

EXCLUIDO DE PRÉSTAMO

Rd 721
S
PI-181



**Universidad
Rey Juan Carlos**

UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS
Instituto Universitario de la Danza "Alicia Alonso"
CURSO 2010-2011

INTRODUCCIÓN EMPÍRICA AL ANÁLISIS DE CALIDAD SONORA

Adrián Jiménez García

Dirigida por:

Doctor Amador Cernuda



Resumen:

El trabajo consta de 3 partes. La primera parte es la búsqueda de un medio analítico para poder analizar y poner en parangón la calidad sonora de los instrumentos.

En la segunda parte de la investigación se explica todo el proceso mecánico que hay que hacer para conseguir a partir de una grabación una tabla de ordenamiento frecuencial en base a la fundamental y se especula con los resultados de diversas muestras para encontrar un patrón de ordenamiento armónico que marque cuáles son las características que marcan una buena calidad, así como los resultados no son suficientemente esclarecedores se realiza una segunda investigación.

En la segunda investigación y tercera parte del trabajo se buscan otras muestras de calidades más extremas, violines chinos y Stradivarius, para ver más claramente estas características y finalmente se llega a las conclusiones.

Índice:

Portada.....	pág. 1
Resumen.....	pág. 2
Índice.....	pág. 3
Introducción.....	pág. 4-5
Marco teórico.....	pág. 6-8
Desarrollo.....	pág. 9-22
• Recopilación de pistas.....	pág. 9
• Búsqueda de medios analíticos.....	pág. 10-14
• Metodología de la comparación.....	pág. 15-22
Segunda parte de la investigación.....	pág. 23-31
Introducción.....	pág. 23
Desarrollo.....	pág. 24-30
• Recopilación de pistas.....	pág. 24
• Análisis de resultados.....	pág. 25-30
Conclusión.....	pág. 31



Bibliografía.....pág. 32

Introducción:

La elección de un instrumento para un músico es un paso vertebral en su carrera instrumental, como mejora técnica y sobre todo como proceso de personalización de su estilo.

Dependiendo de las diferentes familias de instrumentos es más o menos difícil, pero alcanza el grado sumo de dificultad en los instrumentos de cuerda frotada donde la gama de características es amplísima y no goza de una interpretación unánime de la calidad, sino de opiniones sobre sensaciones. Teniendo en cuenta también que un timbre puede ser meloso, enérgico, directo, amplio, rico en armónicos, potente, etc. y que cada personalidad requiere un poco de cada cual incluso dejando de lado el estilo musical que se vaya a interpretar.

Aunque el instrumento es el eje principal sobre el que suelen girar las investigaciones acústicas no se ha de infravalorar el poder del arco. Sin embargo el arco es un elemento cuya calidad es muy difícil de poner en parangón dado que es un mecanismo técnico y que su óptimo desarrollo se alcanza con una adaptación total de la técnica del instrumentista a éste. Como la técnica está llena de pequeños detalles, empezando porque un brazo no pesa igual ni tiene la misma longitud que otro, la calidad de los arcos es, dentro de unos parámetros similares de calidad, subjetiva respecto a cada instrumentista.

Ante tales indeterminaciones y subjetividades acerca de estos temas tan trascendentales he decidido que el trabajo de investigación esté orientado hacia la búsqueda de un método o forma que plasme técnica y fehacientemente parámetros sobre los que poder cotejar y

poner en parangón dos instrumentos sin acudir a sentimientos subjetivos ni a interpretaciones personales.

Dicha investigación presenta gran dificultad ya que los escasos estudios precedentes iban enfocados hacia la búsqueda de características comunes dentro de los grandes violines llevado a cabo por maestros lutieres para encontrar los parámetros a seguir en su construcción como queda reflejado por ejemplo en el trabajo de investigación de C. Hitchens "On the body resonance C3 and its relation to the violin construction" en el que tras percatarse de que el rango de frecuencias entre 500 y 600Hz está más presente en violines de calidad se proponen, mediante el método de Hutchins consistente en golpear el puente con un pequeño martillo para hacer resonar la caja armónica, averiguar qué parte de la caja es la responsable de la vibración de dicha frecuencia, cómo influyen las masas adjuntas como el mástil y saber si estos picos de frecuencia que pueden variar hasta 15 dB trabajan independientemente o se acoplan varias vibraciones.

La investigación va a tratar de resolver la cuestión: ¿Qué método es válido para la observación y comparación de la calidad del sonido de un violín?

Marco teórico:

En el siglo XVI aparece lo que conocemos como el violín moderno con los lutieres Andrea Amati y Gasparo de Saló que le dieron su forma definitiva ampliando así las posibilidades sonoras y tímbricas que rápidamente fueron gratamente acogidas por los compositores y el público.

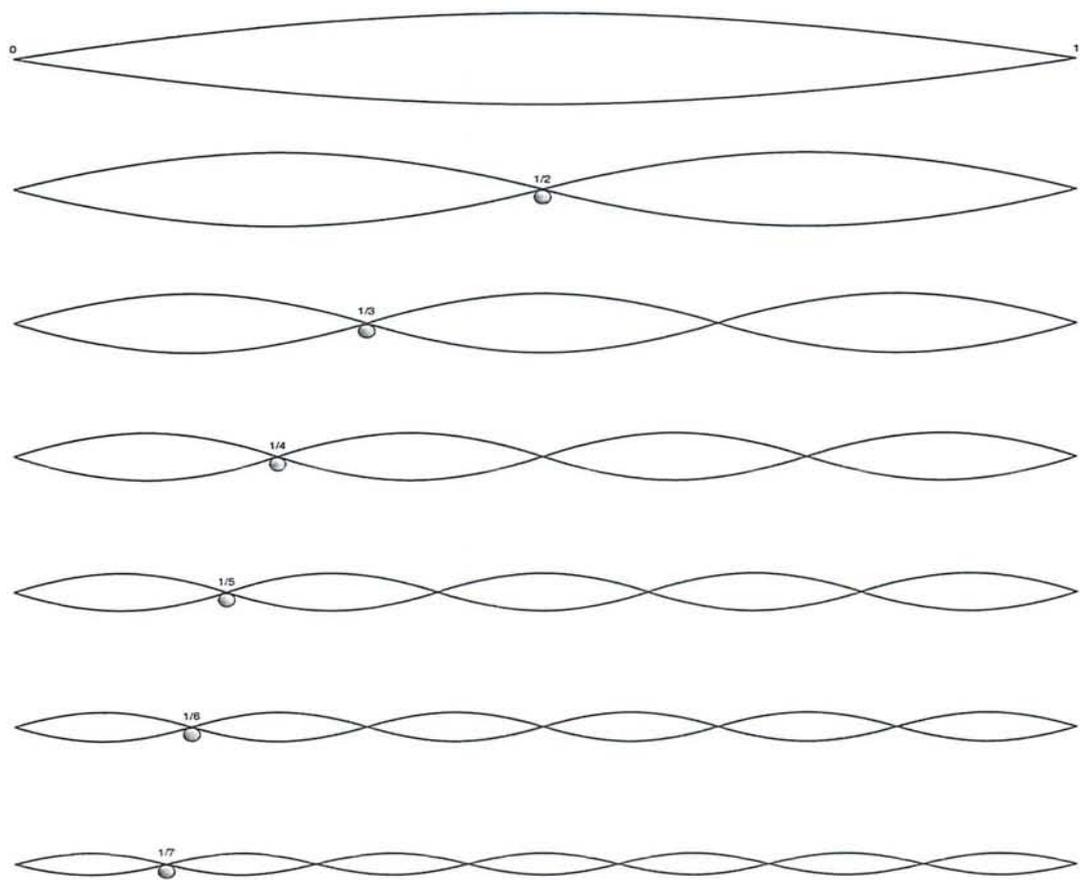
El punto culmen de la construcción de violines viene con Antonio Stradivarius (Cremona, Italia, 1644 - Cremona, 18 de diciembre de 1737) y Giuseppe Guarneri (Cremona, 21 de agosto de 1698 - Cremona, 17 de octubre de 1744). Sus violines se consideran la perfección y son referentes de construcción de los lutieres actuales. Entre ellos también existen diferencias: los Stradivarius suelen tener un sonido más abierto, amplio, lleno y multidireccional, es decir, el sonido llena tanto que es difícil percibir de dónde procede, y los Guarneri también conocidos como Guarneri de Jesu porque Giuseppe firmaba con el monograma de cristo se caracterizan por tener un sonido más potente y directo, el más conocido es el que tocaba paganini apodado por él mismo como El Cañón por el sonido explosivo que liberaba.

Hoy en día se utilizan avanzadas tecnologías como el CAD-CAM, lo que significa Diseño asistido por ordenador (computer-aided design – CAD), y Fabricación asistida por ordenador (computer-aided manufacturing – CAM), esta técnica se utiliza para trabajar con objetos bi y tridimensionales en el ordenador pudiendo variar sus medidas, calcular la viabilidad de la construcción del producto entre otras muchas y variadas posibilidades. Tanto empeño en controlar y medir la caja armónica del violín se debe a que en cada parte su dimensión y grosor varía y por ello es tan difícil copiarla exactamente.

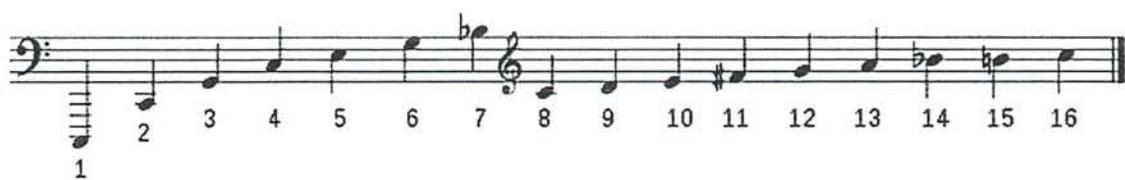
Por otro lado también se utiliza el análisis vibracional de la caja armónica, con diferentes métodos, por ejemplo: partiendo de un generador que emite una señal eléctrica tipo "ruido aleatorio", ésta va a una bobina que crea un campo magnético. Este campo actúa sobre un imán generándose unas fuerzas de excitación sobre el violín. Las vibraciones del violín son recogidas en el mismo punto de excitación por un acelerómetro y éstas son enviadas al canal B del analizador. Una derivación de la salida del generador es enviada al canal A. La señal del canal B es dividida por la del canal A, y tenemos así la respuesta vibracional de la caja del violín en función de la frecuencia. Este método se utilizaba en el Conservatorio superior Juan Crisóstomo de Arriaga. También otro método es el utilizado por C. Hutchins y Fielding, 1968 que consiste en colgar el violín prendido por unos cauchos y golpear con un pequeño martillo el puente, así con un acelerómetro recoger la respuesta vibracional de la caja armónica.

No obstante, a pesar de todos los medios utilizados no se ha conseguido igualar a los Stradivarius. Estos métodos utilizados anteriormente desatendían, según mi parecer, la totalidad del sistema mecánico de un violín que incluye la frotación de la cuerda, y la transmisión al puente de las vibraciones, a favor de entender la respuesta vibracional de la caja armónica para su construcción.

Un sonido concreto, que nosotros conocemos como nota y que corresponde a una frecuencia, por ejemplo La a 440Hz, no sólo se compone de la vibración de dicha frecuencia, sino que también implica la vibración de otras frecuencias con relaciones matemáticas.



A todas estas notas que también vibran se le llama la escala armónica de la nota principal llamada la fundamental. Así la escala armónica de una nota sería:



Desarrollo:

Recopilación de pistas:

El primer paso para llevar a cabo este proyecto fue la recopilación de sonidos de instrumentos diferentes utilizando como frecuencia habitual un la a 440Hz. Para conseguir una calidad óptima las grabaciones se realizaron en un estudio de grabación profesional con equipos de alta fidelidad técnica. A la vez que las grabaciones captábamos muestras con un sonómetro, que es un instrumento de medida que sirve para medir niveles de presión sonora de los que depende la amplitud , la intensidad acústica y por tanto su percepción, la sonoridad.

El campo de investigación estaba muy abierto e indeterminado en un principio, así que se realizaron grabaciones de diferentes instrumentos: violín, viola, clarinete, oboe y flauta. Como el trabajo iba más enfocado hacia instrumentos de cuerda, en concreto el violín, dispusimos de dos violines, dos arcos y dos instrumentistas para su interpretación. Las pistas grabadas con el violín fueron múltiples: diferentes golpes de arco, armónicos, diferentes velocidades, ataques, con leño, dinámicas... así como diferente disposición de instrumentos, arcos e instrumentistas.

El resultado fueron 149 pistas de audio referenciadas en "Pistas/Listado de pistas.doc" y adjuntas en "Pistas" de las cuales 112 eran de combinaciones de los dos violines.

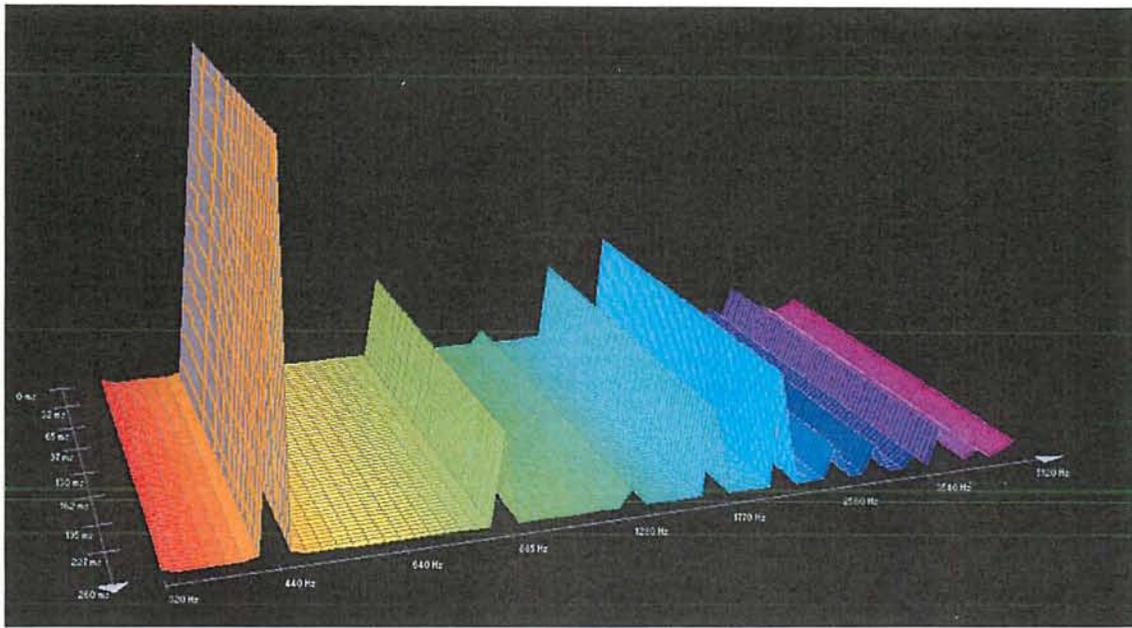
Búsqueda de medios analíticos:

Uno de los pasos más difíciles fue la búsqueda de medios técnicos e informáticos para el análisis de las pistas. Para ello conté con la inestimable ayuda del ingeniero en telecomunicaciones y músico guitarrista Don Antonio J. Sánchez Moro.

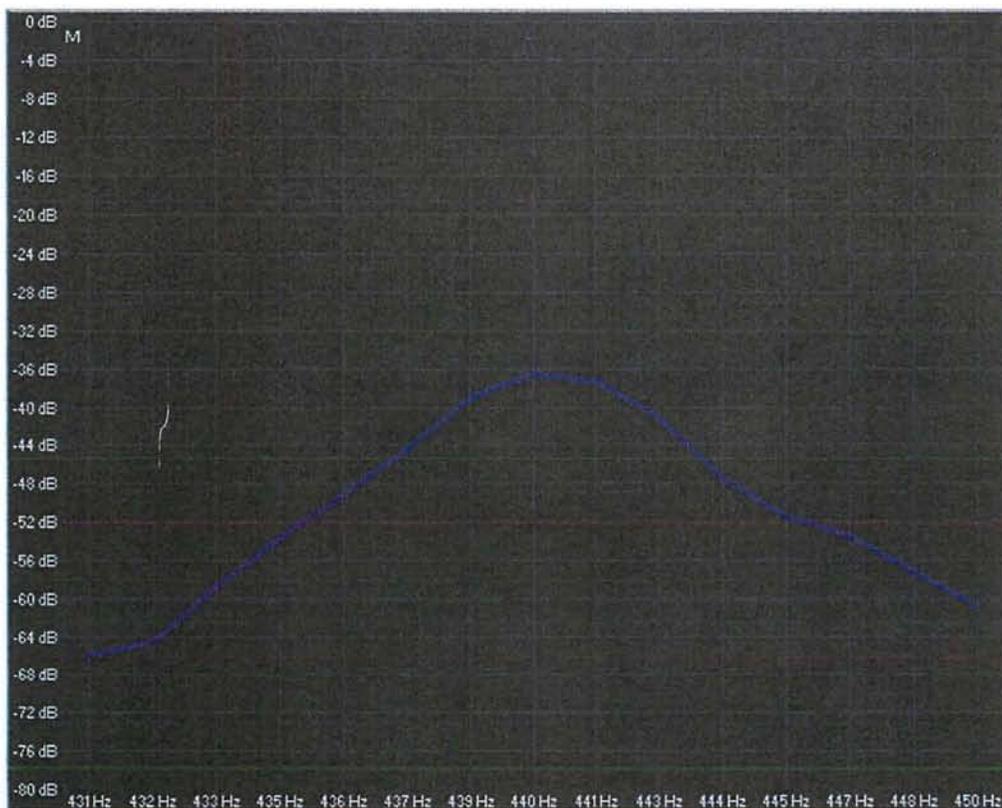
Las mediciones del sonómetro de distribución de nivel, distribución de nivel acumulativa y espectro resultaron infructuosas, ya que su percepción en tercios de octava, y el muestreo de frecuencia en base a nivel sonoro era insuficiente.

Por tanto buscamos otra vía que en un primer momento la búsqueda se encaminó hacia los osciloscopios digitales para una precisión exacta ya que son aparatos muy usados en electrónica de señal, junto a un analizador de espectro que presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla, en la que normalmente el eje X representa tiempos y el eje Y representa tensiones y con ello obtendríamos un oscilograma sobre el que trabajar. Sin embargo el difícil manejo de tales aparatos y su complicada accesibilidad nos hizo buscar otras vías.

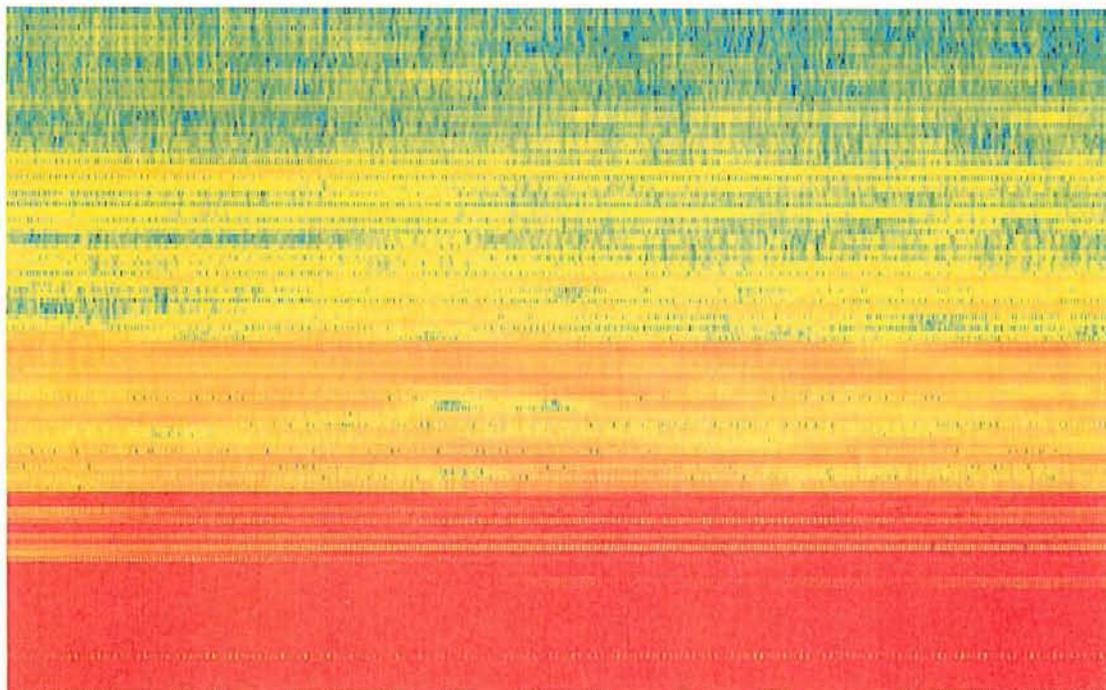
Dado que los programas informáticos habían evolucionado notablemente orientamos la búsqueda hacia analizarlos informáticamente y para ello utilizamos el programa Wabelab6, que ofrece múltiples posibilidades de análisis, procesamiento y edición de sonidos y pistas. Nuestros primeros hallazgos fue la función "3D análisis de frecuencia" que tras ajustar los parámetros de visualización y las frecuencias de referencia nos permite asimilar visualmente qué nivel sonoro tiene cada frecuencia y se aprecia la serie de armónicos que despierta el sonido 440Hz, adjunto la imagen:



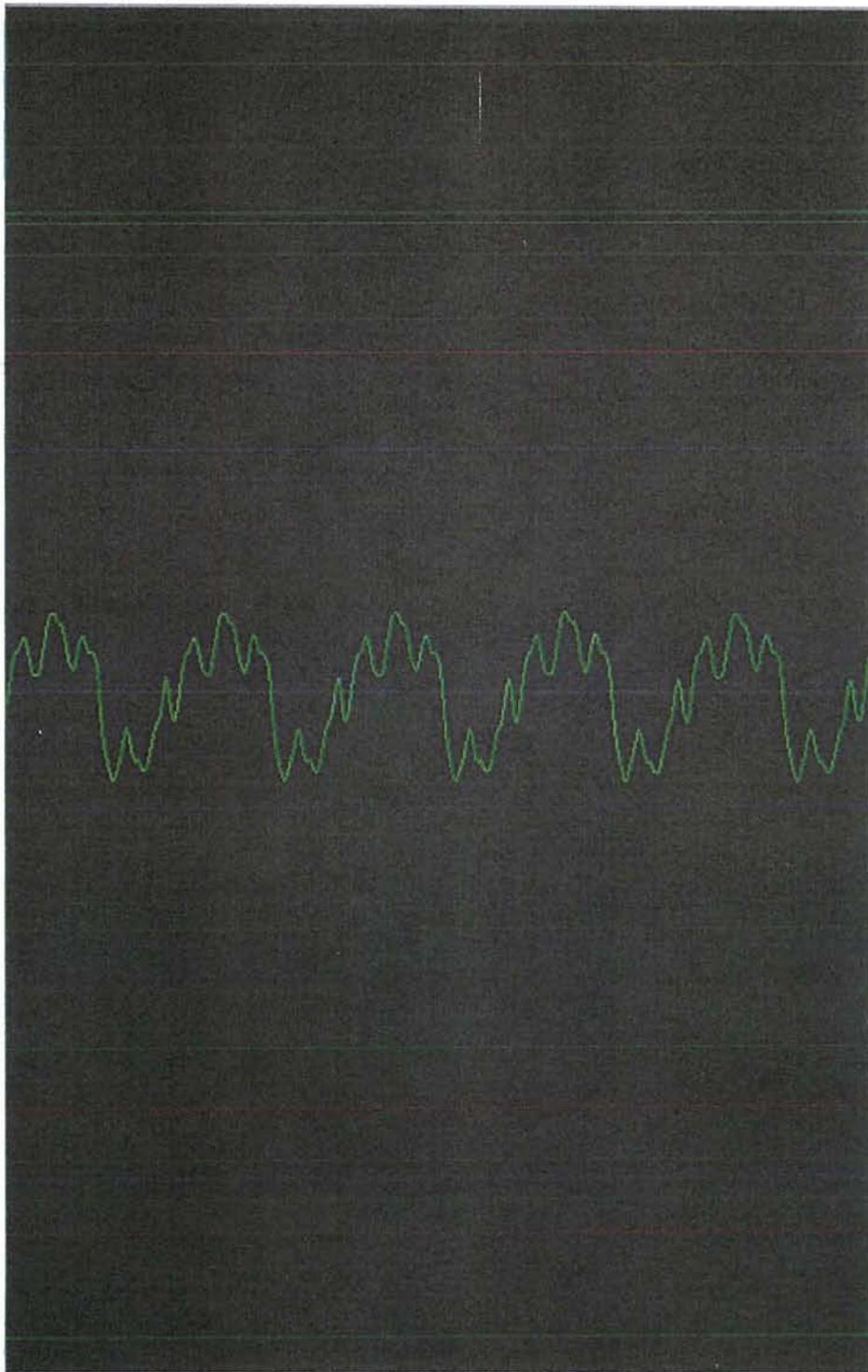
Para destacar más minuciosamente cómo se distribuye la intensidad sonora en las proximidades de la frecuencia 440Hz utilizamos la opción de "análisis de espectro", adjunto imagen de la misma pista anterior:



Otra visión del espectro esta vez de forma genérica sobre toda la frecuencia 0-22000 Hz audible y representado el volumen sonoro por la calidez de los colores:



Para observar la forma de la onda utilizamos la opción "Osciloscopio" que nos proporciona un vídeo de la onda que hay en cada momento (que no se puede adjuntar) pero sí adjunto una captura de dicha onda:



A pesar de tener tantos datos aún no había forma de comparar dos sonidos con exactitud, así que seguimos investigando hasta que finalmente dimos con algo. Dentro de la opción análisis de espectro en vez de analizar fragmentos de 2 segundos y por tanto tener una media global de los armónicos producidos durante ese intervalo de tiempo, pudimos detener el análisis en un punto y observarlo. Así que analizamos los puntos representativos de cada pista. Esto nos ofreció la posibilidad de comparar los armónicos en su punto sonoro más elevado, es decir, saber que por ejemplo, en la frecuencia de 440Hz y a con una intensidad de -28,8 dB el siguiente armónico 880Hz suena a -39,4dB y poder observar que el siguiente supuesto armónico, es decir la 5ª a 1318 Hz suena menos que los dos siguientes teóricos armónicos, la 8ª y la 3ª respectivamente.

Este gran paso nos acercó un poco más a nuestro objetivo, empero queríamos llegar más lejos, queríamos poder comparar el punto exacto de las frecuencias armónicas que más volumen sonoro tuviesen y por tanto que más presentes estuviesen en la totalidad del sonido.

Nuevamente el conocimiento, el apoyo informático y el tesón dio con un nuevo camino. Dentro de las opciones de la opción de "Análisis de espectro" se encuentra "Exportar datos FFT como ASCII" que extrae en formato .txt los datos fruto de un muestro de ínfimas partes de 0,34 Hz con un análisis de la presión sonora en dicho nivel de frecuencia. Estos archivos importados a Excel y tras varios retoques de organización para mejorar la manejabilidad podemos obtener de los 65535 datos los 50,100 ó 150 más representativos, de los cuales en un principio pensé en quedarme con las 5 frecuencias más representativas dentro de la escala de los armónicos y que serán

el resultado para nuestra comparación (ordenadas por volumen sonoro).

Metodología en la comparación:

En un primer momento seguí la siguiente vía de comparación en busca de algún patrón comparable:

Para nuestra primera comparación podemos elegir la pista 7 y 11 correspondientes a un La a 440Hz en Fuerte y la única diferencia es que uno está tocado arco arriba (pista 7) y el otro arco abajo (pista 11).

Abrimos los dos archivos contenidos en "Importados de ASCII a Excel". A partir de ahora ya trabajamos con Microsoft Excel. En la opción "Vista" presionamos el botón "Ver en paralelo" para poder observar los dos archivos simultáneamente y compararlos. Para entender los datos hay que saber que:

- La columna A es el número de referencia dentro de los 65535 datos.
- La columna B es la frecuencia de la nota en Hercios (Hz).
- La columna C es la presión sonora dada en Pascales (Pa) y escrita en notación científica.
- La columna D son los Pascales multiplicados por 10000 para tener unos datos legibles al ordenar de mayor a menor.
- La columna E son los pascales pasados a dB por la fórmula $L_p = 10 \log p^2 = 20 \log p$. Siendo $L_p =$ Nivel de Presión sonora; p la presión medida.
- La columna F son los dB $L_p = 10 \log(p^2/p_r) = 20 \log p/p_r$. Siendo $L_p =$ Nivel de Presión sonora; p la presión medida, y p_r la presión de referencia ($2E-5$ Pa), esto permite comparar los dB en las tablas de curvas isofónicas establecidas por Fletcher y

Munson incluida en el archivo "Curvas isofónicas.png" (imágenes google). Dato necesario para poder explicar, por ejemplo, por qué si un armónico suena más que la fundamental escuchamos ésta y no el armónico.

- Las columnas de la G a la K tienen recopiladas la Frecuencia con mayor presión sonora. Esto se ve mejor cuando seleccionamos la columna B y la ordenamos de menor a mayor. (En el ejemplo 11) Vemos que aunque hay varias frecuencias cercanas a 440Hz la que más dB tiene es el 441,09 Hz con 63,59 dB, daremos ésta como la frecuencia representativa de dicho armónico, así podremos comparar la precisión con la que se acercan a dicho armónico.

Columnas G-K de la Pista 7 (440Hz arco arriba)

Referencia	Hz	Pascales	Pascales*10000	dB	dB
1310	440,76	3,84E-02	384,23	-28,31	65,67
2621	881,85	1,10E-02	110,45	-39,17	64,98
6553	2204,8	9,86E-03	98,63	-40,12	56,78
5242	1763,7	8,62E-03	86,24	-41,29	56,19
11795	3968,5	3,29E-03	32,94	-49,66	54,81
3931	1322,61	2,13E-03	21,32	-53,43	53,86

Columnas G-K de la Pista 11 (440Hz arco abajo)

Referencia	Hz	Pascales	Pascales*10000	dB	dB
2622	441,09	3,02E-02	302,21	-30,39	63,59
5243	882,02	6,02E-03	60,20	-44,41	49,57
10483	1763,54	5,70E-03	57,03	-44,88	49,10
13115	2206,31	5,05E-03	50,53	-45,93	48,05
15723	2645,05	2,94E-03	29,39	-50,63	43,34

Lo primero que se puede observar es la gran diferencia de dB que hay en el 2º armónico más fuerte, el 880. En la pista 7 está a 64,98 dB mientras que en la pista 11 está a 49,57 dB, lo que supone una diferencia de 15dB, mientras que las fundamentales sólo distan 2 dB. No sólo hay diferencia en el 2º armónico, sino en todos los demás.

Esta primera curiosidad intenté resolverla y teoriqué que podría ser por la estructura de formación de las cerdas (cola de caballo mongol en el caso de este arco) en una hipotética forma de sierra que en una dirección liberaran más el sonido y en la otra lo oprimiese o lo rasgasen, así que proveyéndome de una lupa de 40 aumentos observé una cerda, la imagen era nítida pero no conseguí encontrar una clara estructura porque aún se veía muy lejos. Aunque un microscopio se utiliza para líquidos generalmente y la cerda no es transparente probé con un microscopio de 1000 aumentos. Esta vez, aún con tal acercamiento no se vio estructura ninguna.

Por tanto tuve que desechar la teoría por falta de pruebas. Aunque sí que pude observar restos de resina en la cerda y el desgaste que sufre de forma desigual, la razón por la que es recomendable encerdar el arco cada 6 meses. Las fotos no se adjuntan por la incapacidad técnica para tomar una fotografía de la visión de estos aparatos.

La segunda posibilidad que barajé es la disposición del recubrimiento de la cuerda en forma de espiral, visible a simple vista. Sin embargo no pude probar con una cuerda que tuviese la espiral en la otra dirección ya que no encontré.

Aunque una de las causas más probables es la disposición del peso. Mientras que en el talón hay que retirar peso para no romper el sonido en la punta se puede entrar en la cuerda con más naturalidad.

Volviendo al estudio de las pistas 7 y 11 me dispongo a estudiar cómo de activa está la gama de frecuencias que rodean a la frecuencia representativa, y para ello ordeno la columna B de menor a mayor para agrupar las frecuencias. Es de vital importancia que el número de filas sea el mismo.

Pista 7

Referencia/Hz/Pascales/Pascales*10000/dB/dB (respecto a la presión de referencia)

2613	439,58	1,66E-03	16,57	-55,62	38,36
2615	439,92	2,72E-03	27,24	-51,30	42,68
2616	440,08	3,11E-03	31,07	-50,15	43,83
2617	440,25	6,26E-03	62,58	-44,07	49,91
2618	440,42	8,97E-03	89,74	-40,94	53,04
2619	440,59	2,54E-03	25,44	-51,89	42,09
2620	440,76	1,35E-02	134,50	-37,43	56,55
2621	440,93	2,74E-02	274,11	-31,24	62,74
2622	441,09	3,02E-02	302,21	-30,39	63,59
2623	441,26	2,27E-02	227,31	-32,87	61,11
2624	441,43	1,44E-02	144,31	-36,81	57,17
2625	441,6	1,02E-02	102,24	-39,81	54,17
2626	441,77	6,56E-03	65,59	-43,66	50,32
2627	441,94	3,49E-03	34,90	-49,14	44,84
2628	442,1	2,15E-03	21,51	-53,35	40,63
2629	442,27	1,82E-03	18,21	-54,79	39,19
2630	442,44	1,36E-03	13,63	-57,31	36,67
2634	443,11	1,39E-03	13,94	-57,11	36,87
5229	879,66	1,09E-03	10,89	-59,26	34,72
5232	880,17	1,20E-03	12,02	-58,40	35,58
5234	880,51	1,10E-03	10,95	-59,21	34,77
5235	880,67	1,11E-03	11,13	-59,07	34,91
5239	881,35	2,58E-03	25,83	-51,76	42,22
5240	881,52	2,91E-03	29,14	-50,71	43,27

5241	881,68	1,21E-03	12,12	-58,33	35,65
5242	881,85	3,81E-03	38,05	-48,39	45,59
5243	882,02	6,02E-03	60,20	-44,41	49,57
5244	882,19	5,95E-03	59,46	-44,52	49,46
5245	882,36	5,14E-03	51,37	-45,79	48,19
5246	882,52	4,46E-03	44,57	-47,02	46,96
5247	882,69	3,54E-03	35,37	-49,03	44,95
5248	882,86	2,69E-03	26,91	-51,40	42,58
5249	883,03	2,15E-03	21,46	-53,37	40,61
5250	883,2	1,66E-03	16,56	-55,62	38,36
5251	883,37	1,23E-03	12,27	-58,22	35,76
10475	1762,19	1,33E-03	13,25	-57,55	36,43
10478	1762,69	1,91E-03	19,11	-54,37	39,61
10479	1762,86	3,59E-03	35,87	-48,91	45,07
10480	1763,03	3,20E-03	31,99	-49,90	44,08
10481	1763,2	1,46E-03	14,63	-56,70	37,28
10482	1763,37	4,56E-03	45,64	-46,81	47,17
10483	1763,54	5,70E-03	57,03	-44,88	49,10
10484	1763,7	3,79E-03	37,90	-48,43	45,55
10487	1764,21	1,92E-03	19,16	-54,35	39,63
10488	1764,38	2,86E-03	28,58	-50,88	43,10
10489	1764,55	3,28E-03	32,79	-49,69	44,29
10490	1764,71	3,39E-03	33,92	-49,39	44,59
10491	1764,88	3,38E-03	33,84	-49,41	44,57
10492	1765,05	3,11E-03	31,05	-50,16	43,82

Pista 11

Referencia/Hz/Pascales/Pascales*10000/dB/dB (respecto a la presión de referencia)

1303	438,4	6,79E-04	6,79	-63,36	30,62
1305	439,08	6,60E-04	6,6	-63,61	30,37
1306	439,41	1,50E-03	15,02	-56,48	37,50
1307	439,75	1,26E-03	12,56	-57,99	35,99



1308	440,08	2,06E-03	20,57	-53,72	40,26
1309	440,42	1,38E-02	137,82	-37,20	56,78
1310	440,76	3,84E-02	384,23	-28,31	65,67
1311	441,09	3,55E-02	354,57	-29,00	64,98
1312	441,43	1,29E-02	129,31	-37,79	56,19
1313	441,77	1,68E-03	16,83	-55,49	38,49
1314	442,1	1,85E-03	18,54	-54,66	39,32
1315	442,44	1,38E-03	13,84	-57,20	36,78
1317	443,11	6,99E-04	6,99	-63,11	30,87
1318	443,45	1,16E-03	11,57	-58,71	35,27
1319	443,79	1,60E-03	16,01	-55,92	38,06
1322	444,8	7,41E-04	7,41	-62,60	31,38
1324	445,47	6,37E-04	6,37	-63,92	30,06
2612	878,82	5,95E-04	5,95	-64,51	29,47
2617	880,51	8,69E-04	8,69	-61,22	32,76
2618	880,84	1,28E-03	12,77	-57,86	36,12
2619	881,18	1,89E-03	18,89	-54,47	39,51
2620	881,52	7,94E-03	79,45	-42,00	51,98
2621	881,85	1,10E-02	110,45	-39,17	54,81
2622	882,19	6,61E-03	66,1	-43,60	50,38
2623	882,52	1,89E-03	18,94	-54,47	39,51
3930	1322,27	1,08E-03	10,78	-59,33	34,65
3931	1322,61	2,13E-03	21,32	-53,43	40,55
3932	1322,95	1,72E-03	17,15	-55,29	38,69
3933	1323,28	7,80E-04	7,8	-62,16	31,82
5233	1760,68	5,87E-04	5,87	-64,63	29,35
5237	1762,02	8,63E-04	8,63	-61,28	32,70
5238	1762,36	1,75E-03	17,49	-55,14	38,84
5239	1762,69	2,64E-03	26,44	-51,57	42,41
5240	1763,03	1,88E-03	18,76	-54,52	39,46
5241	1763,37	6,55E-03	65,49	-43,68	50,30
5242	1763,7	8,62E-03	86,24	-41,29	52,69
5243	1764,04	5,83E-03	58,31	-44,69	49,29
5244	1764,38	2,32E-03	23,23	-52,69	41,29

5245	1764,71	8,17E-04	8,17	-61,76	32,22
5246	1765,05	6,64E-04	6,64	-63,56	30,42
6547	2202,78	8,79E-04	8,79	-61,12	32,86
6548	2203,12	2,20E-03	21,98	-53,15	40,83
6549	2203,45	3,08E-03	30,79	-50,23	43,75
6550	2203,79	3,25E-03	32,54	-49,76	44,22

En la observación de las 50 muestras de Hz (recordemos que está analizado en fracciones de 0,34Hz) que más suenan, la tabla nos muestra una distribución similar en los 26 primeros que más suenan, sin embargo en la pista 7 en el 18 encontramos la octava 880Hz (2º armónico), en el nº27 aparece la 5ª (3º armónico) mientras que en la pista 11 es inexistente. En la pista 7 en el nº 30 aparece el 4º armónico, en el nº41 el 5º, en el 53 el 6º. Sin embargo en la pista 11 encontramos en el nº 19 la 8ª, en el nº 36 el 4º armónico (el tercero no aparece).

La conclusión de este análisis armónico es que la pista 7 libera más los armónicos y el sonido global está más lleno mientras en la pista 11 es un sonido que en una cercanía puede sonar parecido al otro, pero va a ser menos brillante que el otro ya que en sus 100 fragmentos de Hz más sonoros hay menos armónicos.

El tercer punto de comparación viene dado por la exactitud de los armónicos más potentes para ello he elaborado una tabla viva de frecuencias en formato Excel llamada "Adrián.xls". La adjetivación de viva se refiere a que cuando introduces una frecuencia en el cuadro morado (casilla 28H) toda la tabla cambia y crea las frecuencias exactas a partir de dicha frecuencia. Se dispone de dos tablas por si fuera necesario cotejar dos frecuencias simultáneamente. También hay adjunta una tabla llamada "Afina.xls" donde aparecen el tamaño de los cents en relación a la octava y al semitono.

Introducidos tales métodos técnicos procedemos a la comparación: cogemos las dos frecuencias más altas y cercanas a

440Hz. En la pista 7 440,76Hz y en la 11 441,09Hz y los introducimos en la tabla Adrián.xls. Aunque la exactitud que podemos conseguir es muy alta se puede redondear ambos a 441Hz para tener una referencia común.

El 2º armónico lo tienen ambas pistas a 882, el 3º armónico la pista 7 lo tiene exacto a 1322 y en la pista 11 no disponemos de datos, el 4º armónico también es exacto, el 5º armónico está referenciado en la tabla como C# a 2222Hz y ambas pistas lo dan a 2205 aunque hemos de recordar que la tabla es un sistema temperado, no natural, el 6º armónico se desvía en ambas pistas 2 Hz por arriba respecto a los 2643Hz que marca la tabla, el 8º armónico tampoco se desvía nada de 3528...etc.

El estudio y comprensión de tales datos me lleva a una conclusión final y es que la exactitud en Hz de los armónicos no varía siendo el mismo violín y el mismo arco, sin embargo la manera de cómo, o con qué peso o en qué dirección frotamos la cuerda para producir un sonido tiene todo el significado a la hora de producir un sonido con más volumen de armónicos.

Segunda parte de la investigación:

Después de analizar las diferentes pistas de los dos violines y compararlas se pueden apreciar diferencias en la distribución de la cantidad y el orden de los armónicos. Así había descubierto un método para el análisis del sonido pero no podía establecer cuál era el patrón ideal de la distribución armónica para determinar cuál es mejor o peor. Era hora de dar otro gran paso: hemos de poder comparar los mejores violines con los peores, por tanto determinamos qué violines debemos analizar.

Introducción:

Hoy en día hay gran cantidad de instrumentos considerandos de calidad, pero no todos son iguales. En primer lugar están los construidos recientemente, llamados violines modernos que tienen un nivel muy alto pero que no se pueden comparar con el sonido de los instrumentos antiguos de los grandes maestros.

Desarrollo:

El primer paso fue conseguir un equipo de grabación portátil y de calidad, así con un micrófono de la marca Schoeps, una tarjeta de sonido externa Audio control 1, un ordenador portátil y el programa Wabelab6 con lo que se consiguió una calidad de alta fidelidad.

El primer paso fue determinar qué instrumentos queríamos grabar. En un primer momento me enfoqué hacia los concertinos de la ONE (orquesta nacional de España) y los violines que portasen, pero los análisis aunque eran diferentes aún no marcaban un patrón claro y finalmente fuimos a por lo mejor, nos propusimos grabar un Stradivarius y un Guarnerius.

Recopilación de pistas:

En primer lugar grabamos a los primeros violines de la ONE en la pausa de un ensayo pero los resultados no eran todavía nítidos.

Se envió una solicitud al Real Conservatorio Superior de Música de Madrid para poder grabar el Stradivarius donado por Pablo Sarasate. Y pudimos grabarlo.

También, por cortesía del lutier Laurent López pude grabar otro Stradivarius, el Jenkins y un Guarneri del Jesu así como 3 grandes arcos: dos Pecat y un Tournier.

También en el conservatorio "Oreste Camarca de Soria" se grabó violines de muy baja calidad (conocidos vulgarmente como violines chinos).

Análisis de resultados:

Después de analizar y depurar informáticamente las pistas con el proceso explicado anteriormente pude finalmente apreciar con satisfacción:

Todos los violines de calidad presentan una gran cantidad de armónicos variados en las primeras posiciones (ordenados por potencia sonora), es decir, rápidamente aparecen los armónicos de la escala armónica, sin embargo en los violines de muy mala calidad aparece la frecuencia fundamental, en este caso 440Hz repetida muchas veces, en un amplio rango de frecuencia ocupando todas las frecuencias contiguas. Para ilustrarlo vamos a ver un ejemplo:

Ahora mostraré la tabla de ordenamiento frecuencial (TOF) en base a una fundamental, término acuñado por mí para determinar la ordenación de los armónicos en base a su potencia sonora en todo el registro humano audible partiendo de una fundamental, en este caso de la fundamental A 440Hz, del Stradivarius Jenkins:

Nº de referencia	Hz	Pascales (Potencia sonora)
2619	440,59	4,78E-02
2622	441,09	4,68E-02
2620	440,76	4,48E-02
10481	1763,2	2,77E-02
10480	1763,03	2,28E-02
2623	441,26	2,26E-02
15722	2644,88	2,19E-02
10482	1763,37	1,95E-02
2621	440,93	1,79E-02
10486	1764,04	1,72E-02
15723	2645,05	1,61E-02
10485	1763,87	1,58E-02

2624	441,43	1,54E-02
10484	1763,7	1,51E-02
15721	2644,71	1,50E-02
2618	440,42	1,40E-02
2616	440,08	1,37E-02
15729	2646,06	1,20E-02
5240	881,52	1,13E-02
15727	2645,72	1,12E-02
10487	1764,21	1,10E-02
5243	882,02	1,09E-02
15728	2645,89	1,08E-02
15720	2644,55	1,08E-02
15726	2645,56	8,97E-03
20964	3526,73	8,64E-03
13101	2203,96	8,55E-03
15718	2644,21	8,40E-03
2627	441,94	8,12E-03
2613	439,58	7,85E-03
5242	881,85	7,84E-03
20963	3526,57	7,70E-03
5239	881,35	7,28E-03
10488	1764,38	7,20E-03
20962	3526,4	7,18E-03
5244	882,19	7,16E-03
5241	881,68	6,44E-03
15730	2646,23	6,41E-03
20971	3527,91	6,33E-03
18343	3085,81	6,32E-03
13102	2204,13	6,05E-03
20970	3527,74	5,77E-03
13108	2205,13	5,55E-03
2611	439,24	5,52E-03
20965	3526,9	5,48E-03
5245	882,36	5,44E-03

10479	1762,86	5,36E-03
20961	3526,23	5,36E-03
18344	3085,98	5,31E-03
15734	2646,9	5,21E-03

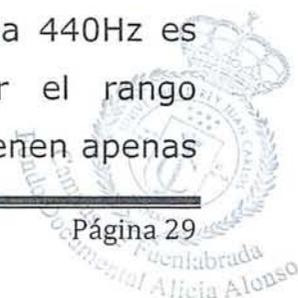
Se puede observar cómo aparecen rápidamente las frecuencias 440, 1763, 2644, 881, etc.

Ahora observamos la tabla de ordenamiento frecuencial de un violín de mala calidad:

Nº de referencia	Hz	Pascales (Potencia sonora)
2651	445,97	8,28E-02
2650	445,8	7,80E-02
2649	445,64	5,77E-02
2647	445,3	5,16E-02
2648	445,47	4,63E-02
2646	445,13	3,60E-02
2654	446,48	3,31E-02
2655	446,65	3,27E-02
2652	446,14	2,81E-02
2657	446,98	2,46E-02
2644	444,8	2,07E-02
2653	446,31	1,73E-02
5301	891,78	1,62E-02
7948	1337,08	1,51E-02
13257	2230,2	1,48E-02
7945	1336,57	1,39E-02
2645	444,96	1,38E-02
13253	2229,53	1,38E-02
7947	1336,91	1,33E-02
13250	2229,02	1,32E-02

2638	443,79	1,26E-02
2656	446,81	1,22E-02
2643	444,63	1,22E-02
5303	892,11	1,13E-02
2637	443,62	1,11E-02
13254	2229,7	1,10E-02
5300	891,61	1,09E-02
7941	1335,9	1,08E-02
13248	2228,69	1,06E-02
5297	891,1	1,06E-02
2636	443,45	1,06E-02
2641	444,29	1,02E-02
5305	892,45	1,00E-02
7946	1336,74	1,00E-02
2658	447,15	9,96E-03
13239	2227,17	9,91E-03
13251	2229,19	9,72E-03
5298	891,27	9,41E-03
13241	2227,51	9,24E-03
2662	447,82	9,15E-03
2642	444,46	9,07E-03
5299	891,44	9,06E-03
13256	2230,03	8,99E-03
7951	1337,58	8,70E-03
2660	447,49	8,64E-03
2665	448,33	8,33E-03
2640	444,12	8,25E-03
5302	891,95	8,17E-03
7943	1336,24	8,15E-03
7952	1337,75	7,98E-03

En este caso podemos observar como la frecuencia 440Hz es predominante, tanto por potencia sonora como por el rango frecuencial que abarca, los armónicos más cercanos no tienen apenas



representación porque la potencia sonora es insuficiente para estar presentes.

Y para finalizar, sin duda el violín que mejor sensación sonora me produjo con gran diferencia de todos los probados fue el Stradivarius de Sarasate y casualmente su tabla de ordenamiento frecuencial fue esta:

Nº de referencia	Hz	Pascales (Potencia sonora)
2625	441,6	4,68E-02
2627	441,94	3,58E-02
2626	441,77	3,56E-02
2624	441,43	3,10E-02
5250	883,2	2,27E-02
5252	883,53	2,22E-02
13127	2208,33	1,60E-02
13129	2208,67	1,24E-02
2629	442,27	1,13E-02
13126	2208,16	1,01E-02
2622	441,09	9,33E-03
13130	2208,84	9,08E-03
5249	883,03	8,16E-03
15752	2649,93	8,04E-03
2628	442,1	7,80E-03
10501	1766,56	7,76E-03
15754	2650,27	7,59E-03
5253	883,7	7,25E-03
2620	440,76	6,61E-03
13133	2209,34	6,28E-03
2618	440,42	6,02E-03
5255	884,04	5,92E-03

2623	441,26	5,70E-03
13121	2207,32	5,67E-03
13122	2207,49	5,44E-03
15760	2651,28	5,36E-03
13128	2208,5	5,26E-03
15756	2650,6	5,14E-03
2634	443,11	4,99E-03
13125	2207,99	4,93E-03
10503	1766,9	4,77E-03
15755	2650,43	4,74E-03
2613	439,58	4,71E-03
5251	883,37	4,55E-03
13136	2209,84	4,41E-03
15761	2651,44	4,34E-03
13135	2209,68	4,31E-03
13139	2210,35	4,20E-03
18378	3091,7	4,12E-03
2611	439,24	4,07E-03
2621	440,93	4,06E-03
2619	440,59	4,06E-03
10500	1766,4	4,03E-03
13142	2210,85	3,98E-03
7876	1324,96	3,89E-03
21003	3533,3	3,88E-03
2617	440,25	3,82E-03
15751	2649,76	3,82E-03
7878	1325,3	3,81E-03
23638	3976,58	3,79E-03

Observamos que rápidamente aparecen las frecuencias 441, 882 y 2208, es decir las frecuencias correspondientes a los armónicos de la escala armónica coincidentes con las octavas de la fundamental.

Conclusión:

El resultado del trabajo de investigación ha sido altamente satisfactorio porque al principio las posibilidades eran casi infinitas y no teníamos ningún punto de partida ni precedentes al que aferrarnos para comenzar el estudio. Así que todo el hallazgo sobre el método de medición ha sido fabuloso y sorprendente, además de los múltiples análisis que complementan visualmente todo tipo de informaciones.

La búsqueda de un patrón de tabla de ordenamiento frecuencial (TOF) para determinar un violín de calidad queda establecida por los siguientes puntos:

- Lo ideal sería un tabla que coincidiese con la serie armónica de la fundamental y que cada frecuencia tuviese un rango de no más de un Hz, así el sonido sale nítido, puro, limpio, amplio y con riqueza tímbrica.
- La serie armónica es casi imposible de conseguir, por lo tanto en su defecto una calidad tímbrica vendría dada por una riqueza de armónicos en los primeros puestos la TOF con una potencia sonora suficiente (en relación con la fundamental) para no pasar desapercibidos.
- La precisión de los armónicos con los patrones matemáticos preestablecidos también es importante, es decir, si la fundamental es 440Hz es importante que el 2º armónicos sea 880Hz y no 880,6Hz, cuanta más precisión en los armónicos mejor.

- Un rango similar en la parte alta de la TOF implica un sonido sucio, como el violín malo expuesto arriba, 440, 441, 438, 437, 443... mucho ruido y sonido poco fino.

Bibliografía:

Manual de instrucciones de Steinberg Wavelab 6.0

HITCHENS C. "On the body resonance C3 and its relation to the violin construction"

Técnica y arte, 1997 DYNA – nº6-julio agost set, pág. 41-44

Los inexistentes estudios precedentes hacen la bibliografía muy escasa, no obstante las búsqueda de investigaciones similares anteriores ha sido intensa.