

# Acústica de las antiguas campanas chinas

Sinyan Shen

*Los juegos de campanas de bronce constituyeron importantes instrumentos musicales hasta su desaparición hace unos 2000 años.*

**E**n 1978 se excavó en la provincia de Hubei, en el sur de China, un juego de campanas de tal magnitud que ocuparía el escenario entero de una moderna sala de conciertos. El juego, que data del siglo V a. de C., consta de 65 campanas, que cubren 5 octavas, registro superior al de la mayoría de los instrumentos contemporáneos. Unas inscripciones en filigrana de oro grabadas en las campanas y en los soportes prueban la existencia de una teoría musical muy elaborada, que especificaba el diseño, las escalas y la instrumentación de las antiguas orquestas. Todos estos datos y las investigaciones efectuadas sobre el propio juego de campanas han instado a una nueva redacción de la historia de la acústica.

Las antiguas inscripciones confirmaron lo que los especialistas modernos empezaban a intuir: las campanas se construían de tal forma que cada una podía producir dos tonos de altura distinta. Esa característica distingue las campanas chinas de las occidentales de iglesia que, como sabemos, dan tonos únicos, prolongados; a diferencia de las campanas de iglesia, las chinas permitían la ejecución de una música compleja y de ritmo rápido. Por motivos todavía no esclarecidos, los principios y la práctica que rodearon a ese diseño tan particular no se transmitieron a las generaciones sucesivas y así durante más de 2000 años se ha ignorado el modo de tocar tal instrumento.

Reúnen las campanas chinas gran número de propiedades inusuales, cuya complejidad y precisión no pueden apreciarse más que a la luz del propósito de obtener dos tonos. Desde el descubrimiento de este juego de campanas los estudios de las características vibratorias y de los métodos de afinación han puesto de manifiesto la profundidad de los conocimientos de los metalúrgicos y de

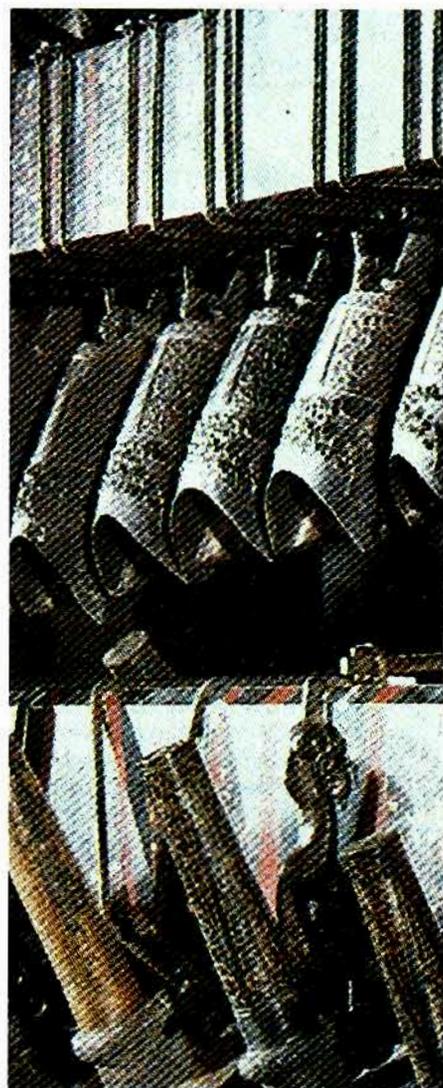
los músicos chinos. El diseño de las campanas requiere unos conocimientos teóricos de física e ingeniería cuyo desarrollo no se creía anterior al siglo XVIII. De hecho, los principios acústicos aplicados en las campanas chinas de bronce han sorprendido incluso a los especialistas del siglo XX.

El estudio de la acústica es relativamente reciente en Occidente. El físico alemán Ernst F. F. Chladni espolvoreó arena sobre unas placas vibrantes en 1787 para demostrar que ciertas zonas se mantenían estacionarias durante la vibración. Esas regiones sin movimiento se denominaron líneas nodales; su distribución describe los modos que toma un cuerpo vibrante. Cada modo normal de vibración se asocia a una frecuencia característica, que a su vez determina la altura percibida.

Los cuerpos vibrantes se mueven simultáneamente en muchos modos distintos y generan muchas frecuencias distintas, denominadas parciales. El parcial de frecuencia más baja recibe el nombre de fundamental; existen además muchas frecuencias superiores: los sobretonos. Cuando se percute una campana o se pulsa una cuerda, se generan todas esas frecuencias, pero unas suenan con más volumen (intensidad) que otras. La intensidad relativa de los parciales de un sonido musical constituye su calidad sonora (timbre), igual que cierta combinación de longitudes de onda determina el color de la luz.

**E**n 1890 Lord Rayleigh estudió las campanas de la iglesia de su pueblo, Terling, Inglaterra; también experimentó en su laboratorio con varias campanas. Identificó seis parciales. Rayleigh, que colocó la primera piedra del subsiguiente estudio de la acústica de las campanas, creyó que no generaban más que el tono fun-

damental. Puesto que sus ensayos se restringieron a las campanas occidentales, no pudo prever la lección que darían las milenarias campanas chinas.



1. JUEGO DE CAMPANAS de Zengzhou Yi, gobernante de un territorio chino en el siglo V a. de C. Constituye el más

Desde principios del siglo XX comenzaron a recuperarse campanas en los yacimientos arqueológicos de China. Posteriormente aparecieron juegos y conjuntos completos de campanas; hasta hoy se han recuperado miles de campanas y más de cincuenta juegos completos. Pese a estudiarse con detenimiento, hasta 1977 no advirtieron los investigadores que de las campanas podían obtenerse dos tonos. Persistieron las dudas hasta que, en 1978, se descubrió el juego completo de la provincia de Hubei.

Habían pasado inadvertidas pistas anteriores. Al estudiar el juego de campanas Jing-li, excavado en 1957 en la provincia de Henan, los científicos del Instituto Nacional de Investigaciones Musicales interpretaban "El Oriente es rojo" utilizando los tonos obtenidos percutiendo las campanas en el centro. Faltaba un *mi*<sub>5</sub> #.

Con objeto de completar la pieza el equipo encontró la nota percutiendo lateralmente la campana *do*<sub>5</sub> #, logro que se consideró meramente fortuito.

En 1977 Huang Xiang-peng, Lu Ji, Wang Xiang, Gu Bo-bao y sus colaboradores examinaron en ese instituto un juego de campanas hallado en la provincia de Shanxi y observaron que, cuando se percutían lateralmente, emitían un tono superior al generado al golpearlas en el centro. El intervalo que mediaba entre los dos tonos era siempre una tercera mayor o menor, diferencia de frecuencia equivalente a cuatro o cinco teclas consecutivas en el piano. La observación despertó vivas discusiones sobre si el fenómeno era accidental o deliberado y sobre si el segundo tono constituía una fundamental o un sobretono.

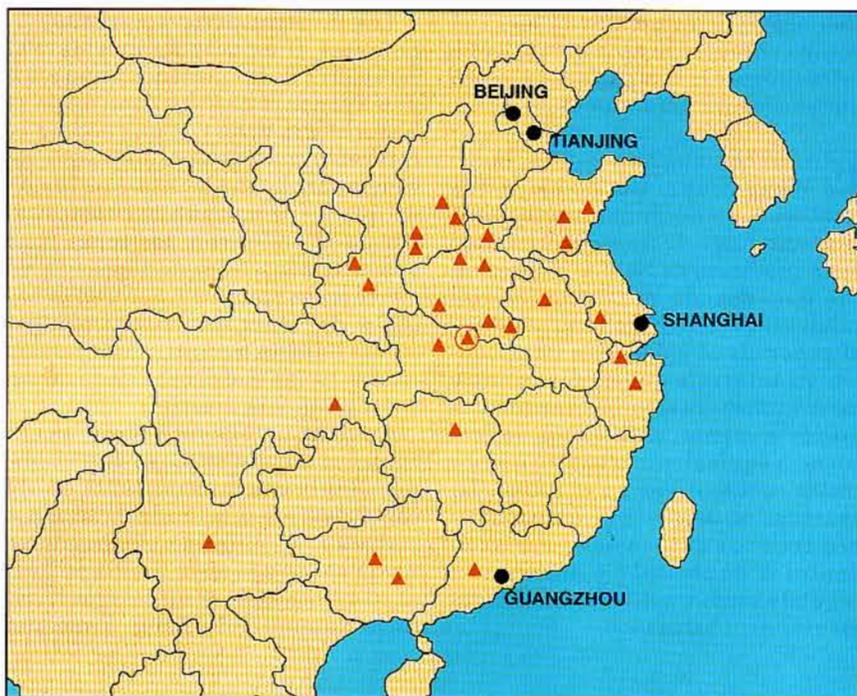
Los investigadores emprendieron entonces el estudio de más de 200 campanas de los períodos Shang (siglos XVI a XI a. de C.) y Zhou (siglo XI hasta el 221 a. de C.), que cubren el intervalo de creación de juegos de campanas, llegando a la conclusión de que las campanas se construían para que emitieran dos tonos. Las posiciones laterales de percusión de cierto juego aparecían decoradas con glifos del fénix, práctica probablemente ligada a las antiguas leyendas chinas en las que el canto de esa ave representa a la música.

Cuando, un año más tarde, se encontró el magnífico juego de 65 campanas de la provincia de Hubei, quedó corroborada la conclusión de los especialistas. El juego de campanas se había enterrado en la tumba de Zenghou Yi, marqués de un antiguo territorio denominado Zeng. Formaba

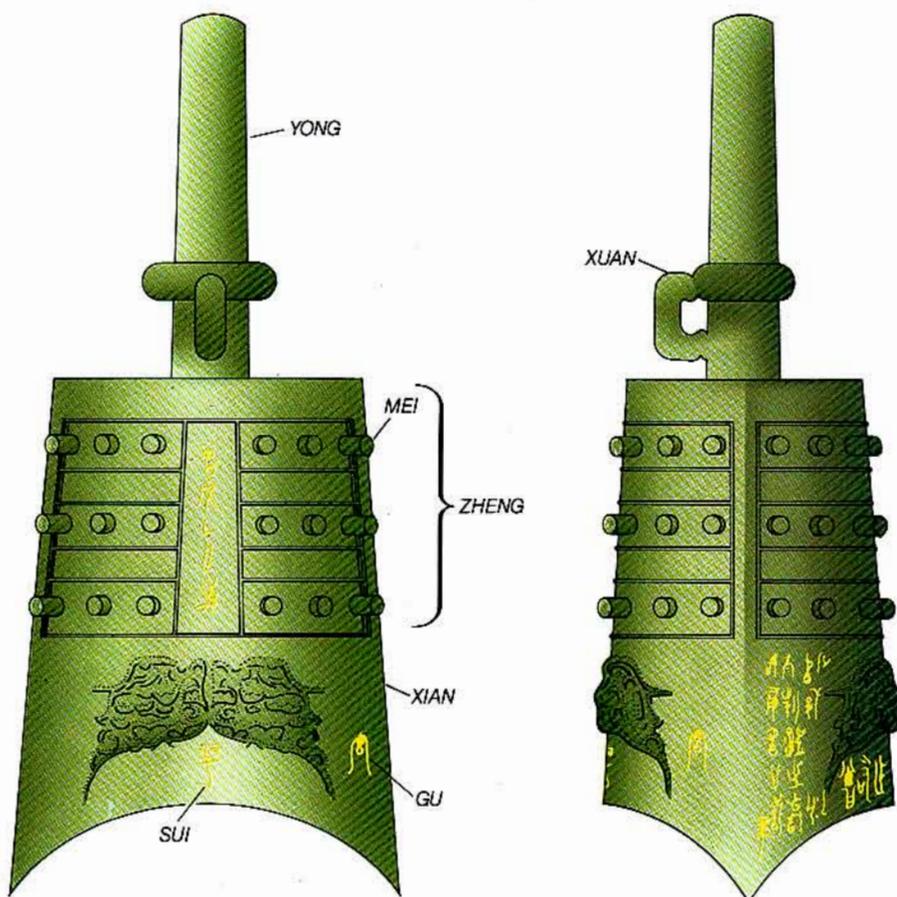


impresionante de los juegos de campanas *zhong* recuperados hasta hoy. Consta de tres niveles de campanas, montadas en un armazón en forma de L. Estudios acústicos ex-

haustivos han revelado las singulares características merced a las cuales cada campana emite dos tonos de gran pureza.



2. MAPA DE LOS HALLAZGOS de juegos de campanas efectuados en China; sólo se consideran las provincias orientales y sudoccidentales, puesto que todos los juegos se hallaron en esos territorios. Desde 1900 se han desenterrado más de cincuenta. Una circunferencia señala el lugar donde se halló el juego de Zhengzhou Yi.



3. CARACTERÍSTICAS DE LA CAMPANA ZHONG, que guardan estrecha relación con la calidad sonora y con las prestaciones del instrumento, mostrado aquí de frente (izquierda) y de lado. Al ser asimétrica su sección, la campana puede emitir dos tonos, cuya pureza se refina por medio de las puntas de bronce *mei*. Algunas campanas portan también inscripciones que señalan los puntos exactos donde deben percutirse.

parte de dos grandes orquestas, también conservadas en la tumba del señor. Las campanas *zhong*, de bronce, que complementándose formaban un juego llamado *bian-zhong*, aparecieron intactas y casi perfectamente afinadas. Los tesoros musicales del marqués Yi confirmaron el diseño de doble tono de los juegos de campanas, gracias a las detalladas inscripciones que portaban los propios instrumentos.

Los juegos de campanas estaban destinados a la interpretación de música formando parte de una orquesta. Sus características no podían ser, pues, las mismas que las de uso ceremonial o religioso. Las unidades que los forman deben presentar un campo dinámico muy amplio, que permita la interpretación de melodías complejas; su sonido, agradable al oído, debe atenuarse con rapidez, sin ecos prolongados.

La configuración geométrica de las campanas resulta crucial para obtener esas propiedades acústicas. La campana *zhong* tiene un diseño asimétrico. A diferencia de la campana destinada al culto, de sección circular, la *zhong* es ovalada: su sección horizontal es un óvalo aplanado. El labio de la campana no se halla en un plano, sino que, por delante y por detrás, se arquea hacia arriba, y baja formando una especie de cuerno en los laterales derecho e izquierdo. Las caras frontal y superior se reúnen en una costura denominada *xian*. Las cuatro regiones superiores en que se divide el cuerpo están recubiertas de 36 puntas de bronce, denominadas *mei*.

Las campanas *zhong* del juego *bian-zhong* se suspenden de un collarín, llamado *xuan*, colgado de un gancho situado en una vigueta del armazón de dicho conjunto instrumental. Las campanas, que carecen de badajos, se ordenan en pisos y se percuten con distintos tipos de mazas. Las piezas de registro agudo y medio suelen colgarse al nivel de los ojos, o por encima de ellos; se utilizan mazas que semejan martillos. Las campanas de registro grave se cuelgan en el piso inferior y se percuten con varillas, casi en horizontal.

Un juego de campanas formado por varias docenas de unidades requiere de cinco a siete músicos. Los intérpretes de registros distintos se sitúan a distintos lados. La boca de la campana cuelga en un ángulo de unos 30 grados respecto de la vertical, compensada por una prolongación larga y pesada, denominada *yong*, que bas-



4. ANALISIS ACUSTICO que reveló la precisión del diseño *zhong*. Además de sus dos tonos fundamentales, los ingenieros zhou aprendieron a manipular los sobretonos de las "voces" de las campanas. Wang Xiang (*sentado*) y Huang

Xiang-peng, del Instituto Nacional Chino de Investigaciones Musicales, aparecen aquí analizando los tonos del juego de campanas de Zhenghou Yi. A pesar del tiempo transcurrido, la afinación de las campanas se conservaba perfecta.

cula hacia atrás; el lado que debe percudir el músico le queda encarado. Según la altura del tono que producen, el tamaño de las campanas *zhong* mide desde unos pocos centímetros hasta más de un metro, lo que las hace bastante grandes para lo que hoy se acostumbra.

Los dos tonos fundamentales, que constituyen la peculiaridad de esos instrumentos, se generan en dos zonas distintas de la superficie de la campana. Uno se produce en la región central inferior, en la posición denominada *sui*; el otro, en zonas situadas a la izquierda y a la derecha de *sui*, en la posición *gu*. Se dice que el término *sui* significa "espejo"; probablemente haga referencia a la semejanza que se advierte entre la curva del labio de la campana y la del espejo cóncavo que en aquellos tiempos se utilizaba para prender fuego. *Gu* significa "tambor", o "generador de música". Debido al gran énfasis cultural hacia el uso de la mano derecha, el *gu* diestro se tocaba mucho más a menudo que el izquierdo.

El empleo de campanas de doble tono facilita una interpretación eficaz y reduce el tamaño total del juego. El diseño de las campanas occiden-

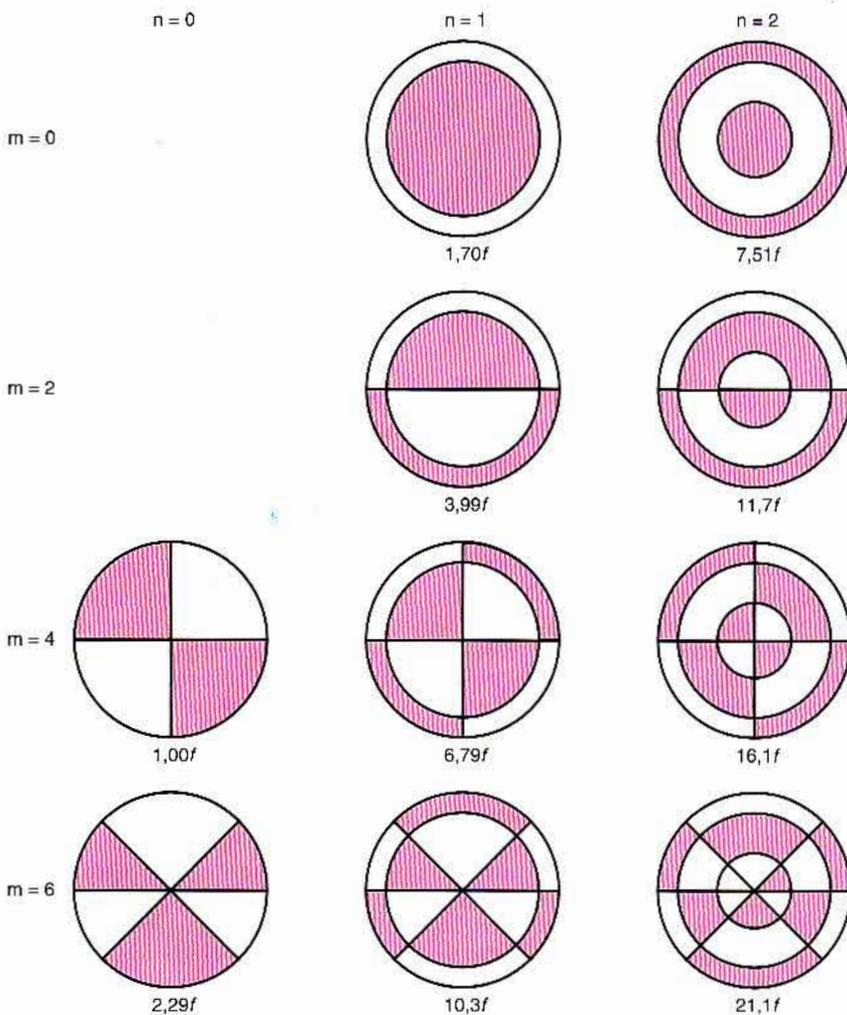
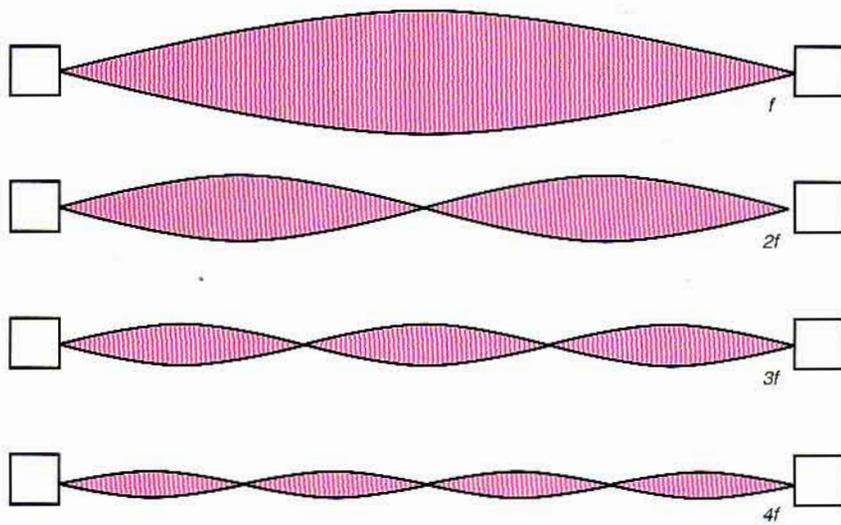
tales no es tan práctico. El tono de "golpe" de las campanas circulares occidentales (el tono que percibe el oyente) no es la fundamental, sino una octava superior a ésta. Por ejemplo, el sonido que genera una campana moderna cuya fundamental sea el  $do_3$  central de 256 ciclos por segundo se percibe como  $do_4$  de 512 ciclos por segundo. Pesa unos 375 kilogramos. De acuerdo con la regla aproximada según la cual el tono de una campana circular es inversamente proporcional a la raíz cúbica de su masa, el decremento de la frecuencia en un factor de dos requiere un incremento de masa de ocho veces la inicial. La campana que diera el tono percibido como  $do_3$  pesaría unas 3 toneladas, casi 450 kilogramos más que el conjunto de todas las campanas y soportes del juego Zenghou Yi.

La incapacidad de crear una campana que emita su fundamental ha impuesto serias limitaciones en lo que se refiere a los materiales y técnicas empleados en la fundición. El diseño de las campanas de iglesia es fruto de una meticulosa experimentación desarrollada durante siglos. El procedimiento chino, resultado a su vez de milenios de trabajo, se perdió tras el período Han (del

206 a. de C. al 220 d. de C.). ¿Qué secretos acústicos se les pasaron por alto a los maestros occidentales?

Una campana es un cuerpo de gran complejidad acústica. Sus parciales no pueden expresarse mediante razones aritméticas simples, a diferencia de lo que ocurre en los casos de una cuerda completamente elástica o de una columna vibrante de aire, cuyas frecuencias corresponden a las razones 1:2:3:4:5:6, etcétera. Tanto la campana *zhong* ovalada como la campana circular de iglesia son adaptaciones especiales del sistema acústico conocido por placas vibrantes. El incremento del grosor y de la elasticidad del material de que están hechas placas y campanas aumenta la frecuencia de vibración, mientras que los incrementos del diámetro y de la densidad la disminuyen.

Mary D. Waller estudió los modos normales de las placas circulares vibrantes y publicó sus resultados en 1937. Sus figuras nodales están formadas básicamente por radios (simbolizados con la letra *m*) distribuidos simétricamente alrededor del centro de la placa y por círculos (simbolizados con la letra *n*) concéntricos con el perímetro de la placa. El modo más



**5. FRECUENCIAS DE LOS PARCIALES.** Confieren al sonido su calidad tonal, el denominado timbre, y son resultado de los diversos modos de vibración que adopta un cuerpo. La frecuencia más grave se denomina fundamental; las restantes constituyen los sobretonos. Cuando se pinza una cuerda tensa (*arriba*), genera parciales que son múltiplos enteros de la fundamental  $f$ . En cambio una placa vibrante (*abajo*) genera parciales que no se relacionan entre sí según razones aritméticas sencillas. Las frecuencias resultantes dependen de la combinación de radios nodales ( $m$ ) y círculos nodales ( $n$ ), las regiones de la placa que permanecen sin movimiento durante la vibración. Se simbolizan aquí en rojo y en blanco los movimientos de las secciones en sentidos opuestos. Las campanas, redondas u ovaladas, constituyen un tipo particular de placa vibrante.

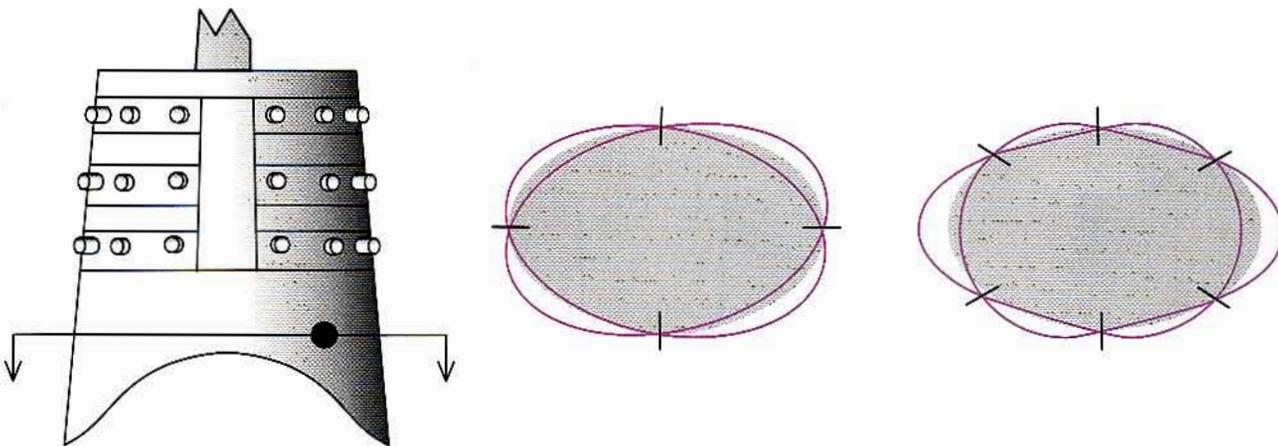
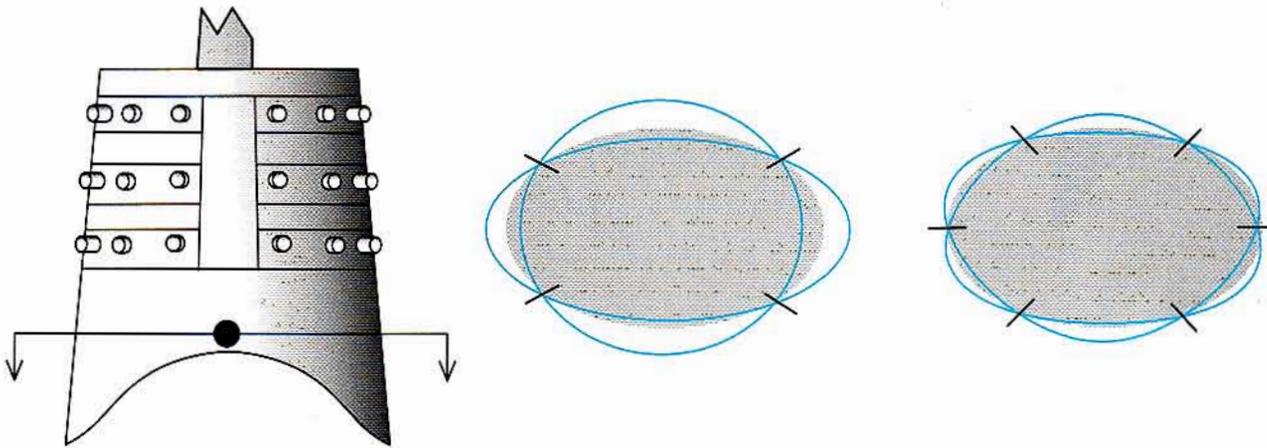
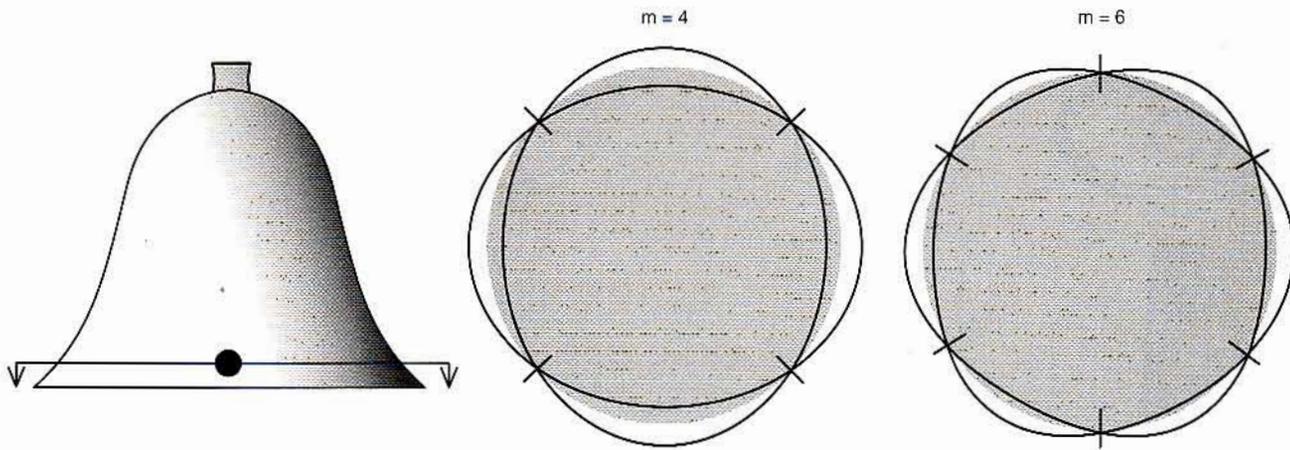
sencillo, aquel que corresponde al tono fundamental, presenta cuatro líneas nodales, que dividen la placa en cuatro secciones vibrantes, como si se tratara de un pastel. En cualquier momento que se considere, los segmentos adyacentes se moverán siempre en sentido opuesto. El siguiente modo, que genera una frecuencia 1,7 veces la del fundamental, presenta sólo un círculo nodal, que define un segmento circular interior y un anillo exterior. Diversas combinaciones de radios y de círculos generan otros modos, creándose complicadas interrelaciones entre las frecuencias parciales.

Una campana circular se comporta en términos acústicos como una placa acampanada suspendida del centro. Los modos normales de una campana redonda, vista desde arriba, son muy parecidos a los dibujos que se han observado en las placas circulares. El movimiento vibratorio es más intenso en el borde. Cuando se golpea la campana, se fuerza hacia dentro la zona percutida y se empujan hacia fuera las regiones adyacentes; seguidamente el borde pasa por su configuración circular inicial y forma un anillo alargado, perpendicular al primero.

Ciertas partes de la campana se mantienen bastante quietas en relación a otras zonas durante esas vibraciones, precisamente en los puntos de intersección de las distorsiones circulares. Estos puntos representan las líneas nodales, los denominados meridianos nodales. En puridad no se trata de nodos, puesto que las intersecciones no son exactas y persiste cierto movimiento en el plano de la superficie. Ese movimiento es el que hace vibrar un vaso de cristal cuando se frota el borde con un dedo humedecido.

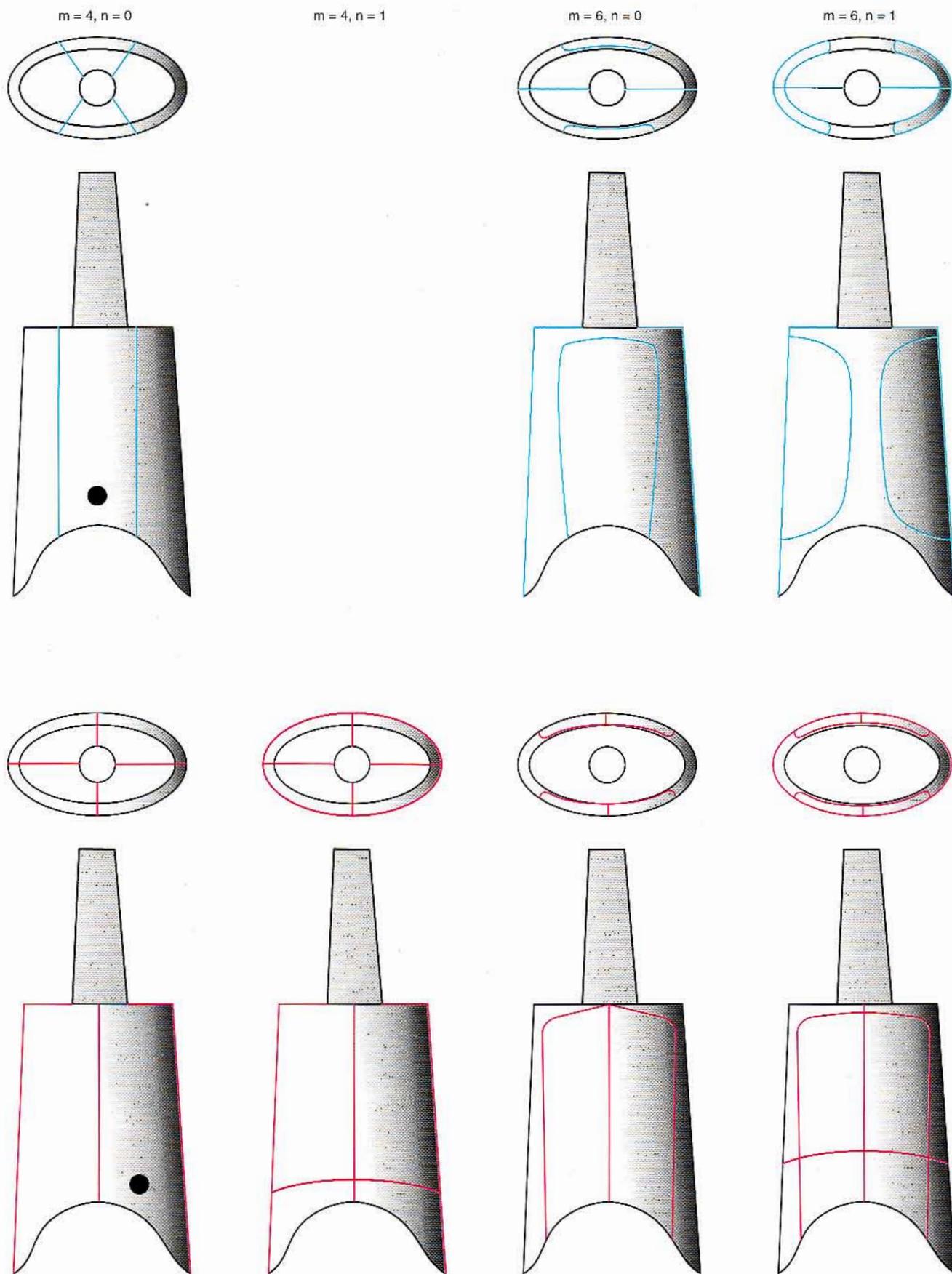
Los meridianos nodales de las campanas redondas se distribuyen uniformemente, como los radios nodales en una placa. Esa simetría posibilita el uso de badajos en las campanas circulares, pues se obtienen los mismos efectos vibratorios cualquiera que sea el punto de percusión del borde. Por el contrario, los meridianos de las campanas *zhong*, asimétricas, no se distribuyen de forma uniforme. Consecuencia de tal asimetría es que para cualquier número dado de líneas nodales cabe más de una distribución espacial.

En efecto, la campana *zhong* presenta dos juegos de modos bien definidos, que pueden activarse de forma selectiva golpeando en distintas posi-



**6. MOVIMIENTO DEL BORDE** de una campana tras ser percutada. Ilustra la distribución de las líneas nodales en el caso de las campanas redondas (*arriba*) y en el de la campana china *zhong*, cuyos dos tonos reciben los nombres de *sui* (centro) y *gu* (abajo). El color gris indica las posiciones estáticas, mientras que las líneas indican los cambios de forma después del tañido. Se representan los modos en los que  $m$  toma los valores 4 y 6, en los cuales los radios nodales de una campana redonda están espaciados regularmente, por

lo que no hay más que una distribución posible. Como las campanas chinas son oblongas, un número dado de líneas nodales puede disponerse de varias formas diferentes, generando tonos distintos. Como aquí se muestra, la pauta de radios nodales generada viene determinada por el punto en que se percute la campana. Los proyectistas chinos lograron maximizar la separación entre los dos tonos *zhong* haciendo que el punto de percusión de uno coincidiera con las líneas nodales del otro.



7. PAUTAS NODALES de los tonos *sui* (arriba) y *gu* (abajo). Se representan los modos de las fundamentales y los sobretonos más relevantes. Las secciones que coronan a las campanas recuerdan el sistema de enumeración de los radios y círculos de

las placas vibrantes. Las líneas horizontales se cuentan como círculos, si bien no contribuyen al sonido y, por tanto, no se tienen en cuenta. Como muestra la figura 10, el tono *sui* posee dos sobretonos principales, mientras que el *gu* tiene tres.

ciones de la campana, las posiciones *sui* y *gu*. Si bien los dos tonos fundamentales tienen el mismo número de líneas nodales ( $m = 4$  y  $n = 0$ ), la situación de las líneas es distinta y, por tanto, también lo son las frecuencias generadas. En esa "degeneración" de los modos radican las extraordinarias propiedades acústicas de los juegos de campanas. El modo *gu* genera frecuencias más agudas que el *sui*, pero no son mutuamente excluyentes: comparten parciales de alta frecuencia, producidos por modos de complejidad superior.

Los chinos de la antigüedad refinaron su diseño de doble tono hasta obtener dos juegos de modos, de distinto carácter acústico pero de función musical comparable. Separaron los dos tonos de cada campana excluyendo las calidades comunes. Por ejemplo, cuando se percute la posición *sui*, las caras y los laterales de la campana experimentan su mayor movimiento, mientras que las zonas *gu*, intermedias, se corresponden con los modos silenciosos e inmóviles. Las zonas *sui* se convierten en nodos cuando se percute la campana en la posición *gu*. Así las posiciones de toque se sitúan en los puntos que menos se perturban cuando se tañe la otra posición, que es, a su vez, la zona menos afectada en la producción del otro tono.

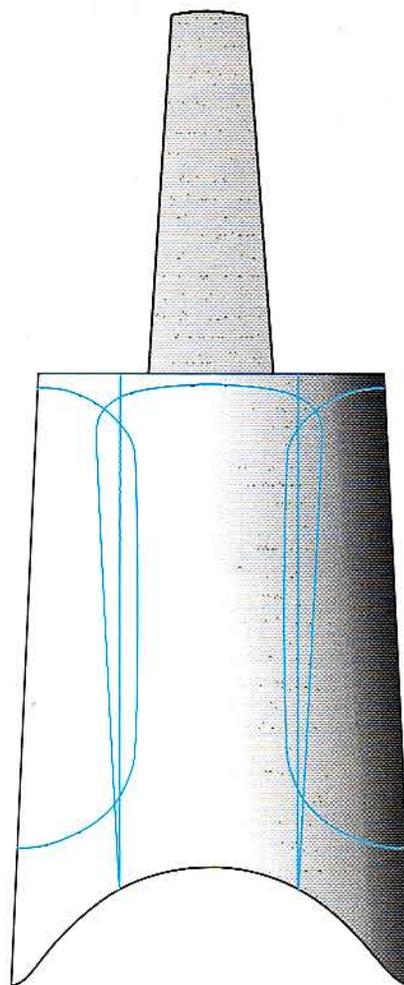
Para situar con tal precisión los meridianos nodales de los dos modos fundamentales, los chinos de la antigüedad tuvieron que poseer conocimientos teóricos de la física de la música muy superiores a lo que solían creer los historiadores. En ese caso resultaría bastante directo, si bien no muy sencillo, encontrar las posiciones de percusión que separan los fundamentales. Empero, para obtener la mejor resolución entre los tonos, además de las fundamentales deberían separarse los sobretonos. Los meridianos nodales de los principales modos de los sobretonos de la posición *gu* convergen en la posición de percusión *sui*, por lo que no contribuyen al tono *sui*. Pero los meridianos de los modos de los sobretonos *sui* no se concentran en la posición *gu*, por lo que, al percudir esta posición, podrían interferir en el sonido trazas de parciales *sui*. Y ello explica por qué las campanas *zhong* presentan el labio arqueado.

Cuando examinamos los dos juegos de modos normales, advertimos que el arqueamiento del labio de la campana, además de alterar la forma de la "placa" vibrante, modificaba los di-

seños nodales de los principales sobretonos *sui*. Debido al arco que formaba el labio, los meridianos de los sobretonos *sui* convergían en el punto donde, no precisamente por coincidencia, se había definido la posición de percusión *gu*. Por regla general se halla a  $3/5$  de la distancia que separa la posición *sui* de la costura *xian*. El punto de percusión resulta de tal importancia para que se obtengan el tono y la calidad de sonido correctos que los chinos lo inscribieron en las campanas, indicando así de forma inequívoca las posiciones *sui* y *gu*. Ni el diseño del borde cóncavo ni la precisa identificación de la convergencia de las líneas nodales podían ser casuales.

Las puntas *mei*, agrupadas en la parte superior en todas las campanas excepto en las de registro agudo, tampoco son mero ornamento. Compensan la diferencia de intensidad de las dos fundamentales, que resultan equiparables. Más importante aún es que los *mei* actúan también como elemento de separación de los dos tonos de la campana. En recientes estudios de laboratorio se ha comprobado que las puntas modifican las estructuras, o espectros de frecuencias, de los sobretonos de los tonos *sui* y *gu*. Los *mei* añaden peso alrededor de la porción superior de la campana, modificando los patrones nodales de esa zona. Por consiguiente son más acusados en las campanas grandes. Sin *mei*, las fundamentales de *sui* y *gu* se distinguen con facilidad, pero presentan ciertos sobretonos comunes en la banda de las altas frecuencias. Con puntas, las frecuencias de dichos sobretonos se desplazan de tal forma que el solapamiento entre los dos juegos de parciales es escaso.

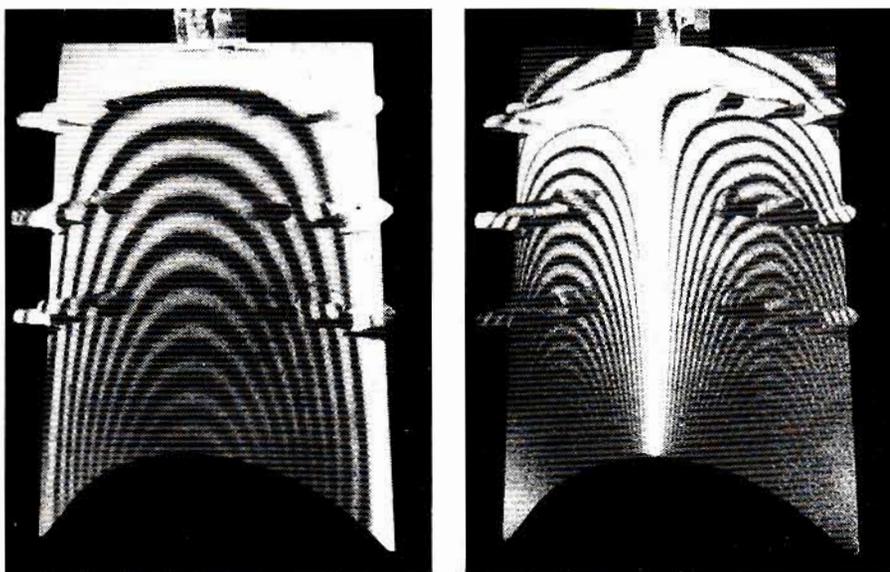
El intervalo que media entre los dos tonos de las campanas *zhong* se selecciona por fundición y por afinación. La elección del intervalo es arbitraria, pero debería acomodarse a la progresión melódica de las composiciones que se interpretan. El intervalo no debe ser tampoco disonante, ya que, tras la extinción del tono principal, pueden persistir trazas del tono secundario, pese a los esfuerzos de los proyectistas. Los ingenieros *zhou* afinaron las campanas de suerte que los intervalos de los sobretonos, así como los de las fundamentales, resultaran armónicos. Por ejemplo, el segundo parcial del tono *gu* está siempre una octava más una tercera menor o mayor por encima del tono *sui*; los parciales de una campana



8. CONVERGENCIA de las líneas nodales de los tres parciales principales del tono *sui*, característica importante de la concepción de la campana china. Si el perímetro de la campana fuera plano, los nodos *sui* no se intersecarían y la percusión de cualquier punto de la campana excitaría cuando menos un tono *sui*. El arqueamiento del labio de las campanas *zhong* reordena, en cambio, las líneas nodales de tal modo que se concentran en la posición *gu* (círculo blanco). Esa convergencia de los nodos depura el tono *gu* de las resonancias *sui* que enturbiarían su sonido.

*zhong* cuyos dos tonos estén separados por una tercera menor se ajustan a la proporción 1:1,2:2,4:2,81:3 y, si la tercera es mayor, a la proporción 1:1,25:2,5:2,81:3.

Al comparar los intervalos de los juegos de campanas de varios períodos se observa una tendencia hacia los intervalos de tercera mayor y menor, como es el caso de la colección de campanas del marqués Yi. Careciéndose de ejemplos de música antigua, cabe suponer que esa preferencia se ajustaba a una predilección por las terceras mayores y meno-



9. HOLOGRAMAS DE LASER que recogen los modos de vibración de las fundamentales de los tonos *sui* (izquierda) y *gu* (derecha). Las anchas zonas blancas corresponden a los nodos; las líneas oscuras son sectores de movimiento intenso. Destaca la convergencia complementaria de las líneas nodales. Las imágenes se obtuvieron registrando la reflexión de la luz sobre las superficies quietas y en movimiento de la campana.

res en las composiciones musicales de aquella época. En Europa tales intervalos se consideraron armónicos a partir del siglo XII.

Cuando se descubrió el juego *bianzhong* del marqués Yi, las campanas

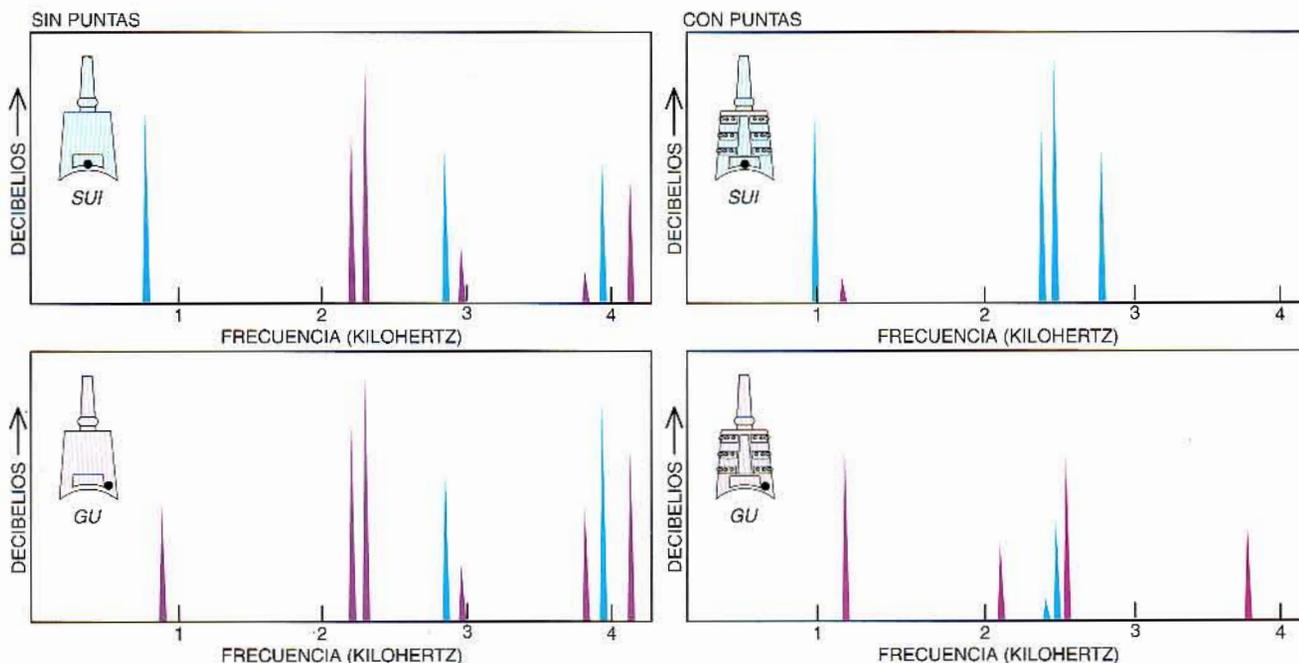
seguían casi perfectamente afinadas, a pesar de su prolongado enterramiento. Otro juego de 36 campanas hallado en 1981 en el mismo principado Zeng se conservaba incluso mejor afinado. Las placas vibrantes

suelen afinarse añadiendo o quitando material; pero se diría que con tal método resulta imposible afinar un tono de una campana de dos sin alterar el otro, pues ambos se encuentran en el mismo cuerpo. ¿Cómo lograban los maestros chinos afinar los dos tonos de una misma campana *zhong*?

Una vez más se valían de su extraordinaria destreza en la localización de las líneas nodales. Afinaban un solo tono rascando bronce del interior de la campana, pero cuidando de rascar material según las líneas nodales del otro tono. Así, para afinar el tono *sui* se sacaba material de las líneas nodales *gu* y viceversa. Por otra parte, muchas campanas se fundían con tal precisión que no requerían luego modificación alguna.

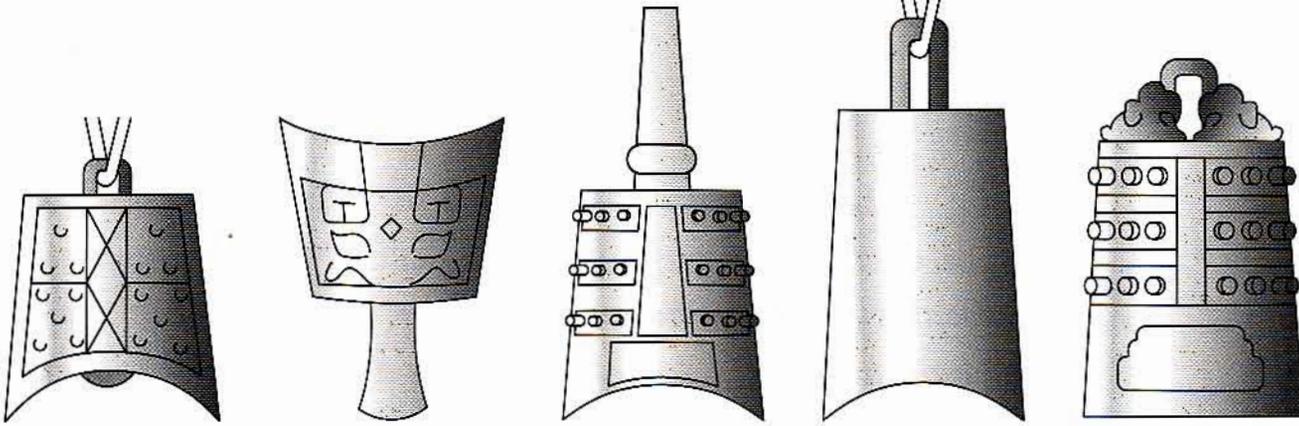
En la antigua China se dominaban las técnicas de fundición de bronce con moldes de barro que correspondían a diversas partes de las piezas. No obstante, la fabricación de una campana *zhong* de registro grave constituía una tarea formidable. Los objetos grandes y complicados se obtenían fundiendo segmentos, que se unían al final en un molde único. Pero la campana de bronce, sea cual fuere su tamaño, siempre se fundió de una sola pieza.

En el mundo moderno lo más pare-



10. GRAFICAS DE LAS FRECUENCIAS DE LOS PARCIALES, que destacan la importancia de las puntas *mei* en la separación de los tonos *sui* (azul) y *gu* (rojo). Las frecuencias generadas por las campanas sin *mei* (izquierda) son casi idénticas en ambas posiciones de percusión. Sólo se distinguen con nitidez las fundamentales. Al añadirse las puntas (derecha), se redistribuyen las pautas nodales de la porción superior

de la campana, modificándose algunas frecuencias y eliminándose otras. Desaparece casi toda traza del tono *gu* en el espectro del *sui*; y en el de aquél no persisten más que ligeros indicios de parciales de *sui*. Las pautas *mei* sirven igualmente para incrementar la potencia de la fundamental de *gu*, hasta el punto de igualarla con la potencia de la fundamental de *sui*.



11. SUCESION HISTORICA de las campanas, alusiva a la trayectoria que siguieron los antiguos maestros chinos hasta llegar al diseño *zhong*. La campana *ling*, la más antigua de las cinco que se muestran, tiene más de 3600 años. Poseía badajo y emitía un solo tono, poco reconocible. La campana manual *zheng* constituye un primer ejemplo de instrumento bitonal; la utilizaron los soldados chinos, que la llevaban boca

arriba. También la *niu-zhong* emitía dos tonos, si bien en los registros graves carecía de la claridad de la popular *yong-zhong*. Son *niu-zhong* las campanas de la hilera superior del juego que se muestra en la figura 5. Otro contemporáneo de las *zhong*, el *bo*, se utilizaba como instrumento ceremonial y emitía un solo tono. Las campanas no se han representado a escala.

cido a un juego de campanas chinas es el carillón, formado por un grupo de campanas seleccionadas cuidadosamente para que den intervalos cromáticos equitemperados. Las campanas se tocan por medio de un teclado. Puesto que algunos parciales son disonantes, con el carillón no puede producirse más que un número limitado de acordes, tocándose generalmente una sola melodía. La obtención de efectos satisfactorios exige grandes conocimientos y destreza; incluso las instalaciones más costosas pueden ofrecer en ocasiones interpretaciones decepcionantes. Si el carillón es lo mejor que puede darnos el presente, ¿cómo diseñaron los chinos el *bian-zhong* hace tanto tiempo?

Desde la antigüedad los músicos chinos han sido muy sensibles a las diferencias de la calidad tonal; sensibilidad que se manifiesta en muchos de sus instrumentos. Pregunté en cierta ocasión a un especialista en instrumentos de viento sobre la razón del diseño del *shuang-guan*, un oboe formado por dos oboes cilíndricos aparentemente iguales. Me contestó: "No hay dos tubos con lengüeta que tengan el mismo espectro tonal. Con los dos tubos del *shuang-guan* el músico domina una mayor variedad de tonalidades y puede ser más selectivo en el timbre."

Quizá fuera esa gran sensibilidad a la estructura tonal lo que instara a los antiguos chinos a experimentar con un diseño de campana ligeramente elíptico, que genera un juego de modos vibratorios más completo

y ofrece mayores posibilidades de obtener sobretonos. Las campanas *ling*, reliquias del primitivo período Shang, aun siendo ovaladas, poseían badajo y sólo producían un tono. De su carácter musical nos da prueba su uso como esquilas para perros y vacas.

Los esfuerzos posteriores de los chinos les condujeron a batallar con campanas ovaladas, que, si bien producían dos tonos distintos, emitían sonidos extraños o poco definidos. Las campanas de mano *zheng*, ovaladas y grandes, anteriores en varios siglos al juego de campanas, constituyen un ejemplo de ese estadio de desarrollo. En efecto, las *zheng* dieron nombre a la mitad superior de las campanas *zhong*; el saliente *yong*, que sostiene la campana *zhong* en un plano inclinado 30 grados, deriva del mango *zheng*. Pero la campana *zheng* sin badajo genera un sonido *gu* poco definido, porque su boca aplanada no fuerza la convergencia de las líneas nodales *sui*.

Modificando la superficie, la sección transversal y el grosor de la campana, los dos tonos se situaron en una relación armónica bien definida, hasta que despuntó su individualidad y, en última instancia, nació el complejo diseño *zhong*. Entre los contemporáneos de las campanas *zhong* se cuentan la *niu-zhong*, que también emite dos tonos, y el *bo* ceremonial, que carece de la agilidad musical del *zhong*. Ambos tipos de campana se tocan en posición vertical.

La historia del arte musical es larga

y distinguida, habiendo corrido paralela al desarrollo de la civilización humana. Los principios que se encarnan en el juego de campanas Zenghou Yi sugieren que la historia de la musicología quizá no sea menos dilatada y prominente. China ya había alcanzado un elevado nivel de conocimientos acústicos en los períodos Shang y Zhou, que resultó decisivo para el desarrollo del complejo arte musical de aquellas épocas. Física e ingeniería se complementaban en el perfeccionamiento de los instrumentos de viento, de cuerda y de percusión, así como en la formación de la orquesta. Tales logros encuentran ejemplos vivos en los tiempos actuales, en tanto que la realización global de un gran juego de campanas bitonales para la interpretación de música constituye un logro sin par en la moderna física musical.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

AN AMAZING DISCOVERY IN CHINESE MUSIC. Lee Yuan-Yuan en *Chinese Music*, volumen 2, número 2, páginas 16-17; junio de 1979.

THE MUSIC OF THE ZENGHOU ZHONG. Lee Yuan-Yuan en *Chinese Music*, volumen 3, número 1, páginas 3-15; marzo de 1980.

ANCIENT CHINESE TWO-PITCH BRONZE BELLS. Ma Cheng-yuan en *Chinese Music*, volumen 3, número 4, páginas 81-86; volumen 4, número 1, páginas 18-20; volumen 4, número 2, páginas 31-36; diciembre de 1980-junio de 1981.