



# **LA DIMENSIÓN FÍSICO-ACÚSTICA DEL PIANO PREPARADO**

---

**Una aproximación experimental al suceso de la preparación**

**Carmen Morales Moreno**

Espacio Sonoro nº 49. Septiembre - Diciembre 2019

---



**LA DIMENSIÓN FÍSICO-ACÚSTICA DEL PIANO PREPARADO. UNA APROXIMACIÓN  
EXPERIMENTAL AL SUCESO DE LA PREPARACIÓN**

<b>LA DIMENSIÓN FÍSICO-ACÚSTICA DEL PIANO PREPARADO. UNA APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL AL SUCESO DE LA PREPARACIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. EL PIANO PREPARADO: UNA APROXIMACIÓN FÍSICO-ACÚSTICA.....</b>	<b>2</b>
<i>1.1. Descripción general: El sistema de funcionamiento mecánico heredado del piano .....</i>	<i>2</i>
<i>1.2. Descripción particular: Las cuerdas, elementos de vibración .....</i>	<i>3</i>
1.2.1. Precedente al análisis e interpretación espectrográfica del piano preparado .....	3
1.2.2. Demarcaciones físicas: desarrollo de sistemas de medición acústicos.....	5
1.2.3. ¿Dimensiones propias del piano preparado? .....	8
<b>2. MATERIALES DE LA PREPARACIÓN, MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ANÁLISIS ESPECTRAL COMPARATIVO. SELECCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>25</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>26</b>

## **Abstract**

Tomando como referencia algunas de las preparaciones de la obra Sonatas e Interludios para piano preparado de John Cage (1912-1992), la investigación sienta las bases para crear un estudio sobre la naturaleza físico-acústica del piano preparado. Para ello se ha realizado un doble estudio: un análisis de observación y descripción detallada de los materiales utilizados en la preparación para determinar con exactitud de qué manera su naturaleza física perturba la vibración de la cuerda en la preparación del piano y un análisis comparativo en el que se analizan los espectrogramas de las alturas del piano en su estado natural y preparadas con el fin de señalar cuáles son los cambios que sufre la vibración en base a los armónicos producidos.

Palabras clave: Piano preparado, análisis espectral, espectrogramas, análisis comparativo.

## LA DIMENSIÓN FÍSICO-ACÚSTICA DEL PIANO PREPARADO. UNA APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL AL SUCESO DE LA PREPARACIÓN

El piano, culminando su desarrollo alrededor del siglo XVIII, es un instrumento cuyas peculiaridades son agentes de la estética y técnica musical propias del siglo en el que terminó de formarse. Con las sucesivas revoluciones tanto estéticas como tecnológicas del siglo XX, el arte requería un nuevo sistema en el que moverse. Primero con la definición de una multiplicidad de caminos posibles y válidos y luego con la desterritorialización absoluta de cualquier “camino a seguir”, es decir, una anarquía en cuanto a validez estética o artística. Esto hace que el instrumento musical en sí quede en una posición incómoda al tener unas limitaciones propias que las nuevas formas de crear música, el sonido electrónico por ejemplo, superan con creces. Esta situación hace necesario un replanteamiento de la naturaleza y las posibilidades del instrumento.

Dentro de toda esta atmósfera de cambios y nuevas necesidades, el compositor norteamericano John Cage tomó el piano como base para crear un instrumento con una capacidad sonora nueva y fresca que se acomodaba perfectamente a las necesidades creativas del momento: el piano preparado.

Existen diversos precedentes de compositores que intervinieron o modificaron el sonido convencional del piano: Erik Satie en *Le Piège de Meduse* (1913) usaba hojas de papel entre las cuerdas, Maurice Delange imitaba los tambores indios en su *Ragamalika* (1914) mediante trozos de cartón bajo una cuerda para silenciar o *mutear* el sonido o Hector Villa-Lobos en *Chôros* (1925) introduciendo entre las cuerdas y los apagadores trozos de papel. A pesar de ello, estas composiciones no estaban escritas para “piano preparado” pues simplemente se modificaba el timbre del instrumento para conseguir un recurso sonoro, pero las intervenciones no estaban concebidas como la base de un nuevo instrumento. Henry Cowell durante la década de los años veinte escribió una serie de piezas –*Aeolian Harp* (1923) y *Banshee* (1925)– en las que se indicaba al intérprete que debía tocar dentro del piano tañendo, acariciando, raspando

y *muteando* las cuerdas. Estas nuevas formas de tocar no representaban más que una serie de nuevas técnicas pianísticas o extendidas, el piano seguía siendo el mismo instrumento. John Cage, de forma no intencional, fue el primero en tratar el piano preparado como un instrumento en sí, como una nueva creación. La forma en la que el piano preparado se constituyó como tal es bien conocida:

Antes de dejar la Cornish School desarrollé el piano preparado. Necesitaba instrumentos para componer la música que iba a acompañar una coreografía de carácter africano de Sevilla Fort. El problema era que el teatro donde se representaba no tenía ni bastidores ni foso. Solo había un piano de cola situado en el frente izquierdo del público. En esa época escribir música con series dodecafónicas o música para percusión [...] al final pensé en modificar el sonido del piano. Empecé a poner distintos objetos entre las cuerdas. El piano se transformó en una orquesta de percusión con el volumen, digamos, de un clave. (Cage, 1990)<sup>1</sup>.

## 1. El Piano Preparado: Una aproximación físico-acústica

### 1.1. Descripción general: El sistema de funcionamiento mecánico heredado del piano

El piano, base para la creación del piano preparado, es un instrumento complejo. Para obtener una visión completa y sintética de su estructura es preciso dividir sus componentes en función de su labor, a saber: resonadores, percusores o vibratorios (Burred, 2004).

Los elementos que se encargan de las funciones resonadoras son la caja de resonancia, la tabla armónica, los puentes y el bastidor. El mecanismo de percusión se

---

<sup>1</sup> “Before I left Cornish School I made the prepared piano. I needed percussion instruments for music for a dance that had an African character by Syvilla Fort. But the theatre in which she was to dance had no wings and there was no pit. There was only a grand piano built in the front and left of the audience. At the time, I either wrote twelve-tone music for piano, or I wrote percussion music [...] I finally realized I had to change the piano. I did so by placing objects between the strings. The piano was transformed into a percussion orchestra having the loudness, say, of a harpsichord”.

sitúa en la zona del teclado y sus componentes principales son las teclas, los martillos y los apagadores.

Los elementos que producen la vibración son las cuerdas. Dependiendo de la frecuencia del sonido éstas tienen un tamaño, longitud y diámetro diferente. Todas las cuerdas tienen un componente común: el acero. Las cuerdas más graves están entorchadas, revestidas por hilos de cobre. Conforme va aumentando la frecuencia del sonido, el diámetro y la longitud de la cuerda es menor.

## **1.2. Descripción particular: Las cuerdas, elementos de vibración**

### **1.2.1. Precedente al análisis e interpretación espectrográfica del piano preparado**

Los instrumentos cordófonos funcionan de manera que una cuerda con una masa determinada está en equilibrio bajo la acción de una tensión determinada, ésta se sostiene en unos puntos de apoyo, la clavija y el cordal, en términos acústicos, nodos. Al ser perturbado el equilibrio de la cuerda se genera una onda (incidente), la cual al reflejarse en el extremo opuesto origina una segunda onda (reflejada). Ambas ondas coinciden en todos sus parámetros (longitud, frecuencia, amplitud y periodo). La oscilación de la cuerda es una superposición de ambas ondas. Este tipo de ondas se las conoce como ondas estacionarias.

La cuerda tiene una serie de frecuencias a las que puede vibrar como onda estacionaria llamadas frecuencias o modos propios. La frecuencia más baja a la que puede vibrar se le denomina frecuencia fundamental, le siguen el primer parcial, el segundo, el tercero, etc. Las frecuencias de resonancia, los armónicos o parciales, con los que vibrará la cuerda dependen del desplazamiento inicial de ésta en la pulsación. Siguiendo este razonamiento y atendiendo al teorema de Fourier es posible descomponer la vibración de la cuerda en sus diferentes armónicos (Mora, 2012).

En el piano la longitud de la cuerda completa no es la longitud de la cuerda que vibra. De hecho, la *longitud efectiva*, la que determina la frecuencia, se manifiesta desde

el agrafe hasta el puente en las cuerdas 1-54 y entre la barra *Capo d'astro* y el puente en las cuerdas 55-88 (Burred, 2004).

Las cuerdas tienen una mayor rigidez al estar sometidas a una gran presión en el piano. La principal consecuencia de ello es que las ondas sonoras no se propagan a la misma velocidad, sino que ésta depende de la frecuencia a la que vibre la cuerda. Por tanto, los armónicos más agudos se propagarán a una mayor velocidad que la frecuencia fundamental o los armónicos más graves. Este hecho se puede observar fácilmente en el eje horizontal de los espectrogramas ya que los armónicos superiores tienen una vida más corta que los inferiores. Este efecto se conoce como inarmonía.

Así pues, la relación entre los armónicos –modos de vibración de la cuerda– y la frecuencia fundamental ya no es tan clara. En términos matemáticos, éstos armónicos ya no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. En el piano la inarmonía se traduce como una tendencia de desviación con respecto a la frecuencia teórica o ideal de los armónicos más agudos. Por ejemplo, el décimo armónico tiene una desviación de un tercio de semitono (Burred, 2004, pp. 22-25).

En los registros centrales la desviación es mínima, siendo más acusada en los registros extremos (graves y agudos). En las cuerdas graves, uno de los principales motivos de estas desviaciones en la afinación es el entorchado, ya que el cobre produce reflexiones adicionales de la onda cerca de los nodos. En el registro agudo, el problema reside en la corta longitud de las cuerdas y la gran tensión que soportan.

Otro de los motivos por los que en el espectro no se perciben los armónicos donde teóricamente deberían estar es el efecto de doble caída. Al ser un instrumento en el que la cuerda vibra de manera libre, la envolvente –evolución temporal de la amplitud del sonido– cae conforme la cuerda va perdiendo energía. Estudios realizados en los años 40 (Martin, 1947) arrojaron resultados reveladores en cuanto a que la fase de ataque en los sonidos es casi instantánea, similar al funcionamiento de los instrumentos de percusión. Se observó, además, dos fases en la caída del sonido: la primera, con una pendiente de caída mayor, se llamó sonido inmediato y a la segunda, que presentaba una pendiente de caída más suave, *sonido de resonancia*. La doble caída

es una característica casi única del piano dentro del conjunto de todos los instrumentos musicales (Burred, 2004).

Gabriel Weinrich (1979) dio el paso definitivo en la investigación de esta cuestión. Sus conclusiones fueron que el principal motivo de este suceso tenía su origen en la utilización de dobles y triples cuerdas para las distintas alturas del piano. Es prácticamente imposible una afinación perfecta entre las cuerdas, además, estudios demostraron que ciertas desafinaciones en el piano eran más aceptadas por el público, haciendo de este hecho algo característico de la tímbrica del instrumento. (Campbell, Greated 1987). Estas desafinaciones contribuyen a que la segunda fase de caída sea la causa por la cual el piano pueda mantener los sonidos durante un tiempo prolongado. Además, estos batidos producidos por las *pequeñas desafinaciones* aportan mayor riqueza a su timbre.

Al introducir objetos entre las cuerdas, la vibración natural característica del piano se verá perturbada. A partir de los análisis espectrográficos podremos observar cuáles son las características acústicas propias de este nuevo instrumento.

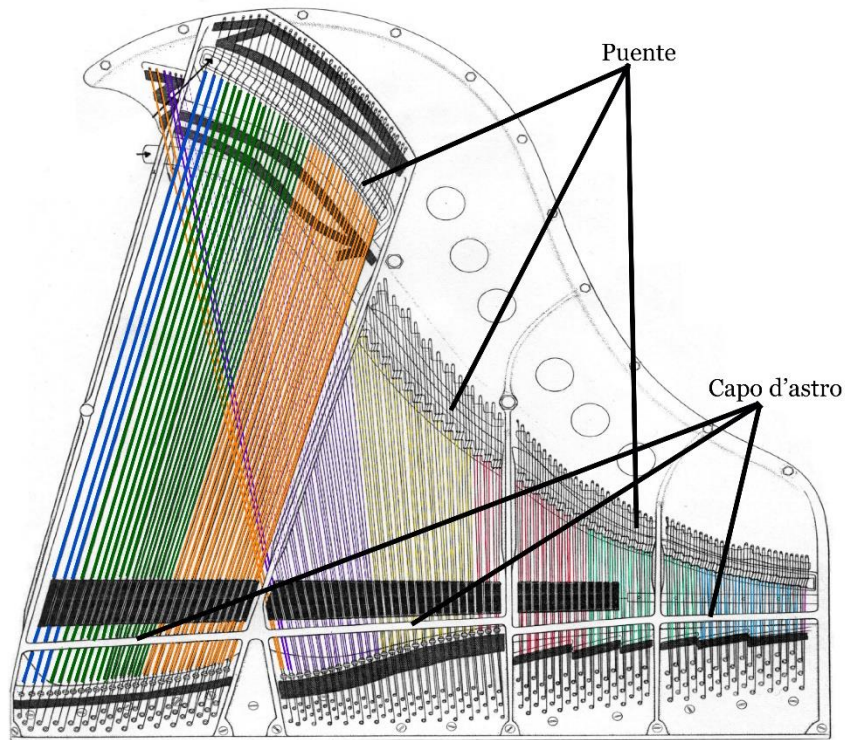
### **1.2.2. Demarcaciones físicas: desarrollo de sistemas de medición acústicos**

A la hora de elaborar una imagen acústica del piano preparado no sólo es necesario conocer teóricamente su comportamiento, si no que se hace necesario el desarrollo de ciertos *mapas de orientación métricos* del cordal, tomando como puntos de referencias las zonas en las que se encuentran los armónicos parciales de cada una de las cuerdas.

En términos generales, este plano no es muy funcional ya que cada modelo de piano tiene unas dimensiones estructurales y longitudes diferentes. En este estudio se ha proseguido con el desarrollo de esta idea siendo conscientes de estas limitaciones ya que este plano supone un complemento visual y necesario para el análisis. La estructura del piano, en concreto la disposición de las cuerdas descrita con más detalle en epígrafes



posteriores, está dividida en varios registros (Burred, 2004). El modelo que se utilizará para realizar este mapa es un piano Kawai KG-3 con una longitud de 1.81 metros.



**Ilustración 1.** Piano vista general. Cuerdas divididas por registros

Ante la necesidad de unos resultados precisos no es conveniente una medición directa de las cuerdas con algún tipo de instrumento manual pues la exactitud a nivel milimétral es necesaria. Por ello, para esta investigación, se diseñó un dispositivo de medición láser adaptado a las necesidades particulares.

El dispositivo posee una estructura bastante simple: un microcontrolador (Arduino UNO), unos cables de conexión y un sensor Sharp GP2Y0AO2YKOF. Éste es un sensor de distancia óptico compuesto por un LED infrarrojo junto con un dispositivo detector de posición y un procesador integrado encargado de realizar el cálculo de la distancia.

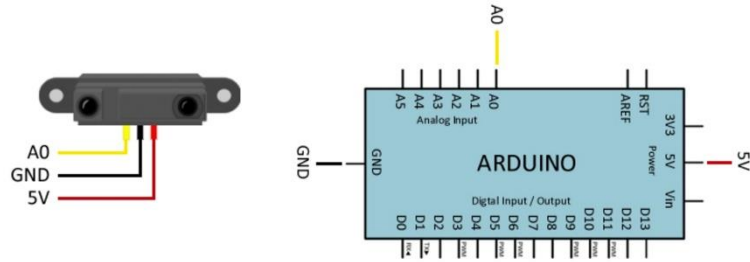


Ilustración 2. Detalle del sensor y el microcontrolador

El funcionamiento es sencillo: El sensor detecta de forma continua los objetos ubicados frente de sí y proporciona la salida mediante una referencia de tensión analógica, así el microcontrolador Arduino UNO puede leer las distancias tomadas por el sensor. Para que el Arduino pueda traducir e interpretar los datos transmitidos por el sensor es preciso desarrollar un código. Los resultados obtenidos en estas mediciones se han organizado mediante tablas en las que se muestran las longitudes totales de las cuerdas y el lugar aproximado en el que están los distintos nodos o modos propios de cada una de las cuerdas.

Nº	Alt.	LT	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
5	C#1	1.1654	0.5827	0.3884	0.2913	0.2331	0.1942	0.1665	0.1457	0.1295	0.1165
6	D1	1.1546	0.5773	0.3849	0.2886	0.2309	0.1924	0.1649	0.1443	0.1283	0.1155
7	D#1	1.1479	0.5739	0.3826	0.2970	0.2296	0.1913	0.1640	0.1435	0.1275	0.1148
18	D2	101,65	50,82	33,88	25,41	20,33	16,94	14,52	12,70	11,29	10,16
30	D3	0.9330	0.4665	311	0.2332	0.1866	0.1555	0.1333	0.1166	0.1037	0.0933
35	G3	0.7974	0.3987	0.2658	0.1993	0.1595	0.1329	0.1139	0.0997	0.0886	0.07974
36	G#3	0.7670	0.3835	0.2557	0.1917	0.1534	0.1278	0.1096	0.0958	0.0852	0.0767
37	A3	0.7261	0.3630	0.2420	0.1815	0.1452	0.1210	0.1037	0.0907	0.0807	0.0726
38	A#3	0.6927	0.3463	0.2309	0.1731	0.1385	0.1154	0.0989	0.0865	0.0770	0.0692
39	B3	0.6431	0.3115	0.2144	0.1607	0.1286	0.1072	0.0919	0.0803	0.0714	0.0643
40	C4	0.5949	0.2974	0.1983	0.1487	0.1190	0.0099	0.0849	0.0744	0.0661	0.0549
41	C#4	0.5615	0.2807	0.1871	0.1403	0.1123	0.0936	0.0802	0.0739	0.0657	0.0591
42	D4	0.5334	0.2667	0.1778	0.1333	0.1067	0.0889	0.0762	0.0667	0.0591	0.0533
43	D#4	0.5045	0.2522	0.1682	0.1261	0.1009	0.0840	0.0721	0.0630	0.0560	0.0504
47	G4	0.4097	0.2048	0.1366	0.1024	0.0819	0.0683	0.0585	0.0512	0.0455	0.0410
48	G#4	0.3913	0.1956	0.1304	0.0978	0.0783	0.0652	0.0559	0.0489	0.0435	0.0391
50	A#4	0.3521	0.1760	0.1174	0.0880	0.0702	0.0587	0.0503	0.0440	0.0391	0.0352
52	C5	0.3215	0.1607	0.1071	0.0804	0.0643	0.0536	0.0459	0.0402	0.0357	0.0321
53	C#5	0.3074	0.1537	0.1025	0.0768	0.0615	0.0512	0.0439	0.0384	0.0341	0.0307

Ilustración 3. Primera página del libro de datos con las medidas de las cuerdas y la posición de sus nodos

### 1.2.3. ¿Dimensiones propias del piano preparado?

La experiencia en la construcción acústica de un piano preparado siguiendo unas instrucciones descriptivas ha demostrado que las dimensiones y la estructura interna del instrumento son determinantes a la hora de su diseño sonoro. Todas las distancias que se especifiquen en estas instrucciones han de tomarse como *distancias relativas*, debido a la enorme cantidad de variaciones que podemos encontrar en los diversos modelos de pianos.

Desde nuestra experiencia personal, el modelo de piano más práctico para la construcción de un piano preparado es el de media cola (1.80 metros aproximadamente). Con tamaños superiores, 3/4 (2.40 metros) o gran cola (2.70 metros), la estructura del bastidor dificulta el acceso a algunas de las zonas de los principales armónicos de las cuerdas del registro central y se percibe una sonoridad menos definida y más imprecisa que con modelos de menor tamaño. En los pianos de

cola más pequeños (1.30 metros) también se encuentran ciertos problemas ya que algunas cuerdas no tienen la suficiente longitud para ser preparadas y obtener resultados satisfactorios (Bunger, 1973).

Se conoce, de hecho, que el piano que utilizó Cage en sus primeras preparaciones fue un Steinway tipo "O" baby grand piano (Vandré, 1996). Este piano tiene una medida aproximada de 1.80 metros, igual que los pianos de media cola convencionales. Razones históricas y germinales como ésta, además de la practicidad que proporcionan estos modelos, fueron suficientes para fijar estas dimensiones como prototípicas del piano preparado en esta investigación.

## **2. Materiales de la preparación, materiales de construcción**

Tomando el trabajo de Cage como referencia y observando la comparativa general de los materiales utilizados en las preparaciones de todas sus piezas para piano preparado<sup>2</sup> nos percatamos de que conforme va avanzando el tiempo, los materiales van cambiando. Esto nos hace suponer que al fin y al cabo, la construcción acústica de un piano preparado responde a un proceso continuo de búsqueda y experimentación. Asimismo, advertimos que algunos materiales (los situados más hacia la izquierda) se mantienen con el tiempo, lo cual hace pensar que las primeras preparaciones le sirvieron a Cage como base para las de obras posteriores.

---

<sup>2</sup> Dicha comparativa figura como elemento anexo a esta investigación.

Año	Pieza	NP	Materiales																																					
			ws	sb	sn	p	lb	ss	ls	b	s	bo	hs	pn	lab	mb	br	r	sl	rr	w	c	we	bn	py	bb	rw	tb	nr	sm	tyb	e	ob	sha	h	fb	se	stb	cs	ub
1938	Bacchanale	12	x	x	x																																			
	Totem Ancestor	11	x	x	x																																			
1942	And the Earth Shall Bear Again	23	x			x	x	x	x	x																														
	Primitive	11							x	x	x																													
1943	In the Name of the Holocaust	10							x	x	x																													
	Our Spring Will Come	17		x						x	x	x	x																											
1944	A Room	6	x						x						x	x	x	x	x																					
	*She is asleep																																							
1945	*Amores	16							x	x																														
	Four Dances (What so proudly we hail)																																							
1946	Tossed as It Is Untroubled	8	x					x	x																															
	Prelude for Meditation???																																							
1947	Root of an Unfocus	8	x					x			x	x																												
	Spontaneous Earth	12	x					x		x	x	x	x			x																								
1948	The Unavailable Memory Of	5	x									x																												
	Triple-Placed n.2	24																																						
1949	The Perilous Night	26	x	x	x					x	x	x																												
	A Valentine Out of Season	8	x						x			x	x																											
1950	*A Book of Music																																							
	Mysterious Adventure	27			x	x				x	x																													
1951	*Three Dances																																							
	Daughters of the Lonesome Isle	39	x					x			x	x																												
1946	[Inicio Sonatas and Interludes]																																							
1947	Music For Marcel Duchamp	8	x	x																																				
1948	Sonatas and Interludes	45	x	x	x	x	x				x	x																												
1950	Works of Calder	36	x	x							x	x	x																											
1951	*Concerto for prepared piano and orchestra																																							
1951	Two Pastorales	7																																						
1954	34'46.776"																																							
	31'57.9864																																							

Ilustración 4. Detalle de la comparativa general de preparaciones.

La cantidad de materiales distintos que se pueden utilizar para la creación acústica de este instrumento son infinitos. En esta investigación se tomaron como referencia los materiales más representativos del carácter tímbrico de las *Sonatas e Interludios* de John Cage, ya que tanto la obra como el autor representan una referencia absoluta en el mundo del piano preparado. Los materiales, atendiendo a su composición, los podemos dividir en varios grupos: metal, goma y plástico.

### 3. Análisis espectral comparativo. Selección 3

#### — Metal I: Tornillo

Bajo la denominación de *Screw*, tornillo, tenemos 12 objetos descritos en las instrucciones de preparación de las *Sontas e Interludios*. La mayoría son nombrados simplemente como screw (tornillo) con la especificación del calibre (grosor) y la longitud. Dentro de éstos, la gran mayoría son del tipo *Flat head iron wood screw*, unos tornillos utilizados para fijar madera con la cabeza plana<sup>4</sup>. Su tamaño y calidad están regulados por unas normas (DIN-97) y poseen una rosca que ocupa 3/4 del cuerpo. El material con el que están hechos puede variar notablemente (acero dulce, acero inoxidable, latón, cobre, bronce, aluminio) y pueden estar galvanizados, niquelados, bicromatados, etc.

Para ejemplificar la perturbación que produce este tipo de tornillos en la vibración de una cuerda, se ha tomado un tornillo de 5 cm de longitud y 3,5 cm de diámetro (catalogado como S10). La cuerda a preparar en este caso será la correspondiente al sonido fa<sup>5</sup>.

El sistema que produce el sonido fa<sup>5</sup> en el piano está constituido por tres cuerdas de acero de una longitud aproximada de 25,62 cm cada una. Siguiendo la teoría de generación de armónicos o parciales obtendríamos el siguiente mapa de orientación<sup>5</sup>:

Nº	Alt.	LT	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
57	F5	25.62	12.81	8.54	6.40	5.12	4.27	3.66	3.20	2.84	2.56

Ilustración 5. Detalle del mapa de orientación de la cuerda fa5

<sup>3</sup> Por motivos prácticos y de extensión, el análisis se centrará en un tipo de material concreto de cada una de las categorías expuestas anteriormente.

<sup>4</sup> Comúnmente conocidos en España como tirafondos.

<sup>5</sup> Las medidas especificadas están en centímetros.

En el espectro de la altura  $fa^5$  sin preparar, la frecuencia fundamental se encuentra aproximadamente a unos 689,944 Hz. Encontramos el primer armónico de su serie natural ( $fa^6$ ) a 1384,28 Hz y el segundo ( $do^7$ ) a 2089,82 Hz... Si se comparan con detenimiento las frecuencias a las que están los distintos parciales de este sonido fundamental y los comparamos con la frecuencia a la que teóricamente deberían encontrarse, vemos con toda claridad cómo se produce el fenómeno de la inarmonía (desviación de la altura de los armónicos superiores). El efecto de la doble caída es fácilmente reconocible en un espectro si nos fijamos en la intensidad de color y la longitud de cada uno de los parciales.

Frecuencia fundamental			Armónico 1			Armónico 2			Armónico 3			Armónico 4			Armónico 5			Armónico 6			Armónico 7			Armónico 8			Armónico 9			Armónico 10		
Altura	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real	Alt.	Ideal	Real
F	689,944	689,944	F <sup>6</sup>	1384,28	1384,28	C <sup>7</sup>	2089,82	2089,82	F <sup>7</sup>	2789,82	2789,38	A <sup>7</sup>	3520,00	3534,5	C <sup>8</sup>	4350,01	4374,84	Eb <sup>8</sup>	5178,04	5245,27	F <sup>8</sup>	6077,66	6219,71	G <sup>8</sup>	7020,00	7219,82	A <sup>8</sup>	8040,00	8340,00	B <sup>8</sup>	9120,00	9540,00

**Ilustración 6.** Detalle de los resultados obtenidos en el espectrograma de la altura  $fa^5$  sin preparar.

Una vez reconocidas las características del sonido que vamos a modificar se procede a insertar el tornillo, del tipo *S10*, siguiendo las instrucciones de la pieza de Cage<sup>6</sup>. El tornillo se inserta a una distancia de 5,873 cm (2 5/16 pulgadas). Tomando de nuevo como referencia el mapa de orientación anteriormente expuesto, observamos que este tornillo está situado en la zona de acción del 4º parcial, correspondiente a la altura  $la^7$ .

En el espectro de la altura sin preparar este armónico, que teóricamente debería estar a unos 3.520 Hz, se encuentra realmente a 3.534,5 Hz, lo cual nos da una desviación de +14,5 Hz. Esto, por tanto, afecta a la zona en la que se produce dicho armónico, así que si teóricamente el nodo que produce el parcial  $la^7$  está a unos 5,12

<sup>6</sup> Para más información consultar las preparaciones anexas a la edición de las piezas en Cage, John: *Sonatas and Interludes*. No. 6755. Ed. Peters. Leipzig: 1993.



cm, teniendo en cuenta esta desviación lo encontraremos a unos 4,99 cm (una diferencia de -0,13 cm).

Tomando como referencia dicho parcial, se procede a determinar qué altura es la predominante en la zona en la que está situado el tornillo. Si S10 se coloca a unos 5,873 cm del inicio de la cuerda (desde los apagadores), la frecuencia en esa zona es de 3007,51 Hz correspondiente a la altura fa#<sup>7</sup>. La altura de la zona donde está el tornillo no pertenece a la serie natural de parciales de la frecuencia fundamental, luego diremos que está en una zona de armónico no natural.

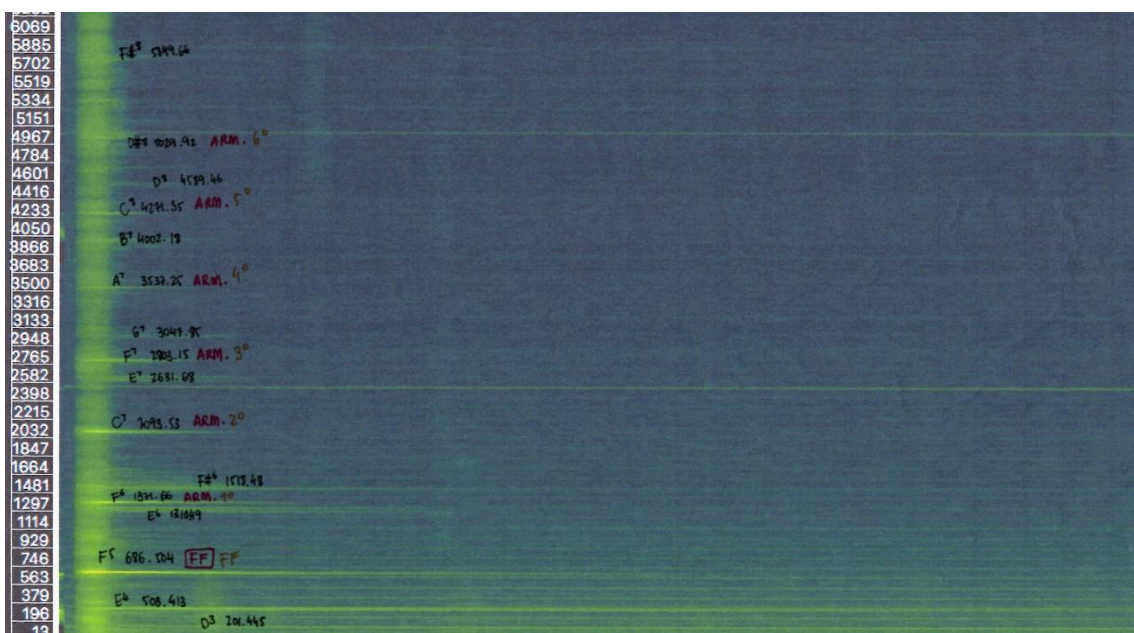


Ilustración 7. Detalle del espectro de la altura fa5 preparada

Al analizar el espectro de esta altura preparada, observamos las siguientes características:

- Pérdida acusada de parciales superiores. El último parcial que se detecta es el 6º: re#<sup>8</sup>.
- Producción de armónicos complementarios, no naturales: mi<sup>6</sup>, mi<sup>7</sup>, sol<sup>7</sup>...
- Producción de armónicos no naturales más graves que la frecuencia fundamental: re<sup>3</sup>, mi<sup>4</sup>.



Tras realizar un análisis similar de otras alturas<sup>7</sup>, también preparadas con este tornillo S10, no se observan patrones comunes de producción de nuevos armónicos de forma concluyente. En todos los casos se da una producción de armónicos complementarios significativa y de frecuencias más bajas que el sonido fundamental, además de una pérdida de los parciales superiores.

F	4919.244	1043.291	Armónico 1			Armónico 2			Armónico 3			Armónico 4			Armónico 5			Armónico 6			Armónico 7			Armónico 8			Armónico 9			Armónico 10		
			Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P
			F <sup>5</sup>	4919.244	1043.291		C <sup>7</sup>	2019.92	4039.83	F <sup>7</sup>	2786.36	4783.05	A <sup>7</sup>	3234.5	3237.01	C <sup>8</sup>	4244.84	4277.05	D <sup>#8</sup>	4646.27	4689.04	F <sup>8</sup>			G <sup>8</sup>			A <sup>8</sup>			B <sup>8</sup>	
Armónico a			Armónico b			Armónico c			Armónico d			Armónico e			Armónico f			Armónico g			Armónico h			Armónico i								
Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P	Alt.	NP	P			
D <sup>5</sup>		2019.442	E <sup>5</sup>		3029.163	E <sup>5</sup>		4038.884	E <sup>7</sup>		4783.04	G <sup>7</sup>		5527.162	B <sup>7</sup>		6271.284	D <sup>8</sup>		7015.406	F <sup>#8</sup>		7759.528									

Ilustración 8. Detalle de los resultados de la altura F5 preparada

Si tenemos en cuenta la colocación del tornillo en cada caso (5,783; 4,603; 4,762 y 4,286 cm respectivamente) se percibe que ésta parece depender de la frecuencia de la altura que se prepare; pues a menor frecuencia (en este caso sería la altura fa<sup>5</sup>), mayor es la distancia del tornillo respecto a los apagadores. Realizando los cálculos para delimitar en que zona de acción está el tornillo situado en cada una de las cuerdas no se encuentran tampoco coincidencias concluyentes (fa<sup>5</sup>: fa<sup>#7</sup>, no natural. mi<sup>6</sup>: do<sup>8</sup> –12º parcial–. la<sup>#6</sup>: la<sup>#7</sup> –1º parcial–. do<sup>#7</sup>: sol<sup>#7</sup> –2º parcial–).

#### — Metal II: Pernos

Los pernos, *bolts*, están hechos de acero o hierro. Son tornillos que tienen la cabeza redonda, una zona del cuerpo lisa y otro extremo con rosca. Son utilizados para sujetar piezas en estructuras (generalmente metálicas). El perno que vamos a analizar, clasificado como B5, tiene una longitud de 3,5 cm y un calibre del 1 ½. El perno se ha insertado en las cuerdas pertenecientes a las alturas re<sup>3</sup>, si<sup>4</sup> y do<sup>5</sup>. Para mostrar con más detalle lo que sucede a nivel espectral, tomaremos como ejemplo el caso de la altura si<sup>4</sup>.

<sup>7</sup> fa<sup>5</sup>, mi<sup>6</sup>, la<sup>#6</sup> y do<sup>#7</sup>

Nº	Alt.	LT	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
51	B4	34,44	17,22	11,48	8,61	6,88	5,74	4,92	4,30	3,82	3,44

Ilustración 9. Detalle del mapa de orientación de la cuerda B4

En este caso, el sistema de  $si^4$  está formado por tres cuerdas de acero con una longitud de 34,44 cm aproximadamente. De forma análoga al ejemplo anterior ( $fa^5$ ), el espectro de la altura sin preparar nos muestra el comportamiento acústico típico del piano. En este caso, la frecuencia fundamental ( $si^4$ ) está a unos 480,959 Hz; un poco más baja de lo que teóricamente debería estar (493,883 Hz).

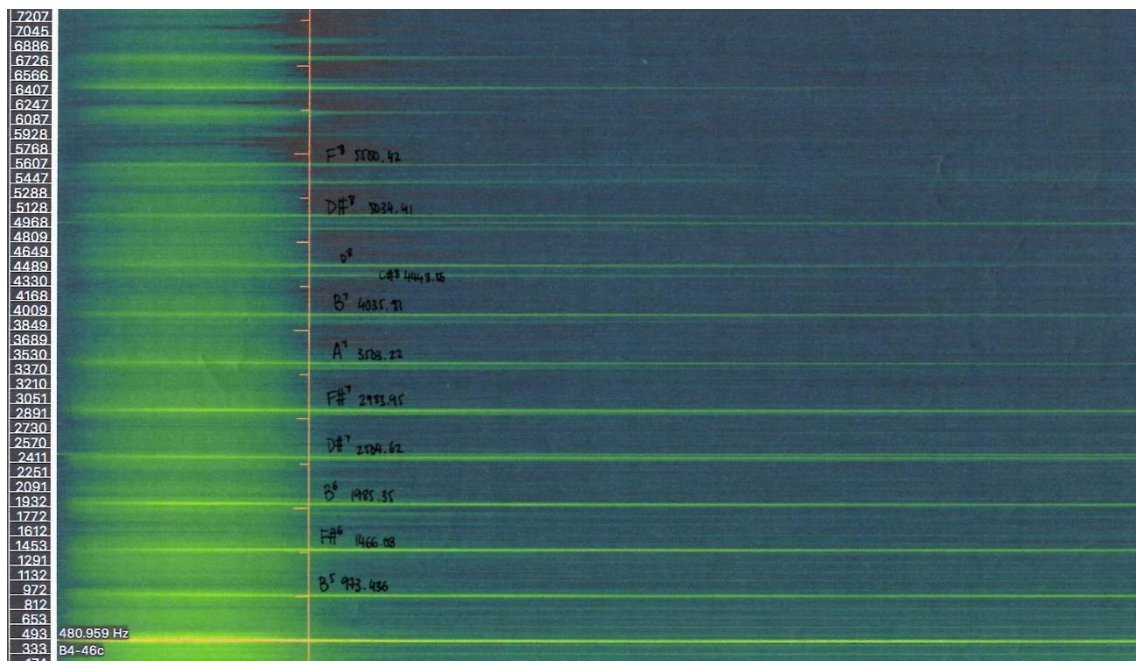


Ilustración 10. Detalle del espectro de altura B4

El perno se ha de insertar a 5,08 cm entre las cuerdas 2-3. El parcial natural más cercano es el sexto ( $la^7$ ) cuyo nodo se encuentra a unos 4,92 cm de la cuerda. La frecuencia teórica de este parcial es de 3.520 Hz y la real de 3.503,22 Hz. así que tenemos una diferencia de afinación de -16,78 Hz. Esta diferencia hace que realmente el nodo de este armónico este a unos -0,2 cm, es decir a 4,72 cm.

Tomando como referencia estos datos podemos ver qué frecuencias son las que se activan en la zona donde está el perno. A unos 5,08 cm aproximadamente obtenemos sonidos con frecuencias cercanas a los 3.260,67 Hz., correspondiéndose con la altura sol#<sup>7</sup>. Esta altura no pertenece a la serie natural de la frecuencia fundamental de la cuerda, por lo que diremos que el perno está situado en una zona de un armónico *no natural*.

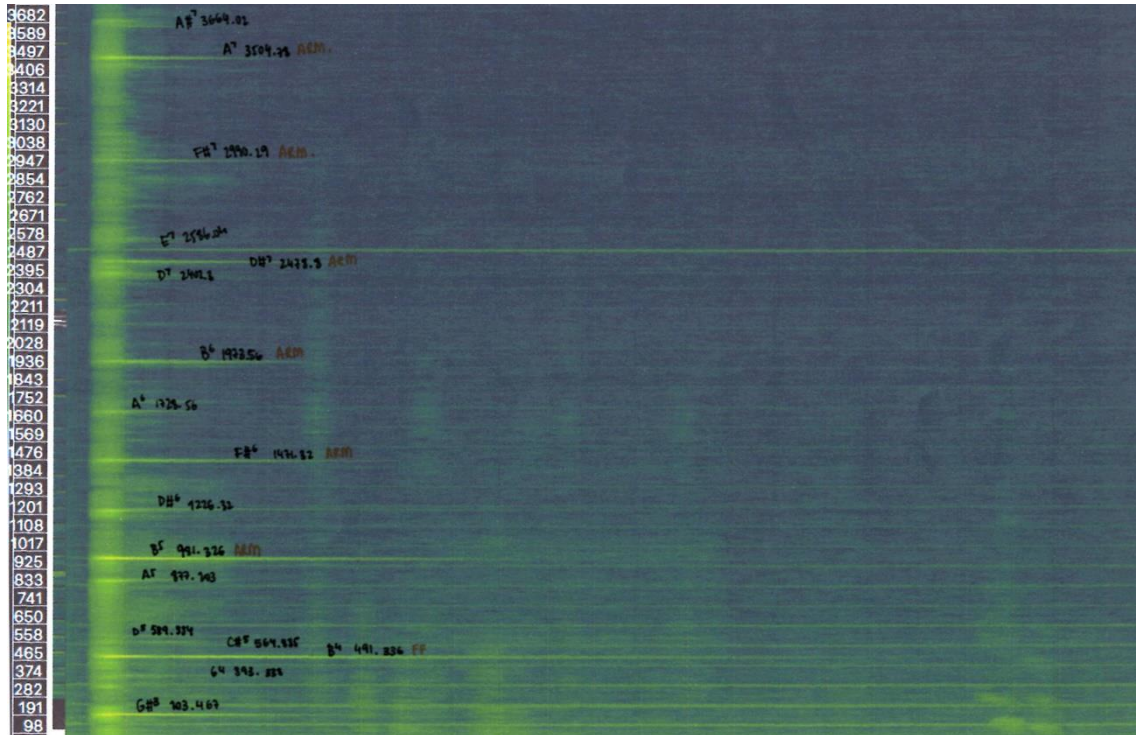


Ilustración 11. Detalle del espectro de altura B4 preparada

Al contrario que el caso anterior, al analizar detenidamente el espectro de la altura preparada con el perno observamos que los armónicos *naturales* de la frecuencia fundamental no se han perdido. Llama la atención la presencia de nuevas frecuencias que no pertenecen a la serie natural: sol#<sup>3</sup>, sol<sup>4</sup>, do#<sup>5</sup>, re<sup>5</sup>, la<sup>5</sup>, re#<sup>6</sup>, la<sup>6</sup>, re<sup>7</sup>, mi<sup>7</sup>, etc.

Algunas de estas nuevas frecuencias pertenecen a la serie armónica natural de la zona donde está colocado el perno (sol#<sup>7</sup>). Si nos fijamos en la frecuencia *no natural* más grave del espectro (sol#<sup>3</sup>) y pensamos en su serie armónica natural obtenemos la siguiente secuencia de parciales: sol#/sol#/re#/sol#/si#/re#/fa#/sol#/la#/si#/re/re#/mi/fa#/sol/sol#/...

Muchas de las nuevas frecuencias que aparecen en el sonido preparado pertenecen a esta serie armónica por lo que podríamos pensar que el perno al vibrar también crea una nueva frecuencia fundamental con sus parciales. Basándonos en este supuesto hecho, los parciales que encontramos en el espectrograma se clasificarían en tres grupos: Armónicos comunes a la altura de la cuerda y a la zona de colocación del perno –re<sup>#6</sup> (cuarto parcial en la secuencia de si<sup>4</sup>, segundo en la de sol<sup>#3</sup>) y la<sup>#7</sup> (decimocuarto parcial en si<sup>4</sup>, octavo en la de sol<sup>#3</sup>)–, armónicos propios de si<sup>4</sup> –sol<sup>4</sup> (duodécimo parcial) y do<sup>#4</sup> (octavo parcial)– y armónicos propios de la serie armónica de la zona de inserción del perno –sol<sup>#3</sup> (como frecuencia fundamental), re<sup>7</sup> (décimo parcial) y mi<sup>7</sup> (duodécimo parcial).

Desde un punto de vista más general, y atendiendo a los resultados de las tres cuerdas que están preparadas con este perno en la obra de Cage (re<sup>3</sup>, si<sup>4</sup> y do<sup>5</sup>)<sup>8</sup>, vemos que la su posición depende directamente la altura de la cuerda en la que se inserta, pues a mayor altura mayor es la distancia del objeto con respecto a los apagadores (1,76 cm; 5,08 cm y 18,90 cm respectivamente). De igual forma, si comparamos los tres espectrogramas vemos que en el espectro de do<sup>5</sup> tiene una producción menor de armónicos no naturales que si<sup>4</sup> y re<sup>3</sup>, por lo que podríamos decir que mientras más alejado esté el perno de los apagadores menor será la producción de nuevas frecuencias.

Es necesario, por otra parte, estudiar si esta mayor o menor producción de frecuencias atiende solamente a la distancia del perno con respecto a los apagadores o si también influye si éste está insertado cerca de un nodo perteneciente a la serie natural de la cuerda o no. En re<sup>3</sup>, el primer caso, el perno está a 1,76 cm. A esta zona le corresponde la altura do<sup>#9</sup>, unos 8.631,51 Hz. aproximadamente. Esta altura sí que pertenece a la serie natural de parciales de re<sup>3</sup> luego está en una zona de armónico natural. En si<sup>4</sup>, hemos visto que el perno se encuentra en una zona cercana a sol<sup>#7</sup>, no natural. Por último, en do<sup>5</sup>, el perno está insertado a una distancia de 18,90 cm, zona correspondiente a la altura de la<sup>5</sup> (895,64 Hz aproximadamente), parcial no natural.

---

<sup>8</sup> Para más información consultar las preparaciones anexas a la edición de las piezas. Cage, J. *Sonatas and Interludes*. No. 6755. Ed. Peters. Leipzig: 1993.

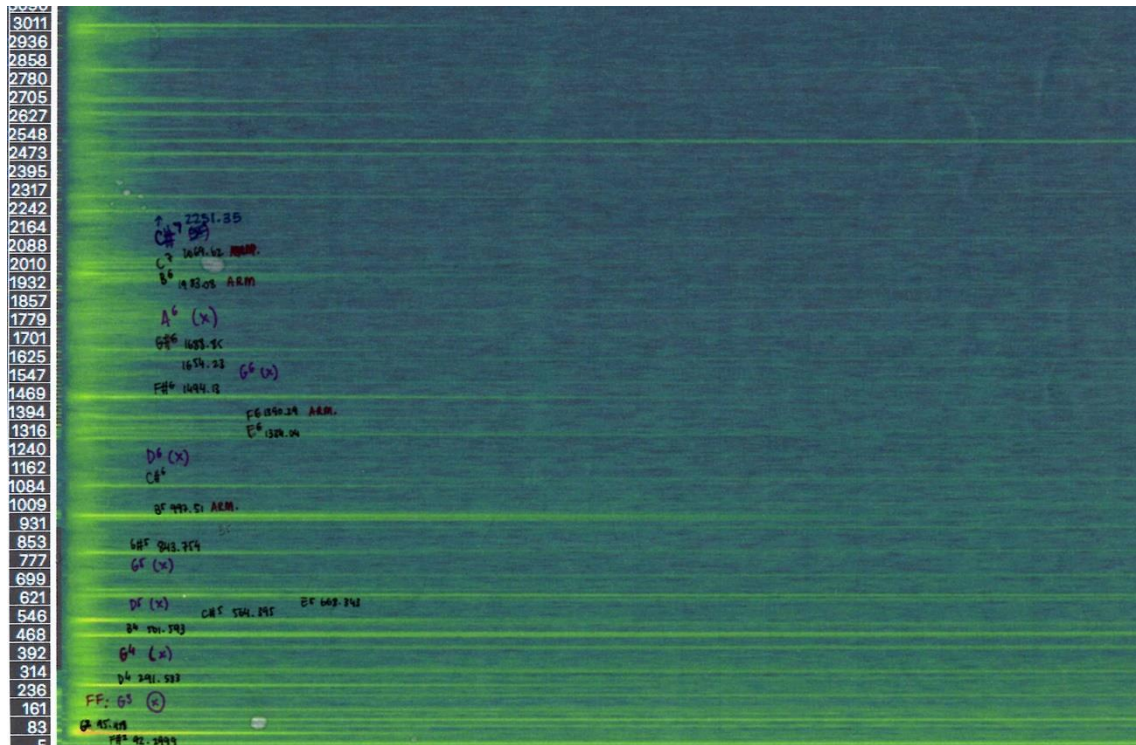
Con los datos obtenidos en este análisis comparativo de las tres alturas preparadas con el perno  $si^5$ , se observa que la riqueza armónica del sonido preparado depende, entre otros factores, de la distancia del objeto con respecto a los apagadores y de la zona en la que esté insertado, si la zona pertenece a un parcial de la serie natural habrá una mayor riqueza que si no pertenece a ella.

— Metal: *Caso complejo I*

Para obtener sonidos más complejos, las cuerdas se pueden preparar con más de dos objetos. En este caso se crearía un sistema de preparación más completo y aumentaríamos significativamente las posibilidades de preparación. Como ejemplo representativo de estas preparaciones complejas vamos a tomar el ejemplo propuesto por Cage para la altura  $sol^3$ . En este caso, tenemos un sistema formado por la inserción de dos pernos:  $si^6$  y  $si^7$ .

En la preparación analizada en el epígrafe anterior, la del perno B5 en la altura  $si^4$ , observábamos que había una mayor riqueza de armónicos en el sonido resultante. En este caso, con los pernos B6 y B7 insertados a 8,25 cm y 22,25 cm respectivamente, no sucede lo mismo. Lejos de crear una mayor riqueza, la acción de los dos pernos anula de forma total cualquier característica perceptible de la altura  $sol^3$  en el espectrograma. Si comparamos ambos resultados observamos que en la altura preparada no aparecen ni la frecuencia fundamental ni los parciales 1º, 2º, 3º, 6º, 7º y 8º, obteniéndose un sonido más pobre en intensidad y riqueza armónica, un timbre más cerrado.





**Ilustración 12.** Detalle del espectro de la altura G3 preparada

— Goma I: Goma de Borrarr, *eraser*

En la preparación de las *Sonatas e Interludios*, encontramos dos materiales diferentes compuestos por goma: *Eraser*<sup>9</sup> y *Jar Rubber*<sup>10</sup>. Las alturas  $do^{\#1}$ ,  $re^1$  y  $re^{\#1}$  son las que están preparadas con una goma de borrar (E). En este caso un solo objeto sirve para preparar las tres alturas: la goma ha de estar bajo las cuerdas  $do^{\#1}$  y  $re^{\#1}$ , y sobre la cuerda  $re^1$ .

Estudiando los resultados del análisis de las tres alturas preparadas, observamos que al prepararlas con la goma de borrar hay una reducción significativa de armónicos ya que la goma (*eraser*) absorbe con mucha más facilidad la vibración que la acción del martillo ha causado en la cuerda al bajar la tecla. Las tres alturas pierden su *identidad*

<sup>9</sup> Goma de borrar en castellano.

<sup>10</sup> Goma de gaucho delgada. Estos tipos de gomas los podemos encontrar en botes de vidrio o en las cafeteras tipo italianas.

sonora, ni la frecuencia fundamental ni el primer armónico aparecen, entre otros muchos ausentes.

Tímbicamente lo que se logra conseguir con esta preparación es un sonido más hueco, con una intensidad bastante limitada en la que solo ciertos armónicos son perceptibles. La posición de la goma (sobre la cuerda o bajo ella) influye en la riqueza del sonido. En comparación, re<sup>1</sup> con la goma sobre la cuerda, tiene un sonido mucho más pobre y menos intenso que el de las alturas do<sup>#1</sup> y re<sup>#1</sup>, que tienen la goma bajo su cuerda. Esto ocurre así porque la goma sobre la cuerda ejerce mucha más presión y consigue absorber más energía de la vibración.

— Goma II: Goma delgada de caucho, *Rubber*

Al igual que en el caso anterior, la goma produce una reducción drástica de armónicos, efecto conocido comúnmente como *mute*. Este tipo de goma, que llamaremos R, es más delgada que la del tipo E. En todas las alturas preparadas con este material muchas de las frecuencias fundamentales y de los parciales propios de la altura tienden a no aparecer, lo cual despoja al sonido de cualquier rasgo vinculante con su altura real. La producción de armónicos no naturales también es escasa. Son los armónicos superiores (duodécimo y decimocuarto) los que ven incrementada de forma notable su intensidad.

		Armónico 1			Armónico 2			Armónico 3			Armónico 4			Armónico 5			Armónico 6			Armónico 7			Armónico 8			Armónico 9			Armónico 10			
		AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	
D#3	392.00	D#3	392.00	588.00	A#3	588.00		D#3	588.00	1176.00	G5	1176.00		A#5	1176.00	1764.00	C#6	1764.00	2352.00	D#7	2352.00	2940.00	E#8	2940.00		G7	2940.00		A7	3528.00		
		Armónico a			Armónico b			Armónico a																								
		AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.	AR.	NP.	F.																						
		D#			C#4			E7																								

Ilustración 13. Detalle de los resultados de espectro de la altura D#3 preparada

Los sonidos, al igual que en el caso anterior, tienen una duración corta y una escasa riqueza armónica. Su espectro tiene muchos puntos en común con el espectro de cualquier instrumento idiófono afinado.

— Goma + Metal: *Caso complejo II* (R+P)

Siguiendo las instrucciones de Cage, en la altura  $re^2$ , se han de insertar dos objetos: una goma tipo R (R9) y un tornillo tipo S (S10). Al contrario que en el *caso complejo I*, en lugar de estar insertados en lugares diferentes los objetos forman una preparación sola ya que la goma rodea el vástago del tornillo. El sistema que compone la altura  $re^2$  consta de dos cuerdas entorchadas, por lo que es sencillo insertar y mantener el tornillo con la goma en su posición.

La zona en la que están posicionados es la del octavo parcial,  $mi^5$  (aproximadamente 11,27 cm respecto a los apagadores: 658,81 Hz.). A pesar de que la goma absorbe mucha de la vibración de la cuerda y eso resta riqueza armónica al sonido resultante, al estar en una zona de un *armónico natural* de la serie de  $re^2$ , obtenemos multitud de armónicos pertenecientes a la serie de la altura preparada como de la zona donde está insertado el objeto. Los armónicos que pertenecen a ambas series tienen una mayor intensidad. Debido a la acción de la goma, la frecuencia fundamental y los parciales más graves ( $1^o$ ,  $3^o$ ,  $4^o$ ,  $6^o$ ,  $7^o$ ,  $8^o$  y  $10^o$ ) no aparecen. En contraposición, observamos que los armónicos naturales superiores tienen mayor intensidad ( $10^o$ ,  $12^o$  y  $14^o$ ). Ejemplo de ello es el caso del parcial décimo de la serie de  $re^2$ , correspondiente a la altura  $sol\#^6$ , que pertenece también a la serie de  $mi^5$  como parcial cuarto.

Frecuencia fundamental			Armónico 1			Armónico 2			Armónico 3			Armónico 4			Armónico 5			Armónico 6			Armónico 7			Armónico 8			Armónico 9			Armónico 10		
Altura	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p			
D <sup>2</sup>	66,83	p	D <sup>2</sup>	133,66		A <sup>2</sup>	100,00	100,00	D <sup>3</sup>	200,00		F <sup>2</sup>	150,00	150,00	A <sup>3</sup>	166,67	166,67	C <sup>3</sup>	225,00		D <sup>4</sup>	266,67	266,67	E <sup>3</sup>	300,00		F <sup>4</sup>	333,33	333,33	G <sup>3</sup>	375,00	
			Armónico a	Armónico b	Armónico c	Armónico d	Armónico e	Armónico f	Armónico g	Armónico h	Armónico i																					
			Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p	Ab.	NP	p
			C <sup>4</sup>	441,42		C <sup>5</sup>	882,84		C <sup>6</sup>	1324,26		D <sup>5</sup>	1655,33		A <sup>5</sup>	1833,33		D <sup>6</sup>	2206,67		G <sup>5</sup>	2475,00		E <sup>6</sup>	2775,00		C <sup>6</sup>	3093,75				

Ilustración 14. Detalle de los resultados del espectro de la altura D2 preparada

Además de este comportamiento, volvemos a observar que aparecen frecuencias más bajas que la frecuencia fundamental ( $do^2$  a 66,83 Hz. Aproximadamente). En términos auditivos, el sonido resultante es hueco y con poca



sonoridad, percutido., cercano a los instrumentos membranófonos de altura determinada.

— Goma + Metal: *Caso complejo III (R+P)*

Como último ejemplo se tomará el caso de la preparación de las alturas sol<sup>#3</sup>, do<sup>4</sup> y do<sup>#4</sup>. En ellas encontramos un sistema de preparación complejo superior ya que ésta se compone de tres objetos: dos pernos y una goma.

Resulta obvio pensar que los sonidos resultantes de estas preparaciones tendrán una presencia poco intensa en el espectrograma, muy poca duración. Tímbicamente son puramente percusivos con una sonoridad cercana a la de los instrumentos membranófonos como el djembe. Como referencia para realizar el análisis del comportamiento de este tipo de preparaciones se tomará el caso de la altura sol<sup>#3</sup>.

Los materiales que se utilizan son dos pernos del tipo B (B5 y B3) y una goma del tipo R (R4). Desde el puente hasta los apagadores, el primer objeto que nos encontramos es el perno B5, a unos 18 cm. Teniendo en cuenta la diferencia de afinación real del piano con respecto a la frecuencia ideal de la altura preparada<sup>11</sup> se ha de calcular de nuevo las distancias en las que están los nodos, los parciales naturales, de la cuerda preparada. B5, está a unos 18 cm. La zona de un parcial natural más cercana es la del cuarto armónico, si<sup>#5</sup>, a unos 16,86 cm aproximadamente. Debido a esta diferencia de afinación de la altura sol<sup>#3</sup>, la posición del cuarto parcial variará levemente (16,96 cm. 0,1 cm más respecto al cálculo teórico).

Nº	Alt.	LT	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	(...)	1/15
36	G#/Ab 3	84,31	42,15	28,10	21,08	16,86	14,05	12,04	10,53	9,36	8,431	(...)	5,62

**Ilustración 15.** Detalle del mapa de orientación de la cuerda sol<sup>#3</sup>

Teniendo en cuenta estos datos, si el cuarto armónico está a unos 16,86 cm. con una frecuencia de 1037,8 Hz. y el perno está a unos 18 cm, la zona en la que éste está

<sup>11</sup> Sol<sup>#5</sup> idealmente se ha de encontrar a unos 207,652 Hz. En la afinación real está a 208,787 Hz. por lo que tenemos una variación de +1,135 Hz.

insertado pertenece a un armónico con una frecuencia aproximada de 977,93 Hz. correspondiente a la altura si<sup>5</sup>. Dicha altura no pertenece a la serie natural de parciales de la cuerda preparada sol<sup>#3</sup>.

El siguiente objeto es R4. Este fragmento de goma se ha de insertar a unos 10,47 cm. Realizando las mismas operaciones que con el perno vemos que la zona en la que está posicionada pertenece a sol<sup>#6</sup>, el octavo parcial de la serie natural de sol<sup>#3</sup>. Al igual que en el caso anterior, se percibe una pérdida de armónicos con frecuencias más bajas que la de la zona de inserción de la goma y una intensificación de los más agudos.

Por último, el perno B3, posicionado a unos 5,71 cm. Al igual que sucede con R4, el perno está situado en una zona que pertenece a un armónico natural de la serie de sol<sup>#3</sup>: sol<sup>7</sup>, decimocuarto parcial.

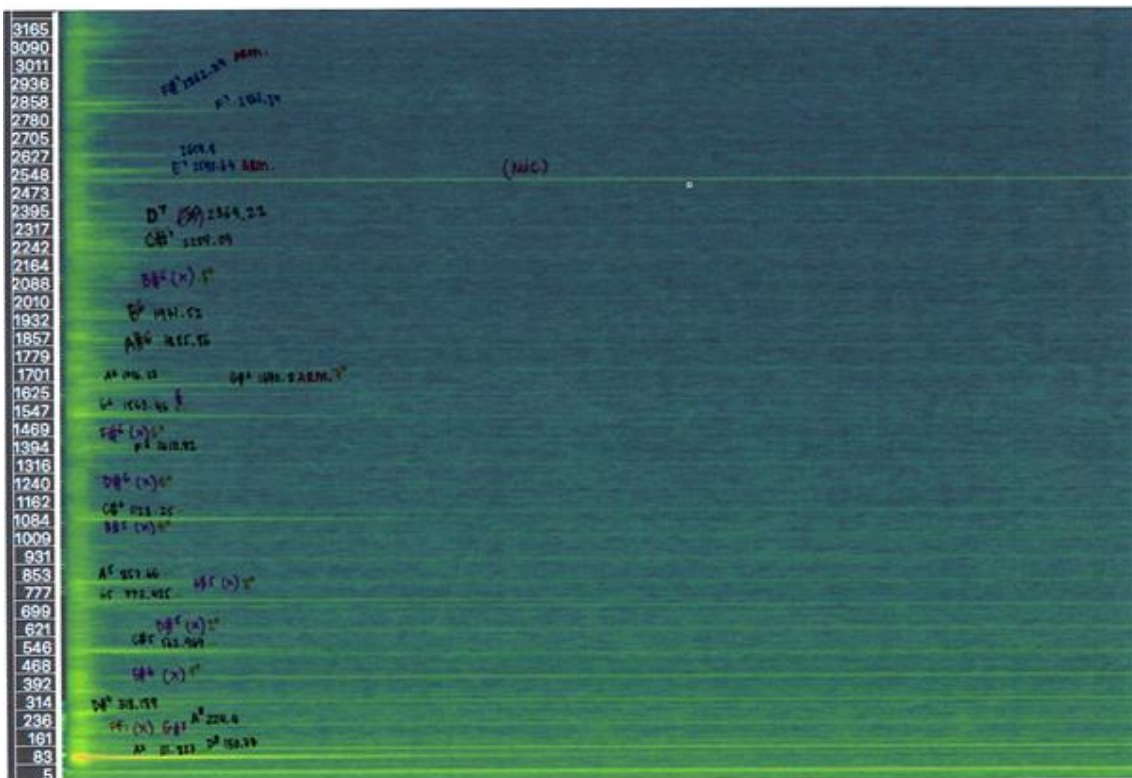


Ilustración 16. Detalle del espectro de la altura sol<sup>#3</sup> preparada

Tanto en la altura analizada como en los otros dos casos que encontramos en las instrucciones de preparación de las *Sonatas e Interludios*, espectralmente se observa una pérdida de parciales naturales que desdibujan el sonido original. La producción de

armónicos disminuye en función del incremento de la frecuencia de la altura (por lo que el sonido do<sup>#4</sup>, será mucho más pobre armónicamente que sol<sup>#3</sup>).

## Conclusiones

Este estudio abre las puertas a múltiples investigaciones tanto teóricas como empíricas. En el caso del desarrollo teórico se podría seguir investigando a nivel espectral, y con mayor profundidad y exactitud, las diferentes alteraciones que provocan cada material en la cuerda, realizando así una guía completa de los cambios que sufren las frecuencias con cada uno de los materiales.

Siguiendo esta línea de pensamiento, una posibilidad que queda abierta, ligeramente explorada en esta investigación, es la de aumentar la profundidad del análisis espectral consiguiendo una definición más precisa del efecto que produce cada objeto, desde sus particularidades físicas, en la vibración de la cuerda, esto es, la búsqueda de patrones en cuanto a intensificación o merma de los distintos armónicos encontrados en los espectros en función de las dimensiones del objeto y su posición, independientemente de la cuerda en la que se encuentre.

Asimismo, se podría realizar un estudio similar al realizado con las preparaciones del resto de las obras para piano preparado de John Cage en un intento de vislumbrar la naturaleza propia de cada una de las preparaciones, y en consecuencia de las piezas, tanto a nivel particular como en su conjunto.

De manera empírica las perspectivas son múltiples, la elaboración de una “guía de preparaciones” en la que se especifique, con mayor o menor exactitud, qué efecto producen cada uno de los objetos con el fin de ser utilizado en la composición y creación sonora o la realización de una tabla de preparaciones para las *Sonatas e Interludios* complementaria a la original, con una mayor exactitud en las posiciones e posibles alternativas tanto en las distancias como en los materiales.

## Bibliografía

- ANDERSON, S. P. (2012). *The Prepared piano music of John Cage: Towards Understanding of sounds and preparations*. Huddersfield: University of Huddersfield
- BERNSTEIN, D.W. (2002). *Music I: to the late 1940s*. En D. Nicholls, (Ed.), *The Cambridge Companion to John Cage*. (pp. 63.84). Cambridge: Cambridge University.
- BUNGER, R. (1973). *The Well-Prepared Piano*. Colorado: Colorado College Music Press
- BURRED, J.J. (2004). *La Acústica del Piano*. Madrid: CPM Arturo Soria
- CAGE, John (1967). *A Year from Monday*. Middletown: Wesleyan University Press.
- \_\_\_\_\_ (1969). *M: Writtings 67'-72'*. Middletown: Wesleyan University Press.
- \_\_\_\_\_ (1973). *Empty Words: Writings 73'-78'*. Middletown: Wesleyan University Press.
- \_\_\_\_\_ (1983). *X: Writtings 79'-82'*. Middletown: Wesleyan University Press.
- \_\_\_\_\_ (1990). *John Cage: An Autobiographical Statement*. Southwest Review 76. Recuperado de [http://johncage.org/autobiographical\\_statement.html](http://johncage.org/autobiographical_statement.html)
- \_\_\_\_\_ (1999). *Escritos al oído. Colección de Arquilectura, 38*. Murcia: Colegio Oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de la región de Murcia.
- \_\_\_\_\_ (2002). *Silencio*. Madrid: Árdora Ediciones.
- \_\_\_\_\_ (2012). *How to get out of the cage: a year with John Cage*. Berlin: EuroArts
- \_\_\_\_\_ (2013). *A Composer's Confessions*. 2013 Éditions Allia (Paris)
- CAGE, J. KOSTELANETZ, R. (1973). *Entrevista a John Cage*. Barcelona: Anagrama.
- CAGE, J. RETALLACK, J. JAN RAWICZ, S. (2013). *Music: John Cage en conversación con Joan Retallack*. Santiago de Chile: Metales Pesados

- CAMPBELL, M. GREATED, C. (1987). *The Musicians' guide to acoustics*. Londres: Dent & Sons
- DIANOVA, T. (2008). *John Cage's prepared piano*. Victoria: Mutasis Books.
- DICKINSON, P. (2006). *Cagetalk: dialogues with and about John Cage*. Rochester, Nueva York: University of Rochester Press
- FLETCHER, N.H. ROSSING, T. (1990). *The Physics of Musical Instruments*. Nueva York: Springer
- IDDON, M. CAGE, J. TUDOR, D. (2015): *John Cage and David Tudor: Correspondence on interpretation and performance*. Cambridge: Cambridge University Press
- JO, H-W. (2015). *The Music of John Cage: Early Compositions*. 2015 International Journal of music and Performing Arts, vol 3 no 1, pp. 25-34.
- KOSTELANETZ, R. (2003). *Conversing with Cage*. Nueva York y Londres: Routledge.
- MARTIN, D.W. (1947). *Decay Rates of Piano Tones*. Journal of the Acoustical Society of America, 19(4). Recuperado de <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1916516>
- MORA, J. (2012). *Caracterización Acústica del Piano de cola*. Valencia: UP Valencia.
- NICHOLLS, David. (2007). *John Cage*. Urbana, Ill. [u.a.]: Univ. of Illinois Press.
- OVENS, T. (2002). *The Sound Collector Anarchische Harmonie- John Cage und die Zukunft der Kunst*. Bremen: Hauschild, H.M.
- PÉREZ, J. (2013). *Clasificación Sachs-Hornbostel de instrumentos musicales: una revisión y aplicación desde la perspectiva americana*. Revista Musical Chilena, nº 219, pp. 42-80.
- PERLE, G. (1977). *Twelve-tone Tontality*. Los Angeles: Univ. of California Press.
- PRITCHETT, J. (1995). *Six Views of the Sonatas and Interludes*. Material no publicado. Recuperado el (20.01.2017) de <http://rosewhitemusic.com/piano/writings/six-views-sonatas-interludes/>

- PRITCHETT, J. (1995). *The Music of John Cage*. Nueva York: Cambridge University Press.
- SEBESTIK, M. (1992). *Ecouste* [Documental] Francia: JBA Production, SACEM, La Sept, Mikros Image. Centre Georges Pompidou.
- SCHUCK, O.H. YOUNG, R.W. (1943). *Observations on the vibrations*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 15 (1). Recuperado de <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1902337>
- SILVERMAN, K (2012). *Begin Again: a biography of John Cage*. Evaston: North-western University Press.
- BOIS, Y-A. BRANDEN, W.J. KIM, R.Y., PRITCHETT, J. ROBINSON, J. (2009). *La Anarquía del Silencio*. Barcelona: Macba, D.L.
- VÁSQUEZ, A. (2008). *Música y filosofía contemporánea: Registros polifónicos de John Cage a Peter Sloterdijk*. *Sinfonía Virtual*, no 0006. Recuperado de [http://www.sinfoniavirtual.com/revista/006/musica\\_filosofia\\_contemporanea\\_john\\_cage\\_peter\\_sloterdijk.php](http://www.sinfoniavirtual.com/revista/006/musica_filosofia_contemporanea_john_cage_peter_sloterdijk.php)
- VANDRÉ, P. (1996). *John Cage. Piano Works 2*. [CD] Recuperado en <http://www.moderecords.com/catalog/050cage.html>
- WEINRICH, G. (1979). *Coupled Piano Strings*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 62(6). Recuperado de <http://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.381677>





**CARMEN MORALES MORENO.**

Ronda, 1990.

Pianista/Artista sonora/Investigadora musical

Licenciada en interpretación musical por el Conservatorio Superior de Málaga y la MHS Stuttgart bajo la dirección de Nicolas Hodges obteniendo la especialización en interpretación en música contemporánea. También es diplomada como pianista acompañante por la Trinity College de Londres.

Durante el 2017 culminó su investigación acerca de la Dimensión físicoacústica del Piano Preparado con el trabajo de final de máster en la especialidad de Investigación Musical en la UNIR (España). Este proyecto, que ha sido trabajado y supervisado por el gran especialista Stephen Drury, fue apoyado constantemente por conciertos de difusión públicos y conferencias en distintas partes de España, Colombia y Estados Unidos.

Actualmente es miembro de la dirección del colectivo Duro Vino, una plataforma para la producción artística y la difusión de la cultura y la música contemporánea desde una perspectiva alejada de los grandes centros de producción. Paralelamente está en proceso de elaboración de un proyecto de tesis doctoral basado en la elaboración de nuevos dispositivos de preparación del piano menos dañinos aplicando las bases del diseño e impresión en 3D.

Su actividad como pianista profesional se inició en 2013 y ha actuado en países de Europa y América como solista (Boston, Albuquerque, Bogotá, Estocolmo, Malmö, Naevsted, San Sebastián, Valencia, Sevilla y Málaga) y como miembro de Ensembles de música (SMASH Ensemble, SICPP).

Como artista sonora concibe la materialidad sonora como devenir sonoro omnipresente. Plástico, flexible, abierto en su manifestación, flujo. Ella, como teclista, es parte de ese flujo, transmisora de sonido, parte del mecanismo de producción del sonido.