

Adecuación y actualización del Plan de Estudios de la Escuela de Lutería BELE

Departamento del Conservatorio Profesional de Música Juan Crisóstomo de Arriaga

El plan de estudios actual está diseñado para que el alumnado adquiera las competencias básicas y esenciales en los métodos de construcción clásicos, método de construcción mediante catenarias métodos de barnizado, montaje, SET UP y reparación y restauración de instrumentos de arco. El temario está completado con otra serie de asignaturas como Tecnología de la Madera, Tecnología de la Herramienta, Diseño y dibujo, etc. que complementan la capacitación. Además tenemos las asignaturas de Acústica I (conceptos básicos), II (instrumento completo), y III (diagnóstico del sonido) que ofrecen un entendimiento suficiente de las nociones básicas de acústica y del comportamiento mecánico del violín. Entender cómo funciona un sistema permite poder mejorar su rendimiento.

Una vez finalizado el proyecto, los conocimientos adquiridos en el mismo nos permiten actualizar, completar y/o adecuar una cantidad considerable de asignaturas que revertirán en una mejor capacitación del alumnado, con el consecuente incremento de su futura empleabilidad.

Aún nos queda por recorrer un camino largo e interesante para comprender del todo el funcionamiento del violín pero lo adquirido hasta la fecha es suficiente para una mejora notable. Según vayamos descifrando estos misterios iremos añadiendo ese saber a nuestro Plan de Estudios.

ASIGNATURAS (horas-créditos)	1º	2º	3º
Construcción artesanal y montaje de instrumentos de arco I. (Violín).	550		
Construcción artesanal y montaje de instrumentos de arco II. (Viola).		550	
Construcción artesanal y montaje de instrumentos de arco III. (Violonchelo)			550
Barnizado de instrumentos de arco I (Violín y Viola).		50	
Barnizado de instrumentos de arco II (Violonchelo)			50
Acústica I: Conceptos básicos y acústica de los materiales.	50		
Acústica II: Estudio del instrumento completo.		25	
Acústica III: Diagnóstico y tratamiento del sonido.			25
Historia de la Lutería.	25		
Historia de la música.		25	
Diseño y dibujo.	50		
Encerdado y mantenimiento de arcos I.	50		
Encerdado y mantenimiento de arcos II.		50	
Reparación y restauración de instrumentos de arco.			175
Reparación y restauración de arcos.		50	
Tecnología de la madera.	75		
Tecnología de la herramienta.	50		
Nuevas tecnologías I: Aplicaciones al análisis del sonido.	50		
Nuevas tecnologías II: Aplicaciones al diseño.		50	
Nuevas tecnologías III: Aplicaciones a la actividad empresarial.			50
Emprendizaje.		75	
Práctica instrumental I.	25		
Práctica instrumental II.		25	
Práctica instrumental III.			25
Proyecto Fin de Estudios.			100
Prácticas en taller de Lutería.			200
TOTAL HORAS	925	900	1175

Ampliación y mejora del Plan de Estudios

Consideramos dos grandes bloques básicos de asignaturas a los que van a parar los conocimientos adquiridos en el proyecto. Todo este conocimiento y experiencia es transversal ya que aúna conceptos tanto mecánicos como de construcción. Estos dos bloques son: **Construcción I, II y III** y **Acústica I, II y III**.

Así mismo las asignaturas **Nuevas Tecnologías I y II** se ven reforzadas por las nuevas técnicas adquiridas en el proyecto.

Una cantidad de experiencia y conocimiento notable también va a parar a la asignatura de **Tecnología de la Madera**.

Se han realizado mejoras y actualizaciones en las asignaturas resaltadas.

ASIGNATURAS (horas-créditos)	1º	2º	3º
Construcción artesanal y montaje de instrumentos de arco I. (Violín).	550		
Construcción artesanal y montaje de instrumentos de arco II. (Viola).		550	
Construcción artesanal y montaje de instrumentos de arco III. (Violonchelo)			550
Barnizado de instrumentos de arco I (Violín y Viola).		50	
Barnizado de instrumentos de arco II (Violonchelo)			50
Acústica I: Conceptos básicos y acústica de los materiales.	50		
Acústica II: Estudio del instrumento completo.		25	
Acústica III: Diagnóstico y tratamiento del sonido.			25
Historia de la Lutería.	25		
Historia de la música.		25	
Diseño y dibujo.	50		
Encordado y mantenimiento de arcos I.	50		
Encordado y mantenimiento de arcos II.		50	
Reparación y restauración de instrumentos de arco.			175
Reparación y restauración de arcos.		50	
Tecnología de la madera.	75		
Tecnología de la herramienta.	50		
Nuevas tecnologías I: Aplicaciones al análisis del sonido.	50		
Nuevas tecnologías II: Aplicaciones al diseño.		50	
Nuevas tecnologías III: Aplicaciones a la actividad empresarial.			50
Emprendizaje.		75	
Práctica instrumental I.	25		
Práctica instrumental II.		25	
Práctica instrumental III.			25
Proyecto Fin de Estudios.			100
Prácticas en taller de Lutería.			200
TOTAL HORAS	925	900	1175

ACÚSTICA I, transversal con CONSTRUCCIÓN I, II, III

Parte de los conocimientos adquiridos en el proyecto los consideramos transversales a estas cuatro asignaturas. En la mayoría de las escuelas y talleres de luthería en los que se enseña a construir un violín, una viola o un violoncello coexisten tres formas de decidir cuánta madera quitar de la tapa y del fondo. La primera de ellas, la más fiel (ciega también) al trabajo antaño realizado, tiene en cuenta únicamente el espesor en décimas de cada punto de la tapa y fondo, construyendo copias geométricas exactas de ciertos violines magistrales. La segunda y la más clásica tiene en cuenta el peso de cada tapa o fondo teniendo como referencia valores de masas de tapa y fondo de grandes violines. La tercera “escuela” más moderna -auspiciada por las investigaciones de Carleen Maley Hutchins y de la que era ferviente seguidor el fundador de nuestra escuela Jesús Alonso Moral- considera la frecuencia a la que vibran esta tapa y fondo como el parámetro a tener en cuenta.

La mayoría de las tapas y fondos construidos en los siglos XVII y XVIII por los mejores luthieres siguen unos patrones de espesores que se siguen manteniendo. Ciertas zonas del fondo tienen más espesor que otras y las tapas presentan unos espesores generalmente homogéneos. Teniendo esto en mente, es muy habitual fijar unos parámetros a partir del peso “oficial” que ha de tener una tapa o un fondo para decidir si podemos seguir quitando madera o no. En la mayoría de los casos, los y las luthieres acompañan estos números con el esfuerzo o la fuerza que han de hacer para doblar con las manos, de diferentes maneras, cada tapa o fondo. La fuerza o resistencia que ofrece la tapa es un buen indicativo de lo que podrá moverse ésta cuando sea parte del violín completo y del sonido que produzca. Desafortunadamente este esfuerzo realizado es una experiencia adquirida muy personal y difícil de transferir a distancia. Exige cercanía y muchas pruebas y comparaciones.

Como sabemos, la **frecuencia** a la que vibra un sistema viene determinada por la relación entre la **rigidez** del sistema y la **masa** que tiene. Considerar únicamente uno de los parámetros no nos da la información completa del comportamiento de ese sistema. Podríamos tener dos sistemas vibrando a la misma frecuencia con masa y rigidez muy diferentes con tal de que la relación entre ambas sea la misma. Tenemos que tener en cuenta que la materia prima utilizada para cada instrumento difiere enormemente en sus características físicas y mecánicas; tendremos maderas más o menos rígidas, más o menos densas, etc. Estos tres parámetros de masa, rigidez y frecuencia al unísono son los que nos van a dar una idea más completa del comportamiento mecánico de cada tapa y fondo. La **Impedancia Característica** definida como el producto de la masa y la rigidez, $Z=m*f$, es el parámetro que estamos buscando ya que tiene en cuenta de forma indirecta, además de la masa, también la rigidez del sistema. Un valor de Z nos ofrece una manera de poder comparar dos tapas construidas con maderas de características distintas.

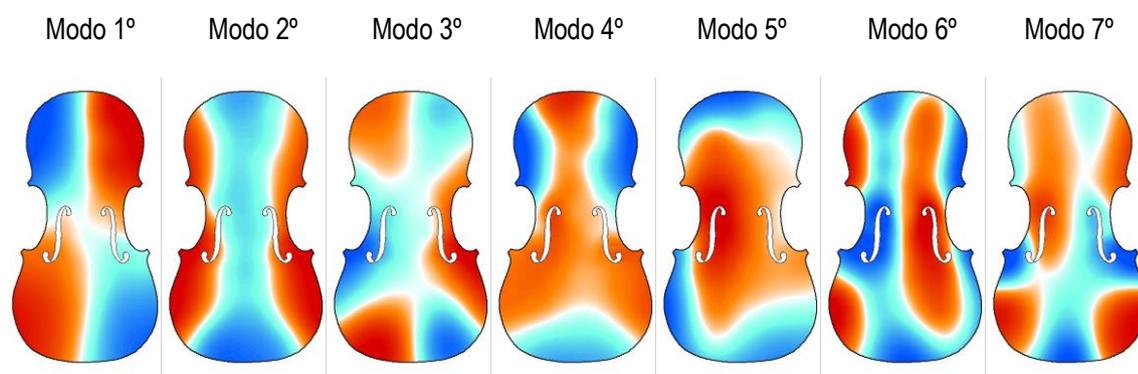
Para esta impedancia específica hemos utilizado una fórmula adaptada por Evan Davis a las tapas y fondos:

$$Z_{evans} \cong \frac{4 \times M}{1000} \sqrt{\frac{2}{13} \times (\#2^2 + \#5^2)} \cong 0.001569 \times M \times \sqrt{(\#2^2 + \#5^2)}$$

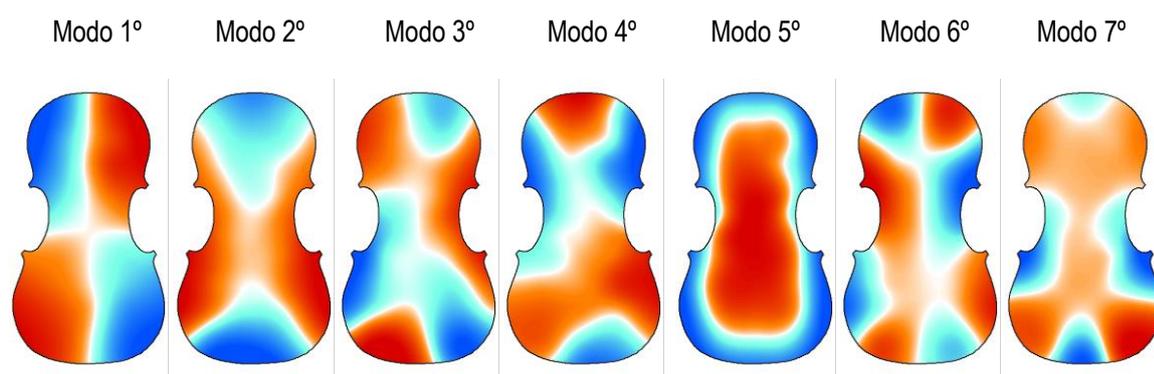
Donde M es la masa en gramos de la tapa o fondo y $\#2$ y $\#5$ son las frecuencias de los modos 2º y 5º de la tapa o el fondo considerado, en condiciones de contorno libres. El valor de este número Z_{EVANS} es lo que tendremos en cuenta para regruesar las tapas y fondos con el fin de buscar su semejanza.

La elección de los modos de vibración 2º y 5º de las tapas libres no es arbitraria. Según los estudios e investigaciones realizadas por Colin Gough mediante el Análisis de Elementos Finitos se sabe ya que los modos de vibración más importantes del violín completo de los que depende en gran medida la calidad tonal del mismo son los llamados modos característicos o “signature modes”: A₀, B₁₋ y B₁₊ del violín completo y a día de hoy se sabe que estos modos dependen de los mencionados 2º y 5º modos de tapa y fondo -modos anticlástico y sinclástico- en condiciones de contorno libres.

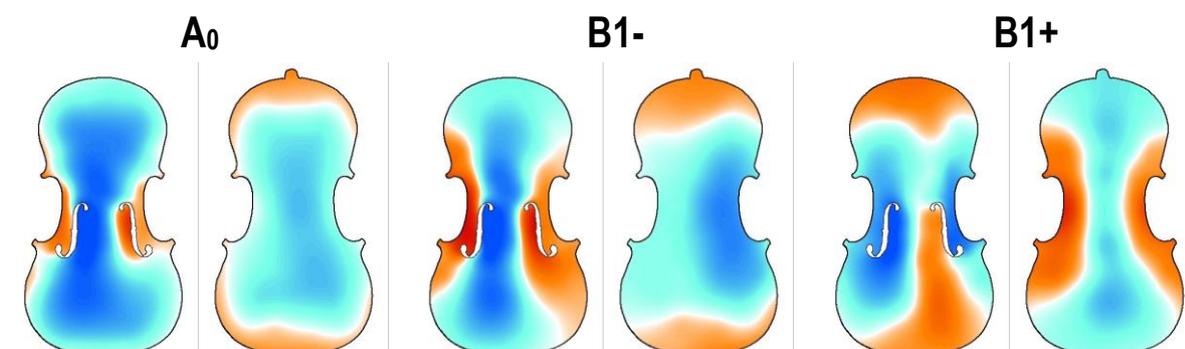
Las figuras de abajo representan los primeros siete modos de vibración de una tapa de violín o viola con efes y con barra: (análisis modal realizado por George Stoppani mediante su software)



Y las siguientes figuras los siete primeros modos de vibración del fondo:



En las siguientes figuras tenemos los tres modos característicos o “signature modes”: A₀, B₁₋ y B₁₊ de la caja completa del violín. En las figuras tenemos que imaginar que la tapa y fondo de cada pareja están unidos por los aros y vemos el fondo desde detrás. Podemos imaginar las formas en las que se mueven y colaboran tapa y fondo. La formación de estos modos depende de los anteriormente mencionados 2º y 5º modos, tanto de la tapa como del fondo libres.

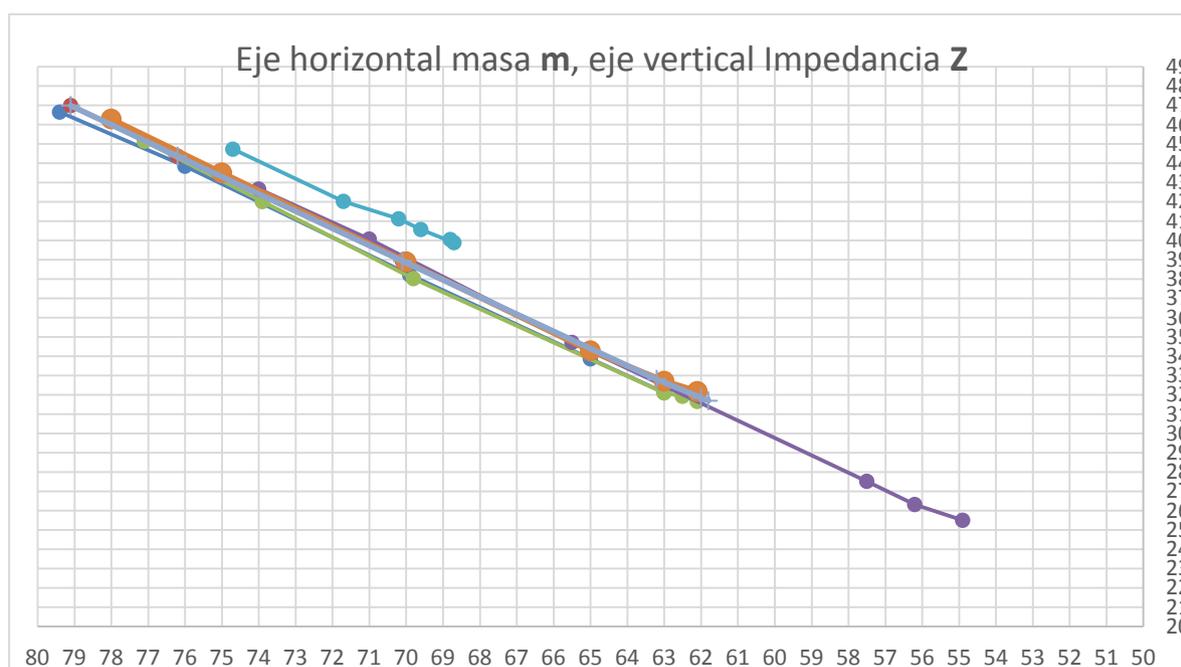


El hecho de utilizar el parámetro de la Impedancia Característica Z_{EVANS} y aplicarlo a cada tapa y fondo nos permite hacernos una idea de lo fácil o difícil que resulta mover cada una de las piezas y poder así comparar, en un mismo instrumento el efecto en las cualidades tonales que tiene combinar una tapa con un número determinado de Z con un fondo que tenga otro Z determinado. Podemos también de esta manera comparar diferentes instrumentos que tengan valores de Z parecidos. Las conclusiones del proyecto en el que se han combinado tapas y fondos utilizando valores concretos de Z pueden verse así ampliadas y reforzadas.

La experiencia obtenida en la construcción de violines mediante esta metodología puede extrapolarse -con cierta dificultad añadida- a la construcción de violas y violoncellos. La proporción en la que crecen las diferentes magnitudes de estos últimos instrumentos no es semejante y los valores de Z considerados blandos, medios y rígidos en un violín no será sencillo extrapolar estos valores de la impedancia.

Si comparamos gráficamente el parámetro de la masa frente al parámetro de la impedancia se observa cierta linealidad, tal y como se aprecia en las tapas y fondos de los violines del proyecto, lo que nos puede permitir utilizar un método predictivo de construcción a la hora de rebajar espesores y peso de las tapas y fondos para llevarlos a una impedancia decidida de antemano y deseada.

El gráfico inferior representa las tapas del proyecto sin barra armónica y su evolución en la medida en la que se rebajaban espesores. La tapa rígida se llevó hasta un valor aproximado de la impedancia de 40, las cuatro tapas medias o normales tomaron un valor de 32 y la tapa blanda se llevó hasta un valor de 25. Evidentemente estos valores subieron con el ajuste de la barra y se determinaron en unos valores finales aproximados de 48, 39 y 31. Los fondos tomaron unos valores de la impedancia de 75, 60 y 48.



Nos encontramos ante un nuevo y revolucionario método de construcción que se aplicará en los tres cursos utilizando las herramientas desarrolladas en el proyecto.

Importancia de las bóvedas en los primeros modos de vibración

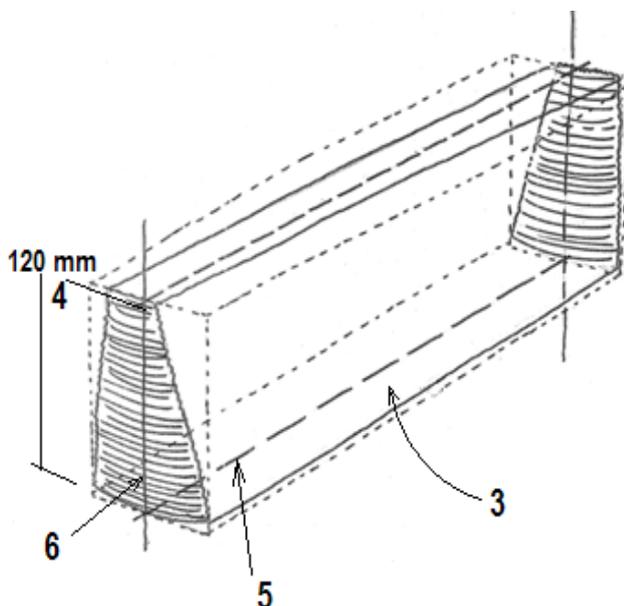
Vistos los resultados del proyecto y las frecuencias y formas de los primeros modos de vibración de los seis violines del proyecto, podemos concluir que el efecto de las formas de las bóvedas es muy importante y determinante a bajas frecuencias. Este hecho se ha de tener en cuenta a la hora de construir cualquier instrumento y es un punto de partida muy interesante para futuros proyectos.

Instrucciones para realizar la junta de las cuñas con twist

Para llevar a cabo la investigación con cierto éxito y poder sacar conclusiones realistas se ha de tener el mayor control posible sobre todas las variables. Hay que procurar que el comportamiento mecánico de las tapas de los seis violines sea lo más parecido posible. El material ha de ser muy semejante -tanto en densidad como en rigidez- pero es igual de importante que las fibras se presenten rectas o que tengan la misma dirección en todas y cada una de las piezas que se utilizan para mecanizar las tapas. La velocidad de propagación es un dato a tener en cuenta y depende del ángulo y dirección que tomen las fibras en la tapa.

Nos encontramos con un problema bastante común en las cuñas de abeto hendidas o astilladas. El árbol crece con algo de torsión o reviraje -twist- por lo que las fibras no están completamente rectas o alineadas a lo largo de la cuña.

Para asegurar un comportamiento mecánico similar en las tapas de los seis violines tenemos que conseguir que las fibras recorran la tapa totalmente paralelas a la base de los aros. En una tapa obtenida de una cuña con cierta torsión esto no será posible por lo que tenemos que adoptar un compromiso óptimo. Las fibras que más afectan al comportamiento mecánico de la tapa son aquellas cercanas a la junta por lo que seguiremos una metodología que favorezca este hecho.



1. Marcamos en la testa la posición ARRIBA correspondiente al sentido de las flechas de la corteza.
2. Cortamos la cuña a 380 mm.
3. Realizamos el plano en la corteza comiendo unos tres anillos. Comprobamos que este plano sea tangente a los anillos anuales, o perpendicular al radio en la zona central.
4. Marcamos una línea a 120 mm de altura respecto de este plano.
5. Marcamos una línea central aproximada en la base del este plano.
6. Marcamos una línea vertical a escuadra perpendicular a los anillos anuales respecto del plano realizado, tomando como punto de partida la línea central anterior. Realizamos esta operación en ambas testas. Comprobamos que quede un margen mínimo a 120 mm de altura para los lóbulos superior e inferior de la tapa. Si uno de los lados quedara sin espacio desplazamos la línea central de la base unos mm hacia el lado que corresponda. Comprobamos que a cada lado de la base tenemos un margen mínimo de 23-25 mm para la altura de la bóveda.
7. Unimos las líneas en la cara revirada superior. Esta línea tomará una dirección diagonal en la cara.
8. Cortamos con la sierra de cinta, manteniendo como referencia el plano de la base y la línea diagonal superior. La superficie de corte de la sierra será el plano de la tapa hacia los aros.

Materia: Construcción Artesanal y Montaje de Instrumentos de Arco (Violín).

Curso: 1.º

Carga horaria: 550 horas.

(Igualmente aplicable a Construcción II y III)

A) OBJETIVOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

... (únicamente aparecen los puntos modificados)

3.- Aplicar técnicas y procedimientos de construcción de fondos para instrumentos musicales de arco, a partir de proyectos, con criterios de calidad y seguridad.

Criterios de evaluación:

a) Describir los procesos de preparación y registro de piezas para la elaboración de fondos identificando materiales, condiciones, técnicas, herramientas y útiles relacionándolas con la seguridad y calidad de las operaciones.

b) Describir los procesos talla de bóvedas de fondos identificando materiales, **técnicas de regruessado predictivo mediante la Impedancia de Evans**, herramientas y útiles relacionándolas con la seguridad y calidad de las operaciones.

c) Describir los sistemas de refuerzos de fondos identificando materiales, técnicas, herramientas y útiles relacionándolas con la seguridad y calidad de las operaciones.

d) Describir los elementos ornamentales identificando técnicas, materiales, útiles y herramientas relacionándolos con funciones estructurales y funcionales.

e) En un supuesto práctico de aplicación de técnicas de construcción de fondos para instrumentos de cuerda frotada, a partir de un proyecto y materiales dados, realizar las siguientes actividades:

– Seleccionar, preparar y acondicionar los materiales, útiles, herramientas y equipos de protección personal a utilizar durante el proceso.

– Aplicar durante todo el proceso criterios de seguridad laboral y ambiental. – Realizar la preparación de la pieza del fondo teniendo en cuenta las dimensiones de las fajas.

– **Tallar la bóveda interior y exterior utilizando la metodología de la impedancia específica empleada en el Proyecto Bilbao.**

– **Calcular y predecir la Impedancia Z de Evans por fases para llevar el fondo a unos valores específicos y contrastados de Z.**

– Terminar el fondo, verificando la continuidad y homogeneidad de su superficie.

– Encastrar los filetes de acuerdo con el proyecto.

– Tallar los boceles verificando su continuidad y homogeneidad.

– Verificar la calidad de las operaciones con los instrumentos establecidas.

4.- Aplicar técnicas y procedimientos de construcción de tapas armónicas para instrumentos musicales de arco, a partir de proyectos, con criterios de calidad y seguridad.

Criterios de evaluación:

a) Describir los procesos de preparación y registro de piezas para la elaboración de tapas armónicas identificando materiales, condiciones, técnicas, herramientas y útiles relacionándolas con la seguridad y calidad de las operaciones.

b) Describir los procesos de talla de bóvedas de tapas armónicas identificando técnicas, procedimientos, materiales, **técnicas de regruessado predictivo mediante la Impedancia de Evans**, herramientas y útiles relacionándolas con la seguridad y calidad de las operaciones.

c) Describir los elementos efes, boceles, y barra armónica identificando técnicas, materiales, útiles y herramientas relacionándolos con funciones estructurales y funcionales.

d) En un supuesto práctico de aplicación de técnicas de construcción de tapas armónicas para instrumentos de cuerda frotada, a partir de un proyecto y materiales dados, realizar las siguientes actividades:

– Seleccionar, preparar y acondicionar los materiales, útiles, herramientas y equipos de protección personal a utilizar durante el proceso.

– Aplicar durante todo el proceso criterios de seguridad laboral y ambiental utilizando los medios de protección establecidos.

– Realizar la preparación de la pieza de la tapa teniendo en cuenta las dimensiones del fondo y las fajas.

– **Tallar la bóveda interior y exterior utilizando la metodología de la impedancia específica empleada en el Proyecto Bilbao.**

- Calcular y predecir la Impedancia Z de Evans por fases para llevar la tapa armónica a unos valores específicos y contrastados de Z .
- Terminar la tapa, verificando la continuidad y homogeneidad de su superficie.
- Realizar el calado de las efes verificando su posición de acuerdo con el proyecto.
- Tallar los boceles verificando su continuidad y homogeneidad.
- Elaborar y acoplar la barra armónica verificando su posición de acuerdo con el proyecto.
- Verificar la calidad de las operaciones con los instrumentos establecidos.

B) CONTENIDOS

...

4.– Cálculo de bóvedas de fondo. Técnicas de tallado de bóvedas de fondo: ejecución y verificación. Barras de refuerzo: función y elaboración. Técnicas de fileteado y tallado de boceles: ejecución y verificación. Modos de vibración de los fondos. Método de Chladni. Localización de zonas de máxima curvatura. Proceso de afinación de fondos de instrumentos de arco. **Cálculo y aplicación de la Impedancia Específica Z de Evans.**

5.– Elaboración de tapas armónicas para instrumentos musicales de arco. Materiales, útiles y herramientas para la construcción de tapas: características y usos. Sistemas de registro y calibrado. Cálculo de bóvedas de tapas armónicas. Técnicas de tallado de bóvedas de tapas armónicas: ejecución y verificación. Técnicas de trazado y calado de efes: ejecución y verificación. Técnicas de tallado de boceles: ejecución y verificación. Modos de vibración de las tapas. Método de Chladni. Localización de zonas de máxima curvatura. Proceso de afinación de tapas de instrumentos de arco. **Cálculo y aplicación de la Impedancia Específica Z de Evans.**

...

Materia: Acústica I. Conceptos básicos y acústica de los materiales.

Curso: 1.º

Carga horaria: 50 horas.

A) OBJETIVOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

...

6.– Utilizar los transductores acústicos básicos como micrófonos, aparatos de toma de datos como tarjetas de sonido y programas de ordenador adecuados FFT (transformada rápida de Fourier) para la medida de señales acústicas, modos de vibración y resonancias de sistemas sencillos.

Criterios de evaluación:

- Identificar y describir los diferentes transductores acústicos, aparatos de medida y toma de datos del sonido
- Describir los procedimientos de medida de modos de vibración y resonancias en sistemas sencillos
- En un supuesto práctico de medición y análisis de un sistema sencillo: barra, cuerda en tensión o placa, con micrófono y ordenador en condiciones controladas
 - Montar el dispositivo de medición de las resonancias
 - Medir y analizar mediante micrófono y ordenador las resonancias de los modos de vibración en los sistemas dados
 - **Medir y realizar el análisis modal mediante acelerómetro y martillo transductor utilizando el software adecuado (Stoppani)**
 - Realizar las operaciones con garantía de calidad y seguridad

7.– Montar el dispositivo de medida con el cual se pueden visualizar y analizar los modos de vibración y las resonancias de barras, placas, tapas y fondos de instrumentos musicales y la habilidad para utilizarlo -método de Chladni-.

Criterios de evaluación:

- Identificar y citar los elementos que conforman el dispositivo de análisis de modos de vibración en placas tapas y fondos de instrumentos musicales
- Identificar y describir el proceso de análisis de los modos de vibración, **recopilar los datos necesarios para el cálculo de Z_{Evans}**

- c) En un supuesto práctico de análisis de modos de vibración de tapas y fondos de un instrumento de arco -
Recopilar todos los elementos que se necesitan para construir el dispositivo de análisis
- Montar el dispositivo
- Colocar la pieza a analizar de manera correcta, excitarlo en diferentes frecuencias y comprobar los diversos modos de vibración, **recopilando los datos necesarios de los modos 2º y 5º, así como la masa, y calcular Z_{Evans}**
- Realizar las operaciones con garantía de calidad y seguridad

8.- Aplicar los principios y metodología a la acústica de los materiales para conocer cómo afectan las propiedades mecánicas y acústicas internas y las propiedades geométricas externas de los mismos al funcionamiento de las diferentes partes por separado de un instrumento musical de arco.

Criterios de evaluación:

- a) Describir cómo afectan la masa, la rigidez y la resistencia interna de los materiales a las resonancias en los distintos rangos de frecuencia.
- b) Describir y citar los procedimientos de medida y cálculo de la densidad de la madera, **mediante el método geométrico y mediante el método del volumen desplazado**, la velocidad de propagación del sonido en la misma **mediante el método de la columna de madera y las ondas longitudinales y mediante el equipo de medida LucchiMeter** y la capacidad de radiación de sonido de las maderas: Radiation Ratio.
- c) Analizar y describir la geometría de un sistema sencillo, como una barra libre en los extremos, medir las frecuencias de resonancia y comprender cómo afectan la longitud y el espesor a estas frecuencias de resonancia.
- d) Identificar y describir los modos de vibración de las barras libres en los extremos, así como las zonas de máxima vibración, puntos nodales y zonas de máxima curvatura e) Identificar y describir los modos de vibración de las barras fijas en los extremos, así como las zonas de máxima vibración, puntos nodales y zonas de máxima curvatura de los mismos y relacionar estos conocimientos y conceptos con la estructura de la caja armónica de un instrumento musical (tapa y fondo unidos a los aros).
- f) Comprender y describir los modos de vibración de una placa plana de diferentes dimensiones y de materiales homogéneos y no homogéneos, las zonas de máxima vibración, líneas nodales y zonas de máxima curvatura y describir el procedimiento para alterar estos modos con el fin de obtener los modos de cruz y anillo.
- g) Comprender y describir el efecto y las implicaciones mecano-acústicas de las bóvedas en las tapas y fondos y aplicarlos al diseño, construcción y afinación de las mismas **ulizando los modos 2º anticlástico y 5º sinclástico**.
- h) Actuar sobre las zonas de máxima flexión o curvatura de los modos de vibración de tapas y fondos visualizados mediante el método de Chladni, **calcular la Impedancia Característica Z_{Evans} de tapas y fondos** para modificar el comportamiento mecánico de las mismas, cotejando las observaciones con los métodos artesanales, perceptivos e intuitivos de golpeado y flexión manual de tapas y fondos.
- i) Describir las razones por las que aparecen las llamadas notas de lobo en los instrumentos musicales.
- j) En un supuesto práctico de aplicación de los conocimientos mecánicos sobre el comportamiento de las maderas, con un lote de maderas dadas para la elaboración de instrumentos de arco, efectuar las siguientes operaciones:
- Preparar una muestra, medir y calcular la densidad **-mediante los dos métodos conocidos, geométrico y de desplazamiento de agua-** y la velocidad de propagación del sonido de la misma **mediante el método de la columna de madera y las ondas longitudinales y mediante el equipo de medida LucchiMeter, comparando ambos datos**
 - Seleccionar y elegir los materiales adecuados con las características acústicas óptimas para producir sonido.
 - Modificar los modos de vibración y zonas de curvatura máxima de las barras libres en los extremos para armonizar las frecuencias de los dos primeros modos de vibración
 - Realizar con criterio las modificaciones necesarias en longitud y espesor para alterar la frecuencia del primer modo de vibración de una barra libre en los extremos.
 - Modificar los modos de vibración y zonas de curvatura máxima de las barras fijas en los extremos para alterar las frecuencias de los dos primeros modos de vibración
 - Modificar las dimensiones de una placa rectangular para conseguir los modos cruz **-anticlástico-** y anillo **-sinclástico-**.
 - Realizar las operaciones con garantía de calidad y seguridad

B) CONTENIDOS

El apoyo de la Comisión Europea para la elaboración de esta publicación no implica la aceptación de sus contenidos, que es responsabilidad exclusiva de los y las autoras.
Por tanto, la Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

...

3.– Modos de vibración y resonancias: Definición de modo de vibración y resonancia. Frecuencias de resonancia. Admitancia de entrada. Formas generales de excitación de resonancias: mantenidas e instantáneas. Caracterización física y perceptiva de las resonancias. Revisión del modelo físico de los instrumentos musicales. Acoplamientos. Resonancias: Sistemas gobernados por la rigidez, la masa y la resistencia. Ondas longitudinales y ondas transversales. Modos transversales. Parámetros acústicos de materiales. Medidas de densidad, módulo de Young y velocidad de propagación. Capacidad de radiación de sonido de los materiales: Radiation Ratio. Barras (tablas): modos en una dimensión. Frecuencias de resonancia, puntos nodales, zonas de máxima vibración y zonas de máxima curvatura. Relación entre longitud y frecuencia. Relación entre espesor y frecuencia. Proceso de afinación y armonización de barras. Barras fijas en los extremos y fijación de tipo bisagra. Barras fijas en un extremo y libres en el otro extremo. Placas (tapas): modos en dos dimensiones. Zonas de máxima vibración, líneas nodales y máximos de curvatura. Modificación de los modos de vibración de placas: Modo cruz y anillo, **modos anticlástico y sinclástico**.

6.– Transductores acústicos y aparatos de medida: Especificaciones y utilización de los transductores acústicos: micrófonos, **acelerómetros y martillos transductores**, altavoces, generadores de frecuencia y amplificadores. Medición de sonidos y modos de vibración en sistemas sencillos: Mediciones acústicas: ordenador, analizador de Fourier y programas de FFT en el espacio de tiempos y en el espacio de frecuencias. **Análisis Modal mediante el software Stoppani**.

7.– Las bóvedas: Características mecánicas e implicaciones acústicas de las zonas abovedadas. Efecto de las zonas rectas y zonas arqueadas en las tapas y fondos, ligereza y rigidez. La catenaria. Vaciado interior mediante el método de la catenaria. Proceso de afinación de tapas y fondos de instrumentos de arco **mediante el método de la Impedancia Específica Z_{Evans}**

ACÚSTICA II (Instrumento completo), transversal con NUEVAS TECNOLOGÍAS I (aplicación al sonido)

Esta asignatura está enfocada a adquirir una comprensión global del comportamiento y funcionamiento del violín completo. Durante el curso se estudian todas las resonancias del violín, así como las resonancias del puente y su importancia a la hora de mejorar la calidad tonal del instrumento. Las cualidades tímbricas globales de cada instrumento dependen de todas y cada una de las resonancias que toman parte en todo el rango de frecuencias: desde 270Hz hasta más de 6kHz.

El conocimiento adquirido en el proyecto sobre el efecto de las diferentes combinaciones de tapas y fondos en las frecuencias y amplitudes de estos modos de vibración del violín completo nos permite tener una idea de lo importante que resultan las bóvedas de la tapa y del fondo en bajas frecuencias. Los cambios en los espesores son muy considerables, pero la correlación con las variaciones de las primeras resonancias no son tan evidentes por lo que se puede deducir que la bóveda tiene mucha influencia en estos primeros modos.

ACÚSTICA III (Diagnóstico del sonido), transversal con NUEVAS TECNOLOGÍAS I (aplicación al sonido)

A medida que se obtengan mejores conclusiones con los datos obtenidos en el proyecto y con los que se obtendrán en diferentes encuentros y jornadas de acústica esta asignatura se verá reforzada, ya que este tercer curso de Acústica está enfocado al diagnóstico de los problemas que pueda tener el instrumento a nivel sonoro, de sus cualidades tímbricas y la búsqueda de soluciones para mejorar estos problemas. Estas cualidades tímbricas dependen enteramente de las resonancias o modos de vibración del mismo. Tener una comprensión global de cómo se forman y qué parámetros influyen en la formación de estos modos ayuda enormemente a entender las carencias tonales y de la misma manera incrementa las capacidades para poder dar solución a estos problemas.

El análisis modal es una herramienta muy importante y útil para poder comprender y visualizar las carencias de un instrumento concreto.

Materia: Nuevas tecnologías I: aplicación al análisis del sonido.

Curso: 1.º

Carga horaria: 50 horas.

A) OBJETIVOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1.– Comprender la tecnología, los procedimientos, los componentes, funciones y potencialidades de los diversos transductores acústicos: micrófonos, martillos de impacto, acelerómetros, altavoces, frecuencímetros, amplificadores, ordenador, analizador de Fourier, programas de FFT, **programa de análisis modal de Stoppani** y tarjetas de sonido.

Criterios de evaluación:

- Identificar y describir los diversos transductores acústicos utilizados en las medidas acústicas de instrumentos musicales de arco
- Describir las características y funciones, así como el modo de funcionamiento y las posibilidades de los transductores acústicos **y de los diversos programas de análisis modal**

2.– Montar los dispositivos de medida acústica utilizados en las medidas acústicas de instrumentos musicales de arco, conectarlos y ponerlos en funcionamiento.

Criterios de evaluación:

- Identificar y describir los componentes de los diversos transductores acústicos

- b) Describir el proceso de montaje y conexión de los diversos componentes, así como del dispositivo completo.
- c) En un supuesto práctico, con los componentes de un transductor acústico dado, **FFT y análisis modal mediante el software Stoppani**
- Montar y conectar los componentes, situándolos en un lugar apropiado para efectuar las medidas o toma de datos
 - Poner el sistema en funcionamiento y realizar diversas medidas acústicas
 - **Recopilar y analizar los datos obtenidos mediante FFT y visualizar las resonancias y sus frecuencias**
 - **Recopilar y analizar los datos obtenidos mediante en software Stoppani y visualizar los modos de vibración**
 - Realizar las operaciones con garantía de calidad y seguridad

3.- Aplicar los métodos de las NT como herramienta de recepción, análisis y representación de las características sonoras de un instrumento musical.

Criterios de evaluación:

- a) Describir y citar las posibilidades de medida mediante transductores acústicos aplicados al análisis y mejora del sonido de los instrumentos de arco
- b) En un supuesto práctico de análisis y mejora del sonido en un instrumento de arco dado
- Analizar el instrumento o las diversas partes del mismo utilizando el método de Chladni, y registrar los datos obtenidos
 - Analizar el instrumento utilizando el analizador de Fourier o programa de FFT y registrar los datos obtenidos
 - **Analizar el instrumento utilizando el acelerómetro y martillo mediante y análisis modal utilizando el Software Stoppani y registrar los datos obtenidos**
 - Anotar en la ficha técnica del instrumento los datos acústicos registrados y cotejarlos con las pruebas de timbre y calidad tonal realizadas
 - Realizar las operaciones con garantía de calidad y seguridad

4.- Aplicar las técnicas y procedimientos de las NT para la actualización de la información, la formación y la implantación de los nuevos programas y dispositivos que vayan surgiendo en el futuro.

Criterios de evaluación:

- a) Describir y citar los programas informáticos base y los modos de actualización de los nuevos programas
- b) Identificar las páginas web especializadas en acústica, materiales y técnicas de análisis del sonido, especialmente las relacionadas con los instrumentos musicales de arco
- c) Describir el proceso de registro, organización, gestión y el almacenamiento de los datos acústicos registrados y la información recopilada en un soporte informático.
- d) Describir los medios informáticos y los procedimientos de utilización de los mismos para el intercambio de información y la colaboración profesional en el análisis acústico de instrumentos musicales de cuerda
- e) En un supuesto práctico de aprovechamiento de los recursos informáticos, con una serie de soportes dados y con unas indicaciones dadas
- Registrar los datos acústicos obtenidos en la mediciones en una base de datos
 - Elaborar un listado de páginas web especializadas en el tema
 - Elaborar un plan de información, formación, investigación y colaboración acústica referida a los instrumentos musicales de cuerda, mediante la utilización de las nuevas tecnologías.
 - Realizar las operaciones con garantía de calidad y seguridad.

B) CONTENIDOS

Especificaciones técnicas de los aparatos de medida. Transductores acústicos: posibilidades y limitaciones. Ordenadores y tarjetas de sonido. Programas informáticos de medida y análisis de señales acústicas FFT o analizadores de Fourier, **programas de análisis modal, software Stoppani**. Posibilidades del método de Chladni **y del análisis modal**, historia y evolución. Altavoces, amplificadores y generadores de frecuencia: Montaje y funcionamiento. Micrófonos, martillos de impacto y acelerómetros. Toma de datos y análisis de resultados. Gestión de los Entornos multimedia y de red para la colaboración en la investigación acústica. Medios informáticos para el registro, la organización, la gestión y el almacenamiento de la información.

Materia: Acústica II: Estudio del instrumento completo.

Curso: 2.º

Carga horaria: 25 horas.

A) OBJETIVOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

... (únicamente aparecen los puntos modificados)

2.– Conocer las principales resonancias o modos de vibración de los instrumentos de arco, las zonas relevantes de frecuencia, su problemática y las implicaciones que tienen en la calidad tonal de los mismos

Criterios de evaluación:

- a) Citar los diferentes tipos de modos de vibración y resonancias de un instrumento completo.
- b) Describir las principales zonas de frecuencia y los principales modos de vibración de cada una de ellas.
- c) Describir las consecuencias en la calidad tonal del exceso o defecto de amplitud de las diferentes resonancias.
- d) Citar los procedimientos y materiales necesarios para obtener una gráfica de las resonancias de un instrumento de arco **mediante FFT y análisis modal**.
- e) En un supuesto práctico de análisis de un instrumento de arco
 - Afinar el instrumento a partir del LA 440 Hz.
 - Realizar una medida de las resonancias mediante programas de FFT, ordenador, tarjeta de sonido, micrófono, etc. y analizar los resultados
 - **Realizar una medida de las resonancias mediante el programa de análisis modal Stoppani, ordenador, tarjeta de sonido, acelerómetro y martillo transductor y analizar los resultados**
 - Obtener una toma del sonido global instrumento, con paso de arco y describir la gráfica contrastándola con las características tímbricas del instrumento medido.
 - Realizar todas las operaciones con garantía de calidad y seguridad.

3.– Conocer las diferentes resonancias del puente y tener la capacidad para medirlas y aplicar los métodos de trimado o ajuste de estas resonancias para ajustarlas a las características del instrumento.

Criterios de evaluación:

- a) Describir las diferentes resonancias de los puentes de los diversos instrumentos de arco.
- b) Describir las diferentes zonas de actuación y posibles modificaciones de espesores, anchura y altura para modificar las resonancias del puente **utilizando los criterios de la Impedancia específica**.
- c) En un supuesto práctico de ajuste del puente
 - Modificar las diferentes zonas de actuación
 - Medir las resonancias mediante micrófono y programas adecuados de ordenador **y calcular la impedancia**
 - Realizar las pruebas reiteradas de sonido del instrumento completo y modificar el puente para adecuarlo a las características del instrumento
 - Realizar todas las operaciones con garantía de calidad y seguridad.

4.– Capacidad y habilidad para utilizar los aparatos de medida como micrófonos, **acelerómetros** y martillos de impacto, así como los programas de ordenador adecuados, **de FFT y software Stoppani**, para analizar y medir las resonancias y modos de vibración del instrumento completo.

Criterios de evaluación:

- a) Describir los elementos electrónicos necesarios para realizar medidas y tomas de sonido en instrumentos musicales: **micrófonos, acelerómetros y martillos transductores**
- b) Describir el montaje y utilización de los diferentes componentes para la realización de una medida de las resonancias **mediante FFT y mediante análisis modal**
- c) En un supuesto práctico de toma de medidas
 - Montar el dispositivo para realizar la medida
 - Medir las resonancias del instrumento mediante diferentes métodos **mediante martillo y micrófono, paso de arco y micrófono, y análisis modal**
 - Realizar todas las operaciones con garantía de calidad y seguridad.

B) CONTENIDOS

2.– Modos de vibración y resonancias del instrumento completo: Modos en una dimensión. Modos de dos dimensiones. Modos de alta frecuencia de tapa o de fondo. Diferentes trabajos, investigaciones realizados sobre

la mecánica vibracional y las curvas de admitancia del violín completo por los autores: Jesús Alonso Moral y Erick Jansson, Carleen Hutchins, José Bretos, George Bissinger y Samuel Zygmuntowicz, George Stoppani, Martin Schleske, etc. Dimensiones y relación con la tesitura y con las frecuencias de resonancia. Resonancias con factor de calidad excesivo y gran admitancia: Movimiento excesivo del puente y la aparición de la nota del lobo. Métodos de desplazamiento y amortiguación de las resonancias de factor de calidad excesivo.

3.– Timbre y calidad tonal: Criterios de valoración: velocidad de respuesta, equilibrio sonoro entre las cuerdas. Defectos y desequilibrio entre cuerdas. Zonas características de frecuencia y calidad tonal. Proyección.

4.– Resonancias del puente: Modos de vibración basculantes, flexionales y torsionales del puente. Zonas de actuación relevantes, espesores y distancias. Ajuste y trimado de las diferentes resonancias del puente. **Impedancia específica del puente.**

5.– Aparatos de medida: Conceptos básicos de los programas de análisis de Fourier, FFT y **análisis modal mediante el software Stoppani**, tarjetas de sonido, transductores acústicos y de vibraciones como micrófonos, martillos transductores y acelerómetros; especificaciones y manejo de los instrumentos de medida. Utilidades y métodos de medida en el instrumento completo. Toma de datos y análisis de resultados.

Materia: Acústica III: Diagnóstico y tratamiento del sonido.

Curso: 3.º

Carga horaria: 25 horas.

A) OBJETIVOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1.– Aplicar con criterio técnico la escucha y diagnóstico del sonido de los instrumentos de arco, con comprensión clara de los conceptos de sonido y timbre, evaluando las características tímbricas y la calidad tonal de los mismos, **analizando mediante métodos de medida mediante FFT y análisis modal (software Stoppani)**, y detectando la carencia o exceso de potencia sonora en las diferentes regiones de frecuencia, determinar las resonancias que producen estas anomalías para poder corregirlas actuando sobre las diferentes partes del instrumento.

Criterios de evaluación:

- a) Comprender y describir las características del proceso de diagnóstico del sonido
- b) Citar los factores característicos que configuran el sonido de un instrumento
- c) Citar y describir los medios, dispositivos, técnicas y procedimientos de diagnóstico del sonido
- d) En un supuesto práctico de diagnóstico del sonido de un instrumento de arco dado
 - Comprobar la prontitud de respuesta del instrumento.
 - Comprobar el equilibrio sonoro, el timbre y volumen.
 - Identificar posibles defectos acústicos relacionándolos con las características del instrumento.
 - Describir los sistemas para el ajuste del alma relacionándolo con las posibilidades de afinación del puente.
 - Aplicar los procesos de ajuste de las piezas, mientras el instrumento se prueba en varias fases hasta obtener el mejor rendimiento acústico.
 - Identificar y describir con adjetivos el timbre del instrumento.
 - Analizar, identificar y describir su potencia sonora, su capacidad de proyección, equilibrio, entre otros.
 - Realizar las mediciones con los medios personales, mecánicos, electrónicos e informáticos necesarios, **utilizando los métodos de medida mediante FFT y el análisis modal (software Stoppani).**
 - **Analizar los modos de vibración y cotejarlos con los defectos en la escucha, comprobando resonancias y timbre**
 - Elaborar un diagnóstico con unas hipótesis de intervención y modificación.
 - Desplazar y/o amortiguar, si las hubiera, las resonancias de factor de calidad excesivo.
 - Realizar las modificaciones propuestas
 - Volver a analizar las características de timbre y sonoridad, comprobando, identificando y describiendo las modificaciones.
 - Repetir el proceso de análisis, identificación, hipótesis, propuesta y modificación hasta lograr la máxima mejora posible en la sonoridad del instrumento.
 - Realizar todas las operaciones con garantía de calidad y seguridad.

2.- Capacidad para escuchar y entender al músico-cliente teniendo en cuenta que cada persona tiene un lenguaje particular para expresar las cualidades tímbricas.

Criterios de evaluación:

- a) Identificar y describir los factores que intervienen en la atención a una demanda por parte de un/a cliente
- b) Citar y describir los procedimientos de atención, recepción y registro de una demanda
- c) En un supuesto práctico de atención, recepción y registro de una demanda con un/a cliente y un instrumento de arco dados:
 - Escuchar y registrar la demanda del instrumentista, anotando la descripción realizada sobre el sonido, poniendo atención en los adjetivos utilizados
 - Contrastar el significado de los adjetivos utilizados para comprobar que hay una comprensión adecuada y común de los términos utilizados
 - Contrastar las sensaciones sonoras, las características tímbricas de instrumento montado y completo
 - Corroborar y cotejar las sensaciones con las gráficas de admitancia obtenidas en las diferentes mediciones.
 - Realizar las acciones con garantía de calidad y seguridad

3.- Capacidad para explicar, dar soluciones a los problemas detectados y trabajar en equipo con la persona-cliente.

Criterios de evaluación:

- a) En un supuesto práctico de análisis, hipótesis y tratamiento de un instrumento de arco dado,
 - Describir con detalle las sensaciones sonoras y anotarlas, incluidas las mediciones realizadas si el problema lo requiere **mediante FFT y análisis modal**.
 - **Analizar los modos de vibración y cotejarlos con los defectos en la escucha, comprobado resonancias y timbre**
 - Establecer y anotar una hipótesis de trabajo, y el proceso de modificaciones, con orden de prioridad, respetando principio de menor coste y agresividad
 - Efectuar las modificaciones propuestas
 - Comprobar mediciones tras cada modificación
 - Interactuar durante el proceso con la/el instrumentista.
 - Realizar las acciones con garantía de calidad y seguridad.

B) CONTENIDOS

Diagnóstico. Concepto y función en la mejora del sonido de instrumentos musicales. Técnicas y Procedimientos de diagnóstico. La hipótesis como método de trabajo para la mejora y avance en los resultados. El/la cliente o instrumentista. Atención y comunicación. Factores que facilitan o interfieren la comunicación. Modos de escucha. Lenguaje utilizado en la descripción del sonido. Interacción instrumentista-lutier en el proceso de diagnóstico. Conceptos básicos de acústica. Acústica de los materiales. Resonancias de instrumento de arco completo. Análisis de modos de vibración. (Contenidos ya dados en materias precedentes y que corresponde aplicar) Métodos, productos y dispositivos de análisis y medidas del sonido de instrumento completo como medidas **mediante FFT y análisis modal**. (Contenidos ya dados en materias precedentes y que corresponde aplicar)

TECNOLOGÍA DE LA MADERA, transversal con ACUSTICA I

Parte de los conocimientos aquí implementados son transversales también con la asignatura de Acústica I. La búsqueda de la materia prima adecuada entraña dificultades que hay que tener en cuenta a la hora de buscar el mejor material. El proyecto exigía mucha similitud en todas las maderas utilizadas y hemos comprobado que no es fácil encontrar maderas similares ni siquiera es fácil medirlas de forma correcta y precisa. Dependiendo del peso y la rigidez del material los modos de vibración se podrán formar a unas frecuencias u otras y con mayor o menor amplitud. Este hecho condicionará las cualidades tímbricas del instrumento. Hemos visto en el proyecto que la forma de las bóvedas es muy importante a bajas frecuencias pero el tipo de material no es menos importante ya que condiciona mucho la formación de los modos de vibración a bajas frecuencias y será crucial en la formación de los modos de alta frecuencia.

Es necesario controlar los parámetros físicos y mecánicos de las maderas para poder definir y fijar ciertas variables que puedan influir en la forma, la frecuencia y la amplitud de los modos de vibración. La densidad de la madera ρ (masa por unidad de volumen) es una de las características más importantes a la hora de construir un violín.

Este es el rango de densidades más utilizadas en luthería para las maderas de abeto y arce:

(kg/m ³)	Baja		Media		Alta
Abeto para la tapa:	320	-	380	-	470
Arce para el fondo:	500	-	600	-	700

Otra de las características a tener en cuenta es la velocidad de propagación del sonido C dentro de la madera ya que nos da una idea de la rigidez del material, a mayor rigidez mayor velocidad de propagación. Sabemos también que a menor densidad tendremos también mayor velocidad de propagación: $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, donde E es el módulo de elasticidad o módulo de Young que nos da una idea sobre la fuerza que hay que realizar para estirar ese material una longitud determinada. Estos dos parámetros (ρ y C) definen el material y condicionan la formación de los modos de vibración, y consecuentemente condicionan las cualidades tímbricas del instrumento

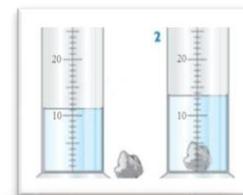
Se sabe que un valor muy alto de la densidad del abeto para la tapa del violín no funciona acústicamente. Demasiado peso del material dificulta la formación de los modos de alta frecuencia en la tapa (entre 0.9kHz y 4kHz) y esta región de frecuencias define mucho las características tímbricas de un instrumento ya que el ser humano es muy sensible a estas frecuencias. Por otro lado un valor muy bajo de la densidad del abeto tampoco es recomendable para la tapa ya que su rigidez se ve comprometida y nos encontraríamos con un material demasiado blando que no aguantaría estructuralmente la tensión de las cuerdas y la presión ejercida sobre la caja. La densidad y la rigidez del abeto son parámetros que guardan una relación bastante lineal: a mayor densidad mayor rigidez. Hay que buscar un compromiso muy delicado para tener un material muy ligero y lo más rígido posible. Podemos utilizar un nuevo parámetro que se define como la capacidad de los materiales para radiar sonido RR (radiation ratio) que es la relación entre la velocidad de propagación del sonido y la densidad volumétrica:

$$RR = \frac{C}{\rho} \quad \text{también expresado a veces como} \quad RR = \frac{E}{\rho^3}$$

Hemos utilizado dos métodos para calcular la **densidad ρ** del material:

Método de volumen desplazado, para el cual necesitamos una cubeta grande con un grifo adaptado, y otra cubeta menor para recibir el agua desplazada.

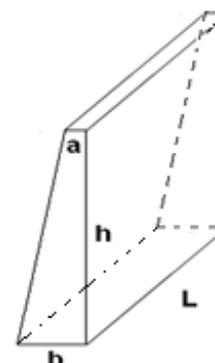
- Llenamos la cubeta con agua y esperamos hasta que caiga la última gota que rebosa.
- Pesamos la cuña de madera en seco.
- Hundimos la cuña en la cubeta con ayuda de un metal fino y la mantenemos hundida también hasta que la última gota haya caído.
- Pesamos el agua desplazada y también la cuña húmeda.
- El volumen de nuestra cuña ha de ser la suma del agua desplazada más la diferencia de pesos entre la cuña mojada y seca (el agua absorbida por la cuña hay que considerarla como parte del volumen desplazado)
- La fórmula $\rho = M/V$ nos dará la densidad teniendo en cuenta el peso en seco o masa de la cuña.



El segundo método para calcular la densidad es el tradicional **método geométrico** que se utiliza en la escuela para medir la densidad:

- Cepillamos la cuña hasta que la geometría es exactamente iguales a la de la figura. Los planos han de ser lo más perfectos y regulares posibles.
- Pesamos la cuña.
- Medimos la cuña en diferentes lugares para obtener una media de cada medida y aplicamos la fórmula para calcular el volumen.

$$V = \left(\frac{(a + b) \cdot h}{2} \right) \cdot L$$



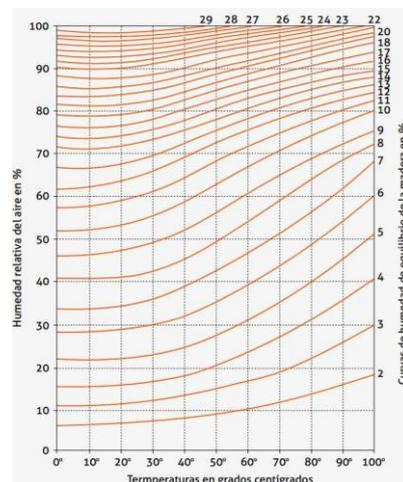
- La fórmula $\rho = M/V$ nos dará la densidad teniendo en cuenta el peso o masa de la cuña.

Es fácil creer que lo único importante de estos cálculos es la precisión con la que se realiza cada uno de los pasos, y de hecho lo es. Pero la experiencia adquirida en este proyecto nos dice que existe un factor extremadamente influyente al que no se le da la importancia necesaria y no se tiene en consideración. Las condiciones atmosféricas ambientales influyen considerablemente y condicionan el cálculo de la densidad de las maderas. La humedad ambiental relativa hay que tenerla en cuenta. Si la humedad relativa del aire es muy alta o muy baja las medidas de densidad no serán muy consistentes. La madera es un material higroscópico y como tal absorbe humedad del exterior si es muy alta y al contrario, la soltará del interior si la humedad relativa exterior es muy baja.

La humedad límite de la madera se conoce como el **contenido de humedad en equilibrio CHE**, o como se diría en inglés, Equilibrium Moisture Content EMC, y es el estado en el cual la humedad de la madera logra un equilibrio con las condiciones ambientales. Este estado es afectado por los cambios de humedad relativa (HR) y temperatura (T) del aire circundante. Como las condiciones ambientales varían constantemente, ninguna madera se encuentra en equilibrio estable y su contenido de humedad sigue las fluctuaciones que le condiciona el lugar en que se encuentra.

A partir de la experiencia adquirida en el proyecto sugerimos que se pueden definir y fijar ciertas condiciones de temperatura y humedad ambientales para realizar el cálculo de la densidad y pueda así ser comparable.

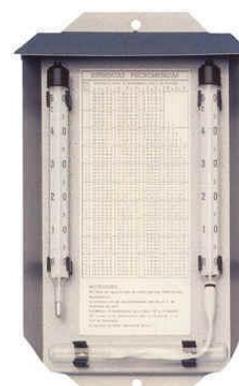
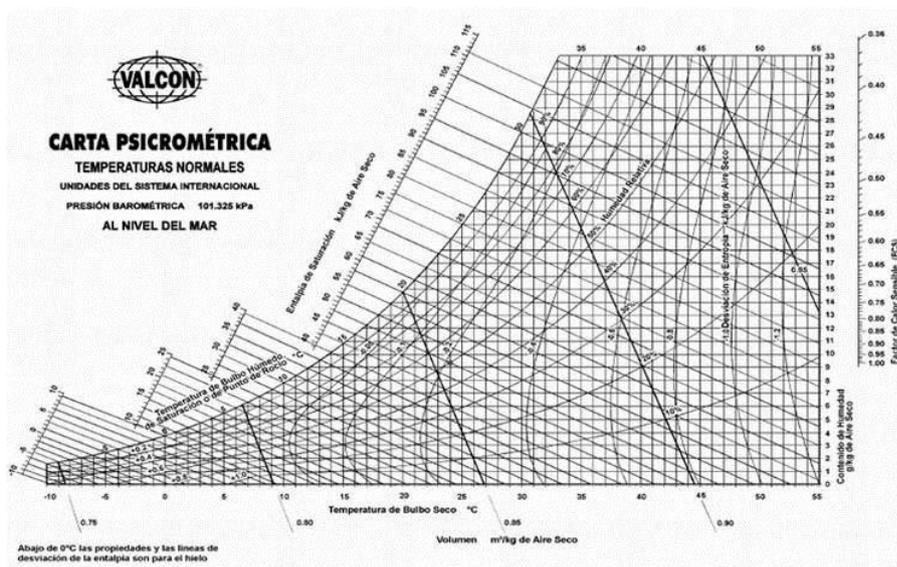
Sabemos que el **Contenido de Humedad en Equilibrio** de todas las maderas se estabiliza en un valor concreto en relación a las condiciones ambientales. Este valor puede llegar al 18% en una semana muy húmeda y al 5% en una época muy seca, pasando por valores normales del 11%. En estas condiciones tendremos valores para la densidad muy diferentes en la misma madera. Realizando unos cálculos sencillos se puede saber el contenido de agua que tiene la misma madera en condiciones ambientales diferentes.



Consideramos una cuña en condiciones normales al 11% de CHE, el peso es de 375.2gr con un volumen de $0.972 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Un día muy húmedo puede llegar a un equilibrio del 18% y en uno seco al 5%. La densidad podemos comprobar que varía considerablemente.

CHE	peso	densidad
18%	399 gr	410 kg/m ³
11%	375 gr	386 kg/m ³
5%	355 gr	365 kg/m ³

Esta humedad relativa del aire podemos medirla mediante un psicrómetro (temperatura del bulbo en seco menos temperatura del bulbo húmedo) y su correspondiente carta psicrométrica.



En este sentido proponemos una cabina acondicionada para este propósito en el que se mantendrán las maderas a medir el tiempo adecuado. Se pueden definir las condiciones estándar interiores de la cabina a una temperatura de 33° y una humedad relativa ambiental del 40%-45% que se pueden obtener con lámparas incandescentes y/o lámparas de rayos UV-A, además de un deshumidificador regulador y en el tiempo adecuado las maderas alcanzan un equilibrio de humedad interno del 8% o 9%. En estas condiciones estándar las medidas de densidad de diferentes maderas pueden ser comparables y este contenido de humedad es suficiente para poder trabajar con ellas y construir cualquier instrumento musical.

Hemos utilizado dos métodos para medir la velocidad de propagación del sonido de la madera:

Hemos utilizado también dos métodos diferentes para medir la **velocidad de propagación del sonido C** dentro de la madera. Cada uno de ellos nos puede dar una información diferente de cómo viajan las ondas dentro del material y habrá que tenerla en cuenta.

El primero de ellos con el equipo de medida LucchiMeter.

- Este método es muy sensible al lugar donde se aplican los sensores. El equipo dispone de dos sensores, un emisor y un receptor y la alineación de ambos en las partes opuestas de la pieza es importante.
- Se introducen en la máquina los valores correspondientes de la longitud de la pieza y el grado de humedad que pueda tener en y se aplican los sensores a los extremos de la pieza.
- Este valor de C que da la máquina también varía en función de la fuerza aplicada a estos sensores. Se pueden medir en vertical las piezas con los sensores opuestos, uno apoyado en la mesa y con una fuerza aplicada semejante, dada por el peso de una pieza determinada, posicionada encima del sensor receptor en la parte superior de la pieza.

El segundo método de medida se basa en las resonancias longitudinales que se crean en las columnas de aire, abiertas en los dos extremos y en los tubos cerrados en los dos extremos. Las frecuencias de estas resonancias son armónicas por lo que la medida con martillo y micrófono es sencilla y fácil de corroborar. Una columna de madera presenta el mismo comportamiento. (La longitud de la columna ha de ser al menos 10 veces el diámetro de la misma).

- Se trabajan las cuñas para que tengan la misma sección en toda la **longitud L** (no es exactamente una columna pero las resonancias aparecen...)
- Golpeando con un martillo en una de las caras se miden mediante un micrófono en la cara opuesta las frecuencias de las ondas estacionarias.
- Mediante un programa que realice la FFT obtenemos la **frecuencia f** de este primer modo longitudinal:
- Calculamos la velocidad de propagación mediante la fórmula

$$C = 2 \cdot L \cdot f$$

Las medidas de C se pueden realizar mediante el equipo de medida LucchiMeter también en las tapas y fondos ya construidos y se ha visto que los valores que ofrece cada medida son diferentes, en este caso y sobre todo mucho menores en la tapa de abeto.

Uno de los factores importantes a tener en cuenta a la hora de interpretar los valores que obtenemos de la velocidad de propagación del sonido es que en un bloque o barra de madera las fibras van rectas y la propagación se efectúa a través de ellas y paralela a las mismas, mientras que en la tapa de un violín ya construida y con madera de abeto, la talla de la bóveda hace que las fibras resulten todas ellas cortadas y las ondas van viajando a lo largo de la tapa pasando por fibras de madera temprana -muy blanda- a fibras de madera tardía -muy dura-, de manera que la dirección de propagación de las ondas forma un ángulo oblicuo con la dirección de las fibras. Tan solo en el comienzo y en el centro la dirección de propagación es paralela a las fibras. Ese salto de las fibras blandas a las duras hace que se ralentice C. Ya hemos visto que C nos da una medida de la rigidez del sistema por lo que podemos deducir que las fibras cortadas debilitan la estructura.



Materia: Tecnología de la madera.

Curso: 1.º

Carga horaria: 75 horas.

A) OBJETIVOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1.– Aplicar criterios de selección físicos, estéticos y mecánico-acústicos en la adquisición de maderas, en bruto o a medida, para instrumentos musicales artesanos, en función de las piezas en las que va a ser transformada y comprender e identificar la estructura y propiedades del árbol.

Criterios de evaluación:

- a) Describir y analizar la anatomía del árbol, su estructura física y química relacionándolo con su repercusión en el sonido y en el instrumento musical.
 - b) Describir y analizar las propiedades físicas, mecánicas y estéticas de la madera y su relación y repercusión en la construcción de instrumentos musicales de arco.
 - c) Describir y analizar las propiedades acústicas de la madera, aplicadas a la construcción de instrumentos: cálculo de densidad **mediante los dos métodos: geométrico y de desplazamiento de volumen**, rigidez, velocidad de propagación **mediante el método de la columna de madera y las ondas longitudinales y mediante el equipo de medida LucchiMeter, comparando ambos datos, comparando valores obtenidos mediante diferentes métodos y modos de vibración, 2º y 5º para el cálculo de la Impedancia Específica Z_{Evans}**
 - d) Describir los defectos más habituales (rajas, revirados, nudos, entre otros) que presentan las maderas en bruto o a medida relacionándolos con las características de calidad de los instrumentos artesanos.
 - e) describir los procedimientos de verificación de las maderas en bruto o a medida relacionando los factores que originan los defectos.
 - f) Describir los factores que se consideran en la valoración de la calidad visual y mecánica de las maderas en bruto o a medida relacionándolos con las características finales del instrumento musical.
 - g) Describir la normativa CITES (Convention International Trade in Endangered Species) relacionándola con las normativas de protección ambiental.
 - h) En un supuesto práctico de aplicación de criterios de selección, a partir de unas especificaciones de proyecto y unas muestras dadas:
 - Identificar las maderas utilizadas en la construcción de instrumentos musicales de arco.
 - Decidir el tipo de madera a utilizar en función de sus características físicas y estéticas.
 - Identificar las maderas dadas a partir de sus características físicas y acústicas
 - Analizar la densidad **mediante los dos métodos: geométrico y de desplazamiento de volumen** y la velocidad de propagación del sonido de las piezas **mediante el método de la columna de madera y las ondas longitudinales y mediante el equipo de medida LucchiMeter, comparando ambos datos**
- Establecer los parámetros a verificar en las muestras determinando el procedimiento a utilizar.
- Verificar su calidad mediante procedimientos visuales y táctiles.
- Seleccionar las maderas a utilizar de entre las dadas.

B) CONTENIDOS

1.– Anatomía del árbol Célula, fibra y vasos. Alimentación, crecimiento y funciones. Estructura física y química: fibra, tejido, veta, anillos y radios de crecimiento. Materia orgánica e inorgánica.

2.– Tipos de madera en la construcción de instrumentos musicales Tipos comerciales. Presentaciones comerciales. Denominación científica. Características mecánicas y propiedades acústicas de la madera: cálculo de densidad, rigidez, velocidad de propagación y modos de vibración. Propiedades mecánicas de la madera: compresión, tracción, flexión, cortadura, torsión, desgaste, resistencia al choque. Propiedades físicas y estéticas de la madera: hendibilidad, dureza, flexibilidad, facilidad de pulido, densidad, porosidad, higroscopicidad, contracción, hinchazón, color, veteado, olor, duración. Enfermedades y defectos de la madera. Tipos de vetas. Tipos de cortes. Estándares de calidad. Normativa de protección ambiental referida a maderas: origen, especies protegidas, certificaciones CITES (Convention International Trade in Endangered Species).

NUEVAS TECNOLOGÍAS I (aplicación al sonido) transversal con Acústica II (Instrumento Completo) y Acústica III (Diagnóstico del sonido)

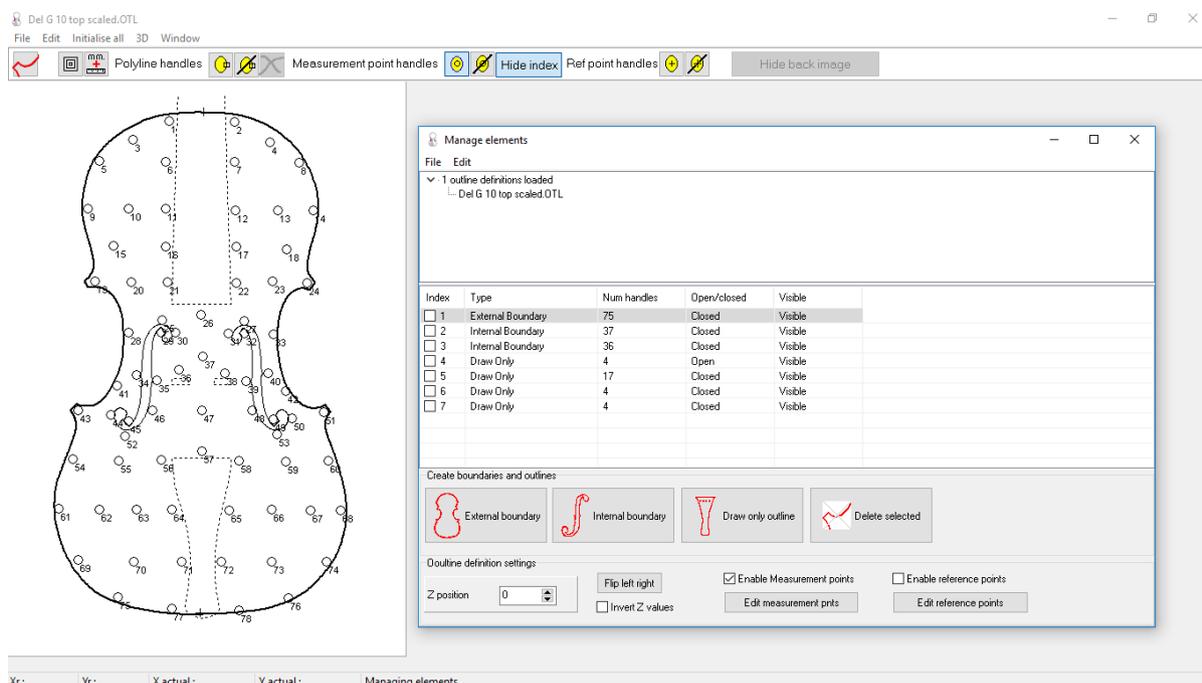
En esta asignatura tiene cabida toda la experiencia que hemos adquirido en el manejo del software desarrollado por George Stoppani. Esta herramienta tiene un potencial extraordinario ya que nos permite visualizar los modos de vibración de cualquier estructura que queramos estudiar y en nuestro caso la aplicación directa va dirigida a los violines, violas o violoncellos.

Poder visualizar las formas, las amplitudes y las diferentes frecuencias a la que se mueve un violín completo, nos permite entender mejor su comportamiento y analizar, si las tuviera, las carencias tímbricas, asociándolas a determinados modos de vibración. Si el timbre del violín falla en graves habrá que fijarse en los modos de bajas frecuencias, si falla en la nasalidad, el problema puede que esté en los modos cercanos a 1.5kHz, etc. Todo este conocimiento es transversal con las asignaturas de Acústica II (Instrumento completo) y de Acústica III (diagnóstico del sonido) al ser una herramienta de aplicación directa, tanto en la comprensión del funcionamiento del violín como en el diagnóstico del sonido de un instrumento, al poder visualizar la forma en la que se mueve un violín a las diferentes frecuencias y al permitirnos detectar las carencias que pudiera tener un instrumento.

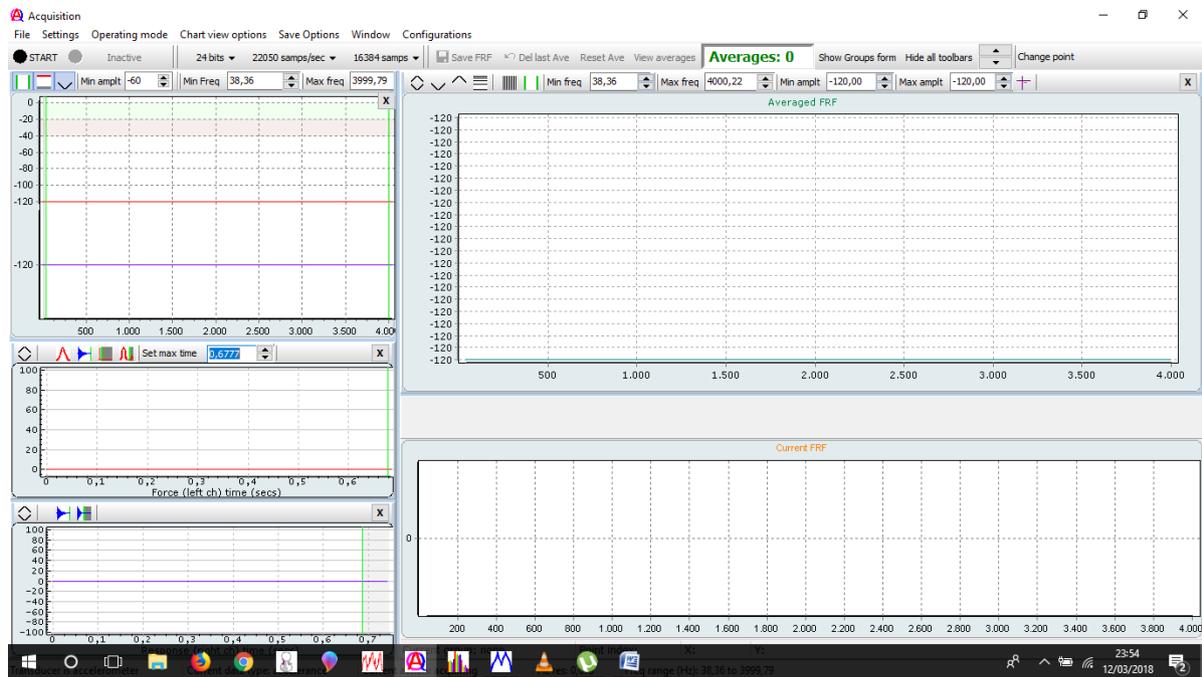
Programa de Análisis Modal desarrollado por George Stoppani

Una vez definidos los puntos en los que se golpea con el martillo transductor, el programa de adquisición de datos recibe los datos a través del acelerómetro situado en la zona de la cuerda grave del puente del violín. Los datos son después analizados con ayuda de las resonancias obtenidas y una vez procesados los modos se pueden visualizar cada uno de ellos por separado. De esta forma podemos ver qué partes se están moviendo a las diferentes frecuencias. Para este proceso el programa cuenta con diversos subprogramas cada cual con una función específica.

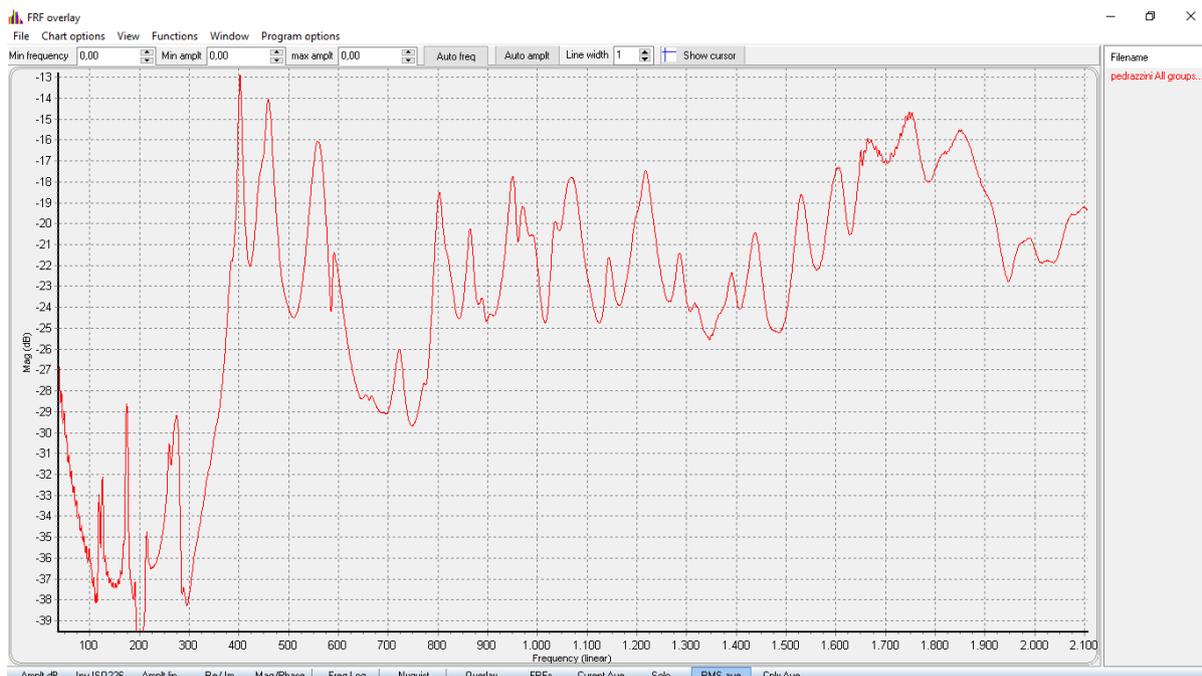
Plot Mode Shape (Podemos realizar el diseño de las curvas y formas exteriores e interiores que definen las partes que se mueven en el violín y se realiza la definición de los puntos en los que se golpeará para realizar el análisis modal)



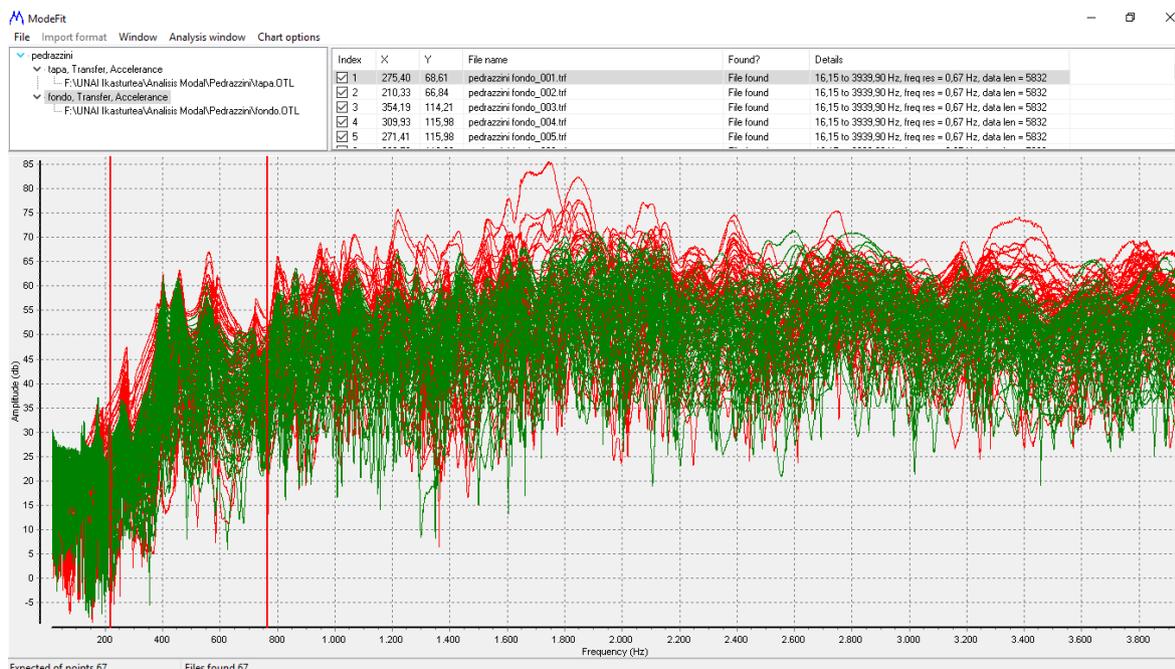
Acquisition (Programa de adquisición de los datos. Interfaz que muestra el tipo de golpe o impulso que se envía y el que se recibe, así como la coherencia entre los datos recibidos de un golpe y el anterior en un mismo punto necesitando de unos 5 golpes aproximadamente para tener una media objetiva)



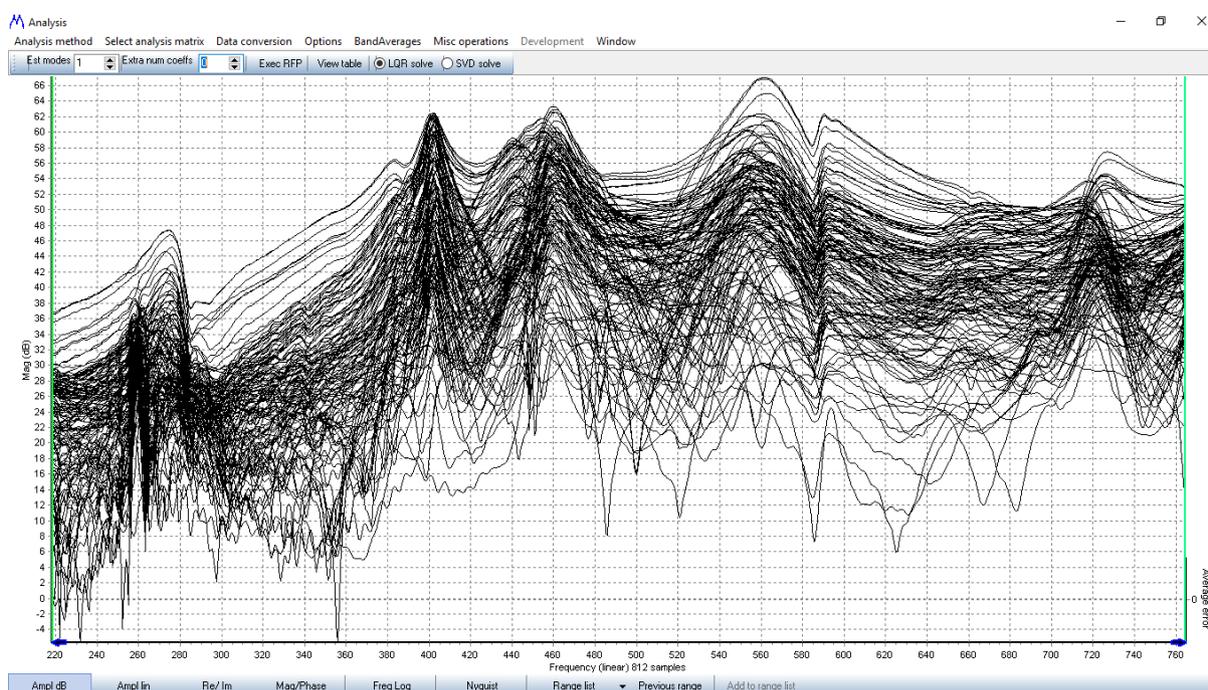
FRF Overlay (Programa para la visualización de las resonancias, sus amplitudes y frecuencias en el dominio de la frecuencia a partir de las medidas realizadas en el violín. Permite comparar diferentes medidas en el mismo instrumento o en diferentes instrumentos)



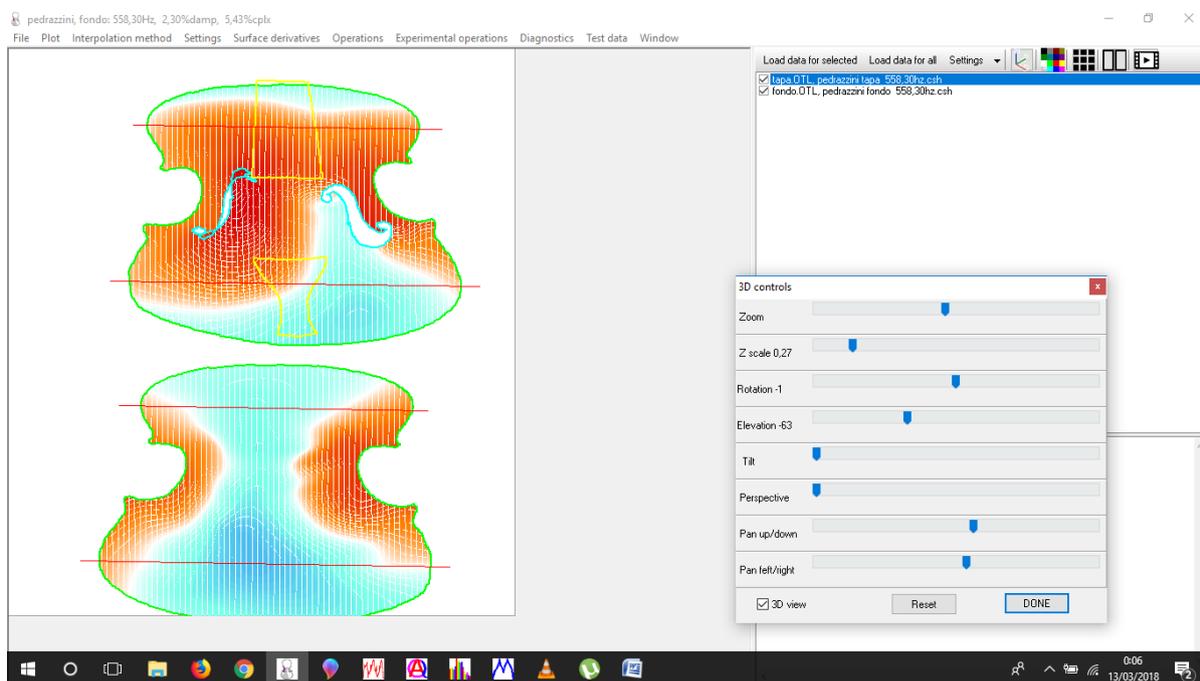
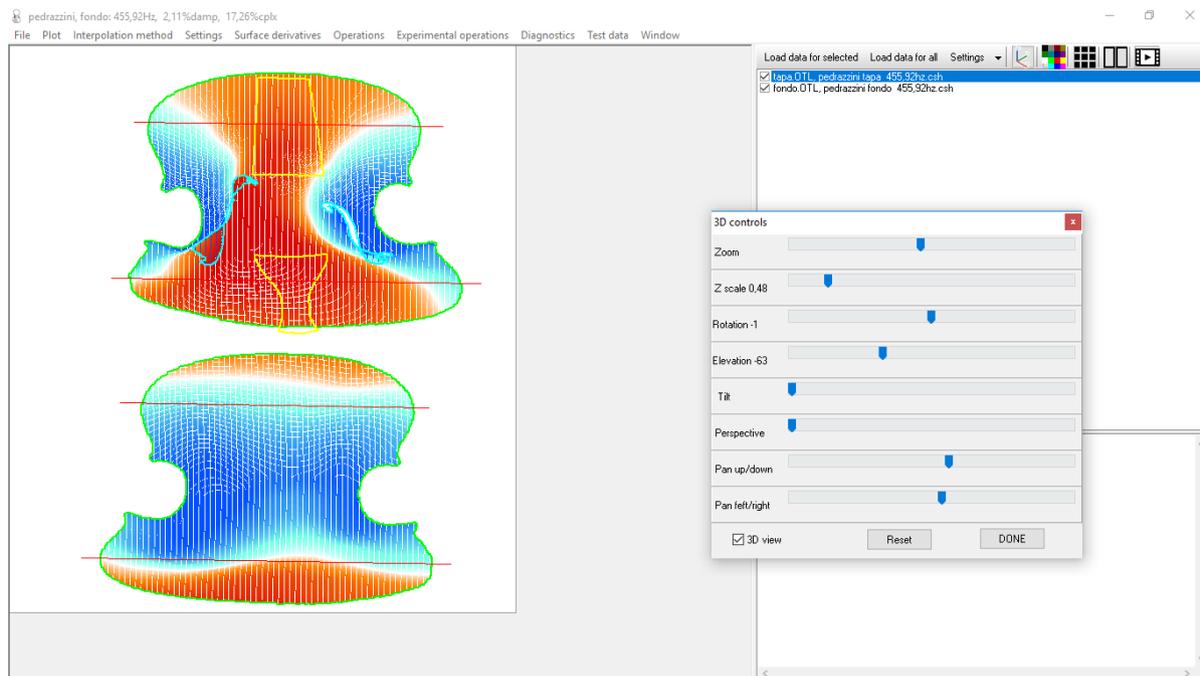
Mode Fit (Programa para la búsqueda y composición de los modos de vibración del violín analizado a partir de los datos recogidos por el programa)



Las resonancias hay que seleccionarlas por grupos y evaluar los máximos aplicando los procesos correspondientes. El programa permite detectar y visualizar modos de vibración muy cercanos en frecuencia.



Plot Mode Shape (Una vez procesados, este programa permite la visualización de cada uno de los modos de vibración. En el ejemplo siguiente podemos ver la tapa y el fondo visto desde el interior superior aparece el modo B1- y en el ejemplo inferior el modo B1+, dos de los más importantes en frecuencias graves. La visualización de las formas de los diferentes modos nos permite tener una idea de algún posible fallo estructural del instrumento)



NUEVAS TECNOLOGÍAS II (por desarrollar)

La herramienta de diseño y mecanizado aplicada a la luthería no es nueva. Ya a principios del siglo XX la floreciente industria de la construcción de instrumentos de arco comenzó a utilizar pantógrafos para copiar modelos de bóvedas que se sabía funcionaban bien.

Hoy en día la tecnología es suficientemente accesible como para poder acceder a equipos que diseñen y recreen mediante CNC modelos que interese producir. Las bóvedas exteriores son muy importantes aún así el trabajo manual del ser humano aún tiene mucho recorrido en el proceso constructivo y las cambiantes características de las maderas necesitan de retoques muy personalizados para cada instrumento. El trabajo de la máquina se puede pensar más en términos de una ayuda en el desbaste general que nos permite utilizar ese tiempo en procesos más creativos.

Dibujando con Aspire

Estrategias de corte con Cut 3D

Interfaz para controlar las trayectorias en la máquina con Artsoft Mach 3

Nuevas metodologías para la enseñanza

Con este proyecto se han adquirido nuevas capacidades para la realización de un trabajo en equipo. Esta capacidad se pretende integrarla e implementarla en el Plan de Estudios creando grupos de alumnos y alumnas, con el fin de realizar un mismo trabajo entre todas las personas y conseguir cumplir un mismo objetivo. Consideramos importantes las capacidades de coordinación del trabajo personal de cada persona del grupo para conseguir aunar estilos y estéticas diferentes en pos de un estilo unificado y global. Estas capacidades complementarán las competencias profesionales básicas que adquieren los y las alumnas en la escuela.

Las traducciones y futuras actualizaciones estarán disponibles en:

<http://www.bele.es/es/bilbao-project-evolucion/>