema de Ptolomeo”. La obra mas influyente y conocida de Ptolomeo es conocida con el nombre del *Almagesto*. (Ferrater, 2004: 2964)

observaciones en instrumentos (el monocordio y sus derivados) bien calibrados y contruidos con seriedad, el procedimiento en la construcción, descrito en el tratado, de tales instrumentos fue derivados de teorías matemáticas y, posteriormente, verificados y aceptados desde la percepción auditiva, sin embargo, y aquí su originalidad y aporte, aunque la percepción estaba gobernada por los oídos de los músicos practicantes de aquellos tiempos, el sistema de Ptolomeo aceptó la afinación tradicional estableciendo la diferencia matemática con la afinación racional, permitiendo establecer una afinación matemáticamente justa y gracias a ello se conoce cuales eran las escalas utilizada por los músicos practicantes en la Grecia helénica.

El modelo de la escala musical griega podemos entonces concebirla en proporciones matemáticas (pitagóricos) y en tonos, semitonos o cuartos de tonos musicales (Aristóxeno). Existían muchas combinaciones según las secuencias de estas proporciones o tonos, hacia el siglo quinto A.C. estas escalas, según la región griega de donde provenían, confería distintos estilos melódicos y de allí adquirían los nombres de la melodía y de la escala donde se basaba dicha melodía, esto era conocido también como armonía (*harmonia*). Según ese orden de la escala podía ser considerarse como “patrón de afinación en el rango de una octava” (la octava central), estas podían ser: Dóricas, Frigias, Lidia, Hipodórica, Hipofrigia, Hipolidia o Mixolidia.

El esquema que demuestra el espacio tonal y armónico de la escala griega, el rango de la escala generalmente era de dos octavas y era abstracto, es decir, no partía de un tono específico o tonalidad conocida como en la actualidad. La estructura de la escala estaba definida por unas notas fijas que definían los límites de los tetracordios (en mayúsculas) la separación de estas notas límites estaban caracterizada por estar en proporción 4:3 entre ellas, es decir una cuarta. La octava central (proporción 2:1), la base de toda el sistema estaba formada por dos tetracordios, meson y diezeumenon, separados (disjunto) por un tono (proporción 9:8) entre dos notas fijas, mese y paramese. Sobre el tetracordio diezeumenon, compartiendo la nota fija nete diezeugmenon se extendía el tetracordio agudo hyperbolaion de modo conjunto y hacia los graves, también de manera conjunta, corpantiendo la nota fija hypate meson se extendía el tetracordio hypaton. Para completar la escala se agregaba hacia el grave la nota prolambanomenos a la distancia de un tono. Entre las notas fijas se colocaban las notas movibles (en minúsculas) que definían el género de la

escala, estas notas diferían en su distancia respecto a las notas fijas más cercana y dependiendo de esta distancia eran calificadas como enarmónicas, cromáticas o diatónicas.

En la figura 10 podemos ilustrar las relaciones mencionadas, teniendo en cuenta que es un esquema. Existían muchas escalas a partir de este esquema y estas variaban según la posición de las notas movibles. También es importante tener claro que el sistema de Aristóxeno realizaba sus aproximaciones ajustadas al oído, aquí mostramos las relaciones de leima y semitono de modo ilustrativo según la escala dórica propuesta por Ptolomeo.

TETRACORDIO	NOTAS FIJAS Y MOVIBLES	SISTEMA PROPORCIONAL (PITAGÓRICO)	SISTEMA MUSICAL (ARISTÓXENES)	RELACIÓN DE OCTAVAS
TETRACORDIO HYPERBOLAION (AGUDO)	Cuarta	NETE HYPERBOLAION		Octava
		Paranete hyperbolaion	9:8	
		Trite hyperbolaion	9:8	
		NETE DIEZEUGMENON	28:27	
TETRACORDIO DIEZEUGMENON (DISJUNTO)	Cuarta	Paranese diezzeugmenon	9:8	
		Trite diezzeugmenon	9:8	
		PARAMESE	256:243	
		MESE	9:8	
TETRACORDIO MESON (MEDIANO)	Cuarta	Lichanos meson	9:8	
		Parhypate meson	8:7	
		HYPATE MESON	28:27	
		Lichanos hypaton	9:8	
TETRACORDIO HYPATON (GRAVE)	Cuarta	Parhypate hypaton	9:8	
		HYPATE HYPATON	256:243	
		PROSLAMBANOMENOS	9:8	

Fig. 10. Esquema comparativo de la escala musical griega.

Llegado a este punto, nos preguntamos ¿cómo se relaciona la música con la arquitectura en el mundo griego? ¿Se regía la arquitectura por los patrones conseguidos en la música? Y si es así ¿existe prueba de ello? Para responder a estas preguntas debemos primero acercarnos

a los concepto de arquitectura y de música utilizado por los griegos y a partir de allí utilizar nociones que nos permitan acercarnos desde la actualidad.

Tanto la música como la arquitectura son consideradas actualmente expresiones del arte. Aunque el origen de ambas artes precede la civilización de Occidente, su huella se pierde en las culturas egipcia, babilónica y sumeria, fue en Grecia donde florecieron y, donde, consideraremos en este trabajo su origen. Sin embargo, su significado tenía un sentido distinto al que tienen hoy. De hecho el concepto de arte era distinto al que conocemos y su significado mucho más amplio. “Arte era un término que se aplicaba a todo tipo de producción que se hiciera con destreza, es decir, que se realizara de acuerdo con unos principios y reglas establecidas. Por lo tanto, las obras de un arquitecto o de un escultor respondían a tal definición. Pero también lo hacía el trabajo de un carpintero o tejedor” (Tatarkiewicz, 2006: 106). El arte, entonces, se correspondía más al concepto de “técnica” que tenemos hoy que al actual concepto de arte, cuyo significado se relaciona más al diminutivo de “bella artes”. Las bellas artes surgieron posteriormente, después de la Edad Media, como una denominación particular del extenso significado de arte que tenían en Grecia. La división de las artes dependían más del esfuerzo físico diferenciándolas en artes liberales y artes subordinadas o serviles. Por tanto, la arquitectura era considerada un arte subordinado debido al gran esfuerzo físico de mover o esculpir cosas pesadas mientras que a la música se le consideraba un arte liberal por pensarse que estaba más relacionada a actividades intelectuales muy parecida a la de los matemáticos (Tatarkiewicz, 2006: 110).

Ahora, si la arquitectura y la música se encontraban en ámbitos diferentes en la concepción griega ¿Qué une esta diferencia? ¿Por qué relacionamos ambas artes si estaban en espacios distintos en el arte griego? Cuando se percibe a un edificio y se le compara con una pieza musical, una sinfonía, por ejemplo, ¿qué las puede unir? En ambas aparece una categoría que nos permite unirla y esta es la belleza que percibimos. Los griegos carecían de este criterio, es decir, su concepción de belleza difería del que tenemos hoy, es importante tener claro que “el concepto de belleza para ellos tenía un ámbito más amplio que se relacionaba mas con la ética o las matemáticas” (Tatarkiewicz, 2006: 120). Desde la ética “Aristóteles definió la belleza como aquello que es bueno y por tanto es agradable” (Tatarkiewicz, 2006: 121), sin embargo, este concepto no nos sirve para unir ambas artes. Fue la proporción, que existía y era conocido en ambas disciplinas, el término que más se aproximaba al concepto que tenemos de belleza y tal concepto griego era el de la simetría.

El concepto de simetría se correspondía estrechamente al de belleza en Grecia, W. Tatarkiewicz en su libro *Historia de seis ideas* nos dice:

Lo que los griegos apreciaban de la proporción no era el orden que se “observaba”, sino el que se “conocía”: éste apelaba al intelecto y no a los sentidos. Percibían mas proporción y belleza en las figuras que construían los geómetras que en las que esculpían los escultores. La proporción no tenía en si misma nada que fuera específicamente artístico; al contrario, se percibía más bien en la naturaleza. Se reconocía en ella “la esencia divina de las cosas”- se suponía que era armoniosa y hermosa solo porque es divina- y se apreciaba mucho más por su divinidad que por su belleza. La valoración de la “simetría” tenía por tanto una tendencia intelectual o mística sobre todo estética. (Tatarkiewicz, 2006:121)

De lo expuesto hasta el momento, tenemos claro que la observación de los sonidos ofrecido por la longitud de las cuerdas nos llevo a relaciones numéricas simples que los distintos filósofos y matemáticos desarrollaron y llevaron a tratados definiéndolos como armonía y simetría. Estos términos y teorías fueron aplicados en los ámbitos del oído y de las artes visuales y dominó en ambos campos en el periodo clásico de Grecia (Tatarkiewicz, 2006: 157). En arquitectura, nos lo confirma y constata Vitruvio en el primer tratado de arquitectura - *Los diez libros de arquitectura*, escrito hacia el primer siglo después de J.C. en la época del emperador Augusto, donde menciona: “obtendremos la belleza cuando su aspecto sea agradable y esmerado, cuando una adecuada proporción de sus partes plasme la teoría de la simetría” (Vitruvio, 1997: 73). Los aportes griegos tomados por los romanos los desarrollaremos en profundidad en el siguiente periodo. Sin embargo, relacionaremos esta teoría en el Partenón.

El Partenón: Arquitectura, proporción, número y música

El Partenón fue un templo dórico⁷ dedicado a la diosa Atenea Polias, protectora de Atenas. Un primer Partenón, construido por Calícrates en 490 durante el reinado de Cimón, fue desmantelado y reconstruido bajo el gobierno de Pericles entre los años 447 al 438 por Ictino como arquitecto y Fidias como escultor (Perez, 2002: 69). Su construcción lo ubica entre las edades de Pitágoras y Platón. Por su importancia histórica y simbólica de la cultura helénica, es considerado el templo griego más representativo. Ha sido uno de los edificios más estudiado en la cultura de Occidente debido a la precisión extraordinaria de sus medidas y construcción, por tal razón ha sido el modelo arquitectónico de edificaciones institucionales de a través de la historia.

⁷ Ver cita sobre el templo dórico según Vitruvio en la página 53.

Las investigaciones de E. Berger⁸, A. Bulckens⁹, J. Kappraff¹⁰ y E. Mc Clain¹¹ reconocen al Partenón como “arquitectura de inspiración musical y explican por qué esta estructura puede ser considerada como uno de los mejores ejemplos de la teoría musical pitagórica” (Kappraff, 2012). El edificio fue medido por N. Balanos en 1936¹², sobre estas medidas se pudo establecer el módulo que pudiera explicar las dimensiones del Partenón. Fueron Berger (1980) y Bulkens (1999) quienes, coincidiendo en este módulo, permitieron una aproximación certera al misterio de las medidas del Partenón. Según estos autores, se ha aceptado universalmente que la proporción total del templo respecto al ancho a largo y de alto a ancho siguen la relación proporcional de 4:9. El primero en encontrar el módulo que relacionaba las medidas del Partenón en la longitud y ancho del estilóbato con la altura de las columnas y el entablamento fue E. Berger con un módulo de 858 mm. Esta medida coincidió con los triglifos y la altura de los capiteles. Permitted, además, establecer a través del módulo la relación entre otros elementos del edificio como las altura columnas 12 módulos, la distancia entre los ejes de las columnas 5 módulos, la longitud del estilóbato (69,50 m.) de 81 módulos, el ancho (30,88 m.) de 34 módulos y la altura de columnas y entablamento (13,72 m.) de 16 módulos, la altura total del templo de 21 módulos y las proporciones del *naos* de 25 por 60 módulos sin incluir las antas (Stirling, 1998:186).

Bulckens, por su parte, halló un módulo de 857,6 mm. Muy aproximado al de Berger y descubrió que:

“cuando este módulo se divide por 2,5 para obtener un pie Partenón de longitud 343,04 mm, y cuando este pie se subdivide en 16 partes iguales, como era la convención en aquel tiempo, referido como ‘dácilos’, todas las mediciones principales de la Partenón puede representarse como enteros. [...] Esta medición de un pie es más grande que la medición del pie común griego de 293-295 mm. Bulckens se ha basado en la historia y la mitología del Partenón y de las matemáticas y la numerología de Pitágoras”. (Kappraff, 2002)

⁸ Ernest Berger publica *Bauwerk und Plastik des Parthenon*, Parthe Ernest Berger non Kongress in Basel, 1980. según menciona Stirling 1998:186. En sus investigaciones sobre el Partenón establece un módulo que logra dar explicaciones sobre un común denominador en las medidas del edificio. Ha sido también referido por Bulkens y Kappraff.

⁹ Anne Bulckens, presentó en 1999 *The Parthenon's Main Design Proportion and its Meaning*, Tesis de Doctorado de la Escuela de Arquitectura de Deakin, Australia. Encuentra un módulo muy cercano al de E. Berger.

¹⁰ Jay Kappraff es profesor de matemáticas en el New Jersey Institute of Tecnologie ha publicado junto a McClain, *Las proporciones del Partenón: Una obra de arquitectura musicalmente inspirada*. Revista Internacional de Música Iconografía, vol. XXX, no. 1-2 Primavera-Otoño 2005

¹¹ Ernest Mc Clain es profesor Emérito de música en el Brooklyn College en City University of New York, ha publicado varios libros referidos al pensamiento musical de la antigüedad.

¹² Según Pilar Hernán, “estas son las medidas establecidas por Nikolaos Balanos en 1936 en un estudio minucioso (*Les monuments de l'Acropole*, Paris). La teoría de Hambidge (1924), que reconocía en el Partenón una simetría dinámica -fundada en la sección áurea- quedaría invalidada por el estudio de Balanos”. (Pilar, 2006: 85)

Asentándose en los antecedentes en teoría musical antigua de Kappraff y McClain, y contando con la contribución de ellos, Bulckens muestra que “todas las mediciones claves se relacionan con la escala musical de Pitágoras”. (Kappraff, 2012).

Los módulos hallados pueden ser reducidos a expresiones numéricas sencillas como $81 = 9^2 = (3^2)^2$; $36 = 6^2 = (3 \times 2)^2$; $16 = 4^2 = (2^2)^2$; por tanto, pueden ser expresados en dígitos sencillos como 2 y 3. Al ordenar los números según los lados y la altura del templo en orden creciente obtenemos una secuencia 4:6:9, es decir, en proporción geométrica¹³. Así, la relación entre altura y el ancho del templo será 4/6 y entre el ancho y el largo será 6/9, ambas equivalen a 2/3. Por tanto, la proporción característica del Partenón puede ser expresada como 3:2.

El doctor Jay Kappraff en el artículo *Análisis de las proporciones del Partenón y su significado de Anne Bulckens*¹⁴ nos explica el método aplicado por la doctora Bulcken para hallar la proporción del Partenón, dada su claridad de razonamiento citemos directamente un fragmento del artículo:

Aunque la razón 9:4 es la proporción que más se observa en el Partenón, es 3:2, la razón que nos permite descifrar y entender la proporcionalidad de la edificación. La relación de medidas entre longitud, ancho y alto del exterior del templo con respecto a la longitud, ancho y alto del interior del templo (cella) están todos en una razón 3:2. Fue Bulckens quien descubrió y determinó que la media geométrica 6 entre 9 y 4 era esencial para descifrar el motivo arquitectónico 9:6::6:4 la cual es regida (musicalmente) por la quinta justa en la proporción 3:2. La disonancia tonal de 9:4, definida como una novena musical, es consonante gracias a la media geométrica 6. Los arquitectos renacentistas Alberti y Palladio utilizaron las proporciones musicales del mismo modo. Es más, el ancho de la cella, que es el templo interior, mide 24 módulos (960 dáctilos), que es la media geométrica de 16 módulos (640 dáctilos) y 36 módulos (1440 dáctilos) la altura de la columna más el entablamento y el ancho del estilóbato (la plataforma del templo) que, respectivamente, resultan en la proporción 9:6::6:4. Igualmente, la longitud de la cella de 54 módulos (2160 dáctilos), es la media geométrica del ancho del estilóbato de 36 módulos, y la longitud del estilóbato de 81 módulos (3240 dáctilos), resultando otra vez en la

¹³ La media proporcional es aquella donde cada uno de los términos medios de una proporción geométrica es continua; es decir, cada uno de los términos medios de una proporción son iguales. Existe una media geométrica en una secuencia numérica, cuando el primero es al segundo, como el segundo es al tercero. Hay tres términos x, y, z de tal manera que $x : y = y : z$ (o $x/y = y/z$). En una secuencia de múltiplos tal como 4, 6, 9 donde $9:6 = 6:4$

¹⁴ Kappraff J. (2002). *Anne Bulckens' Analysis of the Proportions of the Parthenon and its Meanings*. [Artículo en línea]. New Jersey: New Jersey Institute of Technology/ University Heights.

proporción 9:6::6:4. [...] Además de servir como el ancho de la cella, 24 módulos es la altura del templo desde el estilóbato hasta el tope del acroterio (escultura en el centro del frontón). Algunos otros ejemplos se pueden encontrar en el Partenón que también exterioricen la proporción 9:6::6:4. Así, las dimensiones de la estructura externa son determinadas por esta proporción y que en un sentido la cella del Partenón muestra con éxito todo el edificio como un todo consonante.

Las dimensiones de las estructuras internas y externas del templo dan a lugar a una sucesión de longitudes correspondiente a cuatro quintas musicales sucesivas: 81:54:36:24:16 las que definirán las distancias Do: Sol: Re: La: Mi como longitudes de cuerda. Esto puede ser desconocido para aquellos que no tengan inclinaciones musicales. Kappraff J. (2002).

Finalizando, es Vitruvio quien introduce y sintetiza con los romanos la corriente pitagórica en sus *Diez libros de arquitectura* la obtención de la belleza y agrado en arquitectura a través de la teoría griega de la simetría. Vitruvio relaciona las proporciones de los templos con las medidas del hombre y, consecuentemente, con los cocientes musicales¹⁵ (Stirling, 1998:183).

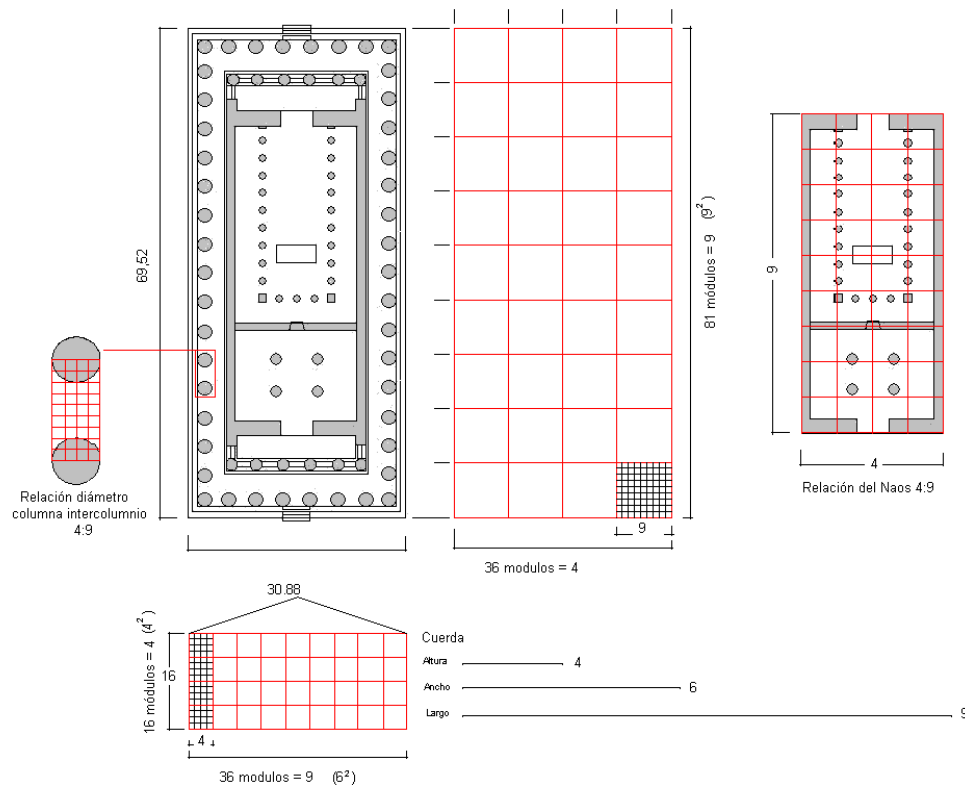


Fig. 11. Relaciones de la cuerda en el templo griego.

¹⁵ Ver: La corriente pitagórica: música – matemática en Vitruvio (página 40).

A modo de conclusión sobre los aportes o influencias de los griegos a la relación entre la música y la arquitectura debemos mencionar varios aspectos: fue Pitágoras el primero en establecer experimentos que relacionaban el sonido con las matemáticas a través de la cuerda y establecer las primeras proporciones razonables. Con estas proporciones se establecieron los principios de la escala musical y con ello una filosofía que fundamentaba principios de organización y orden estéticos. Esta filosofía y pensamiento también influyó a posteriores pensadores y filósofos como Platón, Aristóteles, Aristóxeno, Euclides, Ptolomeo que fundamentaron una teoría musical basado en el principio de la simetría y de la conmensurabilidad. En la concepción de esta teoría musical aparecieron tres corrientes que en un principio se intercambiaban pero, posteriormente, se fueron diferenciando y definiendo, estas fueron: 1) la corriente pitagórica basada en la armonía como rama de la matemáticas y formaba parte de un orden mayor que explicaba el cosmos y al alma humana. 2) la corriente de Aristóxeno que trataba a la música como una ciencia independiente de la matemática y la armonía como principios que explicaba a la música y no a otras ciencias, y por último, 3) la acústica que trataba al sonido como un fenómeno físico que pretendía explicar el comportamiento del sonido. Finalizamos el aporte de Grecia estableciendo la relación a través de la teoría griega de la armonía y de la simetría donde ambas artes se encuentran a través de la matemática. Ello permitió la adquisición o incorporación de un lenguaje común entre la música y la arquitectura a partir de relaciones matemáticas y la incorporación de relaciones matemáticas provenientes de la música.

MÚSICA Y ARQUITECTURA: GRECIA

PRACTICA

SOCIEDAD EN GRECIA

MÚSICA-SOCIEDAD

(Función social)

- Teatro
- Danza
- Himnos a dioses
- Fiesta.
- Juegos olímpicos

TEORÍAS

ARISTÓXENOS

MÚSICA-ARTE

(Afinación- tonos)

- La música ciencia autónoma
- Términos propios.
- La afinación propia del músico
- El tono.
- El ditono

ARISTÓTELES

MÚSICA-ACÚSTICA

(Fenómenos físicos)

- Aristóteles: *Problemata*,
- Peripatéticos: *De Audibilis*
- Sonido y su comportamiento

PITAGORAS, EUCLIDES, PTOLOMEO

MÚSICA-INSTRUMENTO

(Monocordio)

- La cuerda y sus proporciones.
- Diapasón= 2:1
- Diapente= 3:2
- Diateseron= 4:3
- Kanon.
- Helikon.

MÚSICA-MATEMÁTICA

(Proporción, simetría)

- Teoría de proporción.
- Teoría de la simetría.
- El número.

MÚSICA-SÍMBOLO

(Modelo universo)

- Música de las Esferas.
- Macrocosmos y microcosmos.
- Astrología.
- Misticismo numérico.
- Armonía universal

Apéndice matemático musical.

Los siguientes son conceptos matemáticos y musicales desarrollados por los griegos en el desarrollo de los modelos de la escala musical que han sido utilizados por maestros y teóricos de la arquitectura. Éstos repercutieron profundamente en la arquitectura y, como veremos en este estudio, fueron de gran importancia para el aspecto referido a la venusta en la tríada vitruviana. En tal sentido identificaremos y definiremos algunas de ellas que consideramos importantes para este estudio.

Analogía: la analogía se entendía como una proporción, o razón de proporcionalidad en el sentido que se entiende en la actualidad proporción o razones en matemática. Se refiere a cantidades, a magnitudes y a relaciones entre puntos en el espacio. Platón, se fundamenta en la misma idea, pero aplicándola a ciertas realidades con el fin de establecer comparaciones. Ej. Comparó el bien con el sol. (Ferrater, 2004)

Commensurable: (symmetros) lo que expresan la razón de números enteros. El radio o razón debe ser de tipo matemáticamente adecuado. (Baker, 1989:43)

Cuarta: distancia entre cuatro notas incluyendo las notas extremas.

Cuarto de tono: es la menor de las divisiones melódicas de un tono en cuatro partes. También se le llama diesis enarmónica. (Baker, 1989:140)

Diesis: era el nombre que se le daba al intervalo sonoro más pequeño (Baker, 1989:412).

Euritmia: es proporción y orden que dependen de los sentidos perceptivos de los ojos y el oído. Orden sensual, visual o acústico. (Tatarkiewicz, 2006:121)

Intervalo: según Aristóxenos, (diastema) es lo que limita a dos notas que no tienen el mismo tono. Es la diferencia entre tonos y el espacio que las diferencia. (Baker, 1989:136). Para los pitagóricos, se expresan en radios o razones numéricas; por lo tanto, el intervalo es la relación numérica de notas que poseen magnitudes y dimensiones. (Baker, 1989:8).

Leimma: se entiende como el remanente. Era un valor difícil de determinar puesto que provenía de la diferencia entre dos tonos (256:243).

Media aritmética: o media diferencial es cada uno de los términos medios de una proporción aritmética continua, ósea cada uno de los medios de una proporción aritmética

cuando son iguales. (Ej. en la proporción $8 - 6 = 6 - 4$, la media es 6) Es aquella donde hay tres términos proporcionales en que el segundo término sobrepasa al tercero en la misma cantidad que el primero sobrepasa al segundo.

Media armónica: o subcontraria es aquella donde el término medio excede al primero en una fracción de éste, igual a la fracción en que aquel es sobrepasado por el último. Hay tres términos x, y, z de tal manera que $y - z = z/n$, y $x - y = x/n$. En una secuencia tal como 12, 8, 6. Aquí $8 - 6 = 6/3$ y $12 - 8 = 12/3$. La diferencia en cada caso es la tercera parte de los términos extremos.

Media geométrica: o media proporcional es aquella donde cada uno de los términos medios de una proporción geométrica es continua; es decir, cada uno de los términos medios de una proporción son iguales. Existe una media geométrica en una secuencia numérica, cuando el primero es al segundo, como el segundo es al tercero. Hay tres términos x, y, z de tal manera que $x : y = y : z$ (o $x/y = y/z$). En una secuencia de múltiplos tal como 6, 12, 24 donde $24:12 = 12:6$

Media proporcional: véase media geométrica.

Nota: para los pitagóricos eran entidades cuyos atributos de tono variaban cuantitativamente y podían ser expresadas en números. Aristóxenes las consideraba como puntos pertenecientes a un tono continuo.

Octava: distancia entre ocho notas incluyendo las notas extremas.

Proporción aritmética: es la igualdad de dos diferencias o razones aritméticas. También se le conoce como equidiferencia. Se escribe de dos modos $a - b = c - d$ y $a : b :: c : d$. Puede ser discreta, donde los términos medios no son iguales (Ej. $9 - 7 = 8 - 6$) o continua donde los términos medios son iguales (Ej. $10 - 8 = 8 - 6$).

Proporción diapasón: división de $1/2$ en la cuerda, para obtener la octava musical o diapasón.

Proporción diapente: división de $2/3$ en la cuerda, para obtener una quinta musical o diapente.

Proporción diatesarón: división de $3/4$ en la cuerda, para obtener una cuarta musical o diatesarón.

Proporción geométrica: es la igualdad de dos razones geométricas o por cociente (se escribe de dos modos $a/b=c/d$ o $a:b :: c:d$). Puede ser discreta, donde los términos medios no son iguales o continuos donde los términos medios son iguales.

Proporción: se da el nombre de proporción a la igualdad de dos razones. Por ejemplo $15/7=45/21$ y $a/b=c/d$ son proporciones. Se dice que a, b, c, d forman una proporción; a es el primer término de la proporción, b el segundo término, etc. a y d son los términos extremos, b y c son los términos medios.

Proporciones de la cuerda: Son las consonancias musicales que se producen al dividir una cuerda en las proporciones de $1/2$, $2/3$ y $3/4$.

Quinta: distancia entre cinco notas incluyendo las notas extremas.

Razón de dos números: se llama razón de dos números al cociente exacto del primero por el segundo, es decir, al número por el cual es preciso multiplicar el segundo para obtener el primero. El cociente de 8 por 3 es la fracción $8/3$. En general siendo a y b dos números cualesquiera, el cociente exacto de a por b o al símbolo a/b se le da el nombre de razón.

Razón epimérica: es la relación proporcional entre dos números donde el primero excede al segundo en un número mayor a la unidad que no es igual n es múltiplo de éste, tienen la forma $n+m:n$, donde $m > 1$ y $m \neq n$

Razón epimórica: es la relación proporcional entre dos números donde el primero excede al segundo en una unidad, tienen la forma $n+1:n$.

Razón epodoica: como razón o distancia los griegos la definían como la diferencia entre el intervalo la quinta y la cuarta musical, esto es la proporción $9:8$

Razón múltiple: es la relación proporcional entre dos números donde el primero es múltiplo del segundo, tienen la forma $mn:n$.

Semitono: división en dos del tono. (Baker, 1989:140)

Simetría: se correspondía estrechamente al concepto de belleza en Grecia, la cual apelaba al intelecto y no a los sentidos. Se reconocía en ella “la esencia divina de las cosas”- [y] se suponía que era armoniosa y hermosa solo porque es divina- y se apreciaba mucho más por

su divinidad que por su belleza. La valoración de la “simetría” tenía por tanto una tendencia intelectual o mística sobre todo estética. (Tatarkiewicz, 2006:121)

Tetracordio: organización de notas, cuerdas, distancias o planetas en una cuarta.

Tono: es la diferencia entre la cuarta y quinta musical. Puede ser dividido en medio, tercio y cuartos y considerarse melódico. (Baker, 1989:140)

Indice de Ilustraciones

Figura 1: Números poligonales. Centro de divulgación de las matemáticas. Historia de las matemáticas: Números poligonales. Disponible:

<http://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/autores/pag/mat/Pitagoras11.asp.htm>.

[Consulta: septiembre 2012].

Figura 2: El monocordio. Instituto Schiller. La música y la paradoja sin resolver de Pitágoras: La construcción de violines y el mundo del sonido armónico. [Artículo en línea]. Disponible:

[http://www.google.co.ve/imgres?imgurl=http://www.schillerinstitute.org/newspanish/imagenes/clasic_art/ConstrucViolines/Musica-](http://www.google.co.ve/imgres?imgurl=http://www.schillerinstitute.org/newspanish/imagenes/clasic_art/ConstrucViolines/Musica-Monocordio.jpg&imgrefurl=http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/art)

[Monocordio.jpg&imgrefurl=http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/art](http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/art)
[e/MusiParadojaPitagoras.html&h=132&w=399&sz=11&tbnid=3tAfrG4sZjARM:&tbnh=4](http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/art)
[1&tbnw=124&prev=/search%3Fq%3Dmonocordio%2Bpitagorico%26tbm%3Disch%26tbo](http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/art)
[%3Du&zoom=1&q=monocordio+pitagorico&hl=es&usg=__5PIHtg6ssCac25yJachmZfDO](http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/art)
[4lo=&sa=X&ei=bfYWTtLDMYXi0QGvssTKCg&ved=0CEMQ9QEwCQ](http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/art). [Consulta:
septiembre 2012].

Figura 3: Proporciones de la cuerda. Boid – Brent, J. (2000). *Harmony and proportion*. [Libro en línea]. Disponible: <http://www.aboutscotland.com/harmony/harmony.html> [Consulta: 2002]

Figura 4: La tetraktys. Ilustración realizada por el autor.

Figura 5: La tetractys: relación número geometría. Ilustración realizada por el autor.

Figura 6: Los sólidos platónicos. Tomado de: Moreno, M. *La morada cósmica del hombre: ideas e investigaciones sobre el lugar de la tierra en el universo: matematización de la astronomía*. [Libro en línea]. Disponible:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/155/htm/sec_10.htm.
[Consulta: 2002]

Figura 7: Los lados del cuadrado son conmensurables. Ilustración realizada por el autor.

Figura 8: Los lados del rectángulo son inconmensurables. Ilustración realizada por el autor.

Figura 9: La sección áurea. Bitacora de diseño y comunicación VII. Disponible:
<http://noenriquezanchez.blogspot.com/2009/12/seccion-aurea.html>. [Consulta: septiembre 2012].

Figura 10: Esquema comparativo de la escala musical griega. Ilustración realizada por el autor.

Figura 11: Relaciones de la cuerda en el templo griego. Ilustración realizada por el autor a partir de los trabajos de Ernst Berger.

Referencias Bibliográficas.

- Atilano, D. (2009). *Pitágoras: número, música y proporción*. En Revista UCSAR. Año 1, N° 2. (p. 9 – 28)
- Baker, A. (1989). *Greek musical writings: harmonics and acoustic theory*. New York: Cambrige University Press.
- Barco, L. (2007). *A matematica da musica: Arte e matematica da TV Cultura*. [Serie televisada en línea]. Disponible: <http://www.youtube.com/watch?v=jy8KGaXxG4U> [Consulta 2008].
- Barco, L. (2007). *O número de Ouro: Arte e matematica da TV Cultura*. [Serie televisada en línea]. Disponible: http://www.youtube.com/watch?v=w2NqqfHM9_8 [Consulta 2008].
- Boid – Brent, J. (2000). *Harmony and proportion*. [Libro en línea]. Disponible: <http://www.aboutscotland.com/harmony/harmony.html> [Consulta: 2002]
- Bulckens, A. *The Parthenon's Symmetry*. Disponible: <http://vismath7.tripod.com/proceedings/bulckens.htm> [Consulta: septiembre 2012].

- Ching, F. (1985). *Arquitectura: forma, espacio y orden*. México: Gustavo Gilli.
- Ching, F. (1998). *Diccionario visual de arquitectura*. México: Gustavo Gilli.
- Clerc, Gastón. (2003). *La arquitectura es música congelada*. [Tesis doctoral publicada en línea]. Madrid: Escuela Técnica Superior de Madrid. Disponible: http://oa.upm.es/268/01/03200307_1.pdf [Consulta: 2008]
- Constantini, M. (2000). *Architecture and music: proportional ratios in the two arts from Vitruvio to Milizia* [Resumen en línea]. Politechnic of Torino, Faculty of Architecture. Disponible: <http://obelix.polito.it/tesi/dic2000/constantini/english.htm> [Consulta: 2002]
- Correa, G. (2009). *Numerus-proportio en el De música de san Agustín (libros I y VI): la tradición pitagórico-platónica*. [Tesis doctoral en línea]. España: Universidad de Salamanca, Departamento de Filosofía y Lógica y Filosofía de la Ciencia, Facultad de Filosofía.
- Curt, F. (1993). *Arquitectura y Música: Venecia, Armonía de una Ciudad*. Revista musical de Venezuela, 32-33, 257-295.
- Escalante, R. (2001). *Música y matemáticas*. Escritos: revista universitaria de arte y cultura, III Etapa, N° 14, 97-114.
- Eximeno, A. (1978). *Del origen y reglas de la música* (edición preparada por Francisco Otero). Madrid: Editora Nacional.
- Gerulewicz, G. (2001). *Proporciones y música*. Escritos: revista universitaria de arte y cultura, III Etapa, N° 14, 185-200.
- Ghyka, M. C. (1953). *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes*. Buenos Aires: Poseidón.
- Hartmann, C. (2001). *La música y la paradoja sin resolver de Pitágoras: La construcción de violines y el mundo del sonido armónico*. [Artículo en línea]. Disponible: <http://www.schillerinstitute.org/newspanish/institutoschiller/arte/MusiParadojaPitagoras.html>. [Consulta: 2011].
- Kappraff J. (2002). *Anne Bulckens' Analysis of the Proportions of the Parthenon and its Meanings*. [Artículo en línea]. New Jersey: New Jersey Institute of Technology/ University Heights. Disponible: <http://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0C CIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fweb.njit.edu%2F~kappraff%2Fparthbridges5.doc&ei=DlBTUMb7J-LkygHx3YCoDg&usg=AFQjCNHAIzivrHpd0b7pkCS93nVGikXTw> [Consulta: 2012]

- Moreno, M. (s.f.) *La morada cósmica del hombre. Ideas e investigaciones sobre el lugar de la tierra en el universo: la matematización de la astronomía*. [Artículo en línea]. Disponible:
http://www.google.es/imgres?imgurl=http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/155/img/155_124.gif&imgrefurl=http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/155/htm/sec_10.htm&usg=__LAOaw4dVP24bkYGrxYCRJhdppL4=&h=250&w=354&sz=6&hl=es&start=5&zoom=1&tbnid=z6wvO-Qtod6kZM:&tbnh=85&tbnw=121&ei=TRq3TqqYDNPs2AXA1dDMDQ&prev=/search%3Fq%3Ds%25C3%25B3lidos%2Bplat%25C3%25B3nicos%2Bbiblioteca%2Bdigital%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN%26rlz%3D1T4ADBS_esVE251VE252%26tbm%3Disch&um=1&itbs=1. [Consulta: 2011].
- Pérez, A. (2002). *La magia de los números*. [Artículo en línea]. Disponible:
<http://platea.pntic.mec.es/aperez4/numeroshtml/numeros.htm>. [Consulta: 2011].
- Pilar, H. (2006). *Proporción y armonía en el "Ayante" de Sófocles y el Partenón: matemáticas y creación artística a mediados del s. V*. España: Sociedad Española de Estudios clásicos. Disponible:
http://interclassica.um.es/index.php/interclassica/investigacion/hemeroteca/e/estudios_clasicos/numero_129_2006/proporcion_y_armonia_en_el_ayante_de_sofocles_y_el_partenon_matematicas_y_creacion_artistica_a_mediados_del_s_v [Consulta: 2012]
- Platón. (1998). *Diálogos: La República*. El Timeo. México: Porrúa.
- Schiller Institute. (1992). *A manual on the rudiments of tuning and registration: Book one. Introduction and human voice*. Washington: Schiller Institute.
- Schneider, M. (1998). *El origen musical de los animales – símbolos en la mitología y la escultura antiguas*. Madrid: Siruela.
- Sierra, P.J. (2006). *Música especulativa y música práctica en el P. José de Sigüenza*. Madrid: Real Monasterio de El Escorial/Ciudad de Dios
- Centre Pompidou. (septembre, 2004). *Sons & lumières: une histoire du son Dans l'art du XXe siècle*. [Exposición]. Paris: Éditions du Centre Pompidou.
- Tatarkiewicz, W. (2006). *Historia de seis ideas: arte, belleza, forma, creatividad, mimesis, experiencia estética*. Madrid: Tecnos/Alianza.
- Vitruvio, M. (1997). *Los diez libros de arquitectura*. Madrid: Alianza Forma.
- Wittkower, R. (1958). *La arquitectura en la edad del humanismo*. Buenos Aires: Ed. Nueva Visión.