

## ANEXOS

### ANEXO I: ESTRUCTURA DE LA MADERA

Hay 3 niveles importantes en la estructura de la madera:

- estructura de las fibras
- estructura de las celdas
- macroestructura

En la Figura.I.1. se muestra la estructura de la madera.

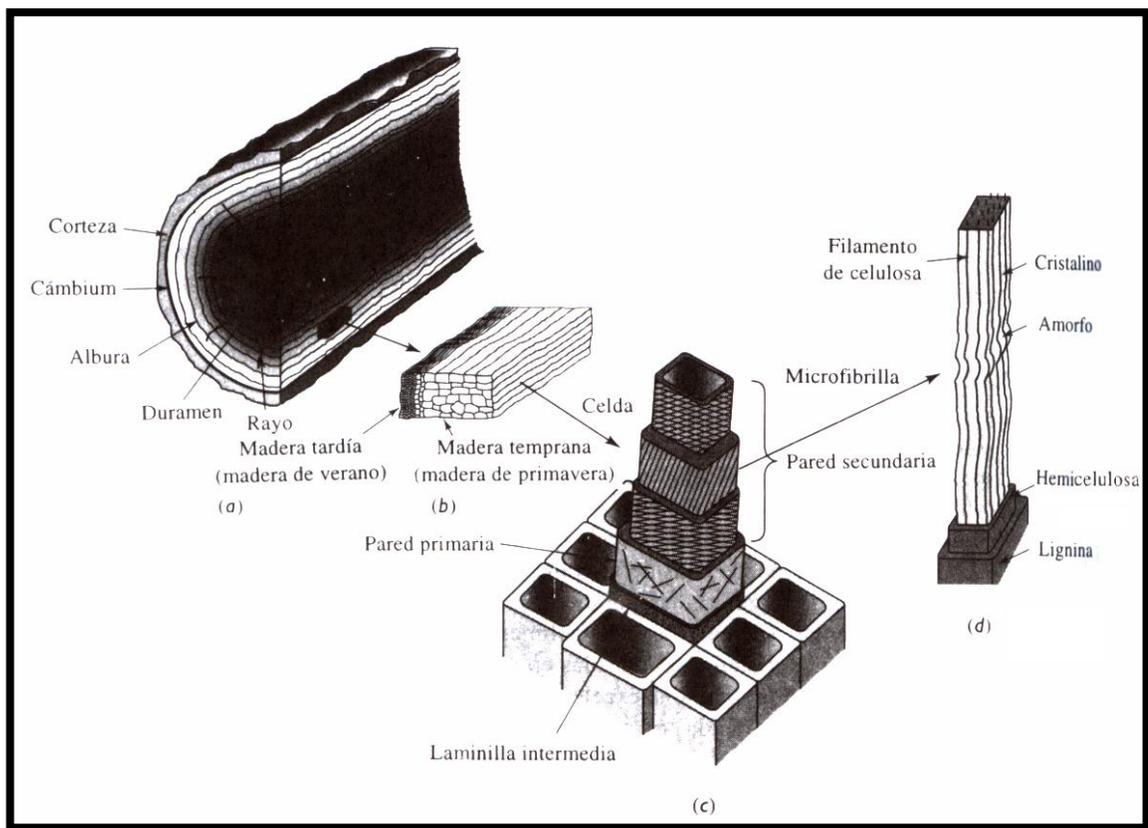


Figura.I.1. Estructura de la madera: a) Macroestructura, que incluye una estructura en capas, identificada por los anillos de crecimiento anual; b) detalle de la estructura de celda dentro de un anillo de crecimiento anual; c) estructura de una celda, incluyendo varias capas compuestas de microfibrillas de celulosa, de fibras de hemicelulosa y de lignina; d) cadenas alineadas, de celulosa parcialmente cristalina en la microfibrilla. [7]

**Estructura fibrosa.** El componente básico de la madera es la celulosa,  $C_6H_{10}O_5$  configurada en cadenas poliméricas que forman fibras largas. Gran parte de cada fibra está en estado cristalino, las regiones cristalinas están separadas por pequeños tramos de celulosa amorfa. El conjunto de cadenas de celulosa está recubierto de una capa de hemicelulosa amorfa, con sus cadenas orientadas aleatoriamente. Finalmente, la hemicelulosa está cubierta con lignina. Todo el conjunto, formado de cadenas de celulosa, cadenas de hemicelulosa y lignina se conoce como microfibrilla.

**Estructura de la celda.** El árbol está compuesto de celdas alargadas, que a menudo tienen una relación de forma de 100 o más, y que constituyen aproximadamente el 95 por ciento del material sólido en la madera. Las celdas huecas están formadas por varias capas construidas a partir de microfibrillas. La primera pared o pared principal de la celda contiene microfibrillas orientadas aleatoriamente. Conforme se engrosa la pared de la celda, se forman otras tres capas distintas. Las paredes externas e internas contienen microfibrillas orientadas en dos direcciones que no son paralelas a la celda. La pared intermedia, que es la más gruesa, contiene microfibrillas alineadas de manera unidireccional, generalmente en un ángulo que no es exactamente paralelo al eje de la celda.

**Macroestructura.** Un árbol está formado por varias capas. La capa externa (corteza), que protege al árbol. El cámbium, justo por debajo de la corteza, contiene celdas para el nuevo crecimiento. La albura contiene unas cuantas celdas vivas huecas, que almacenan nutrientes y sirven como conducto para el agua. Y finalmente, el duramen, que sólo contiene celdas muertas, aporta la mayor parte del soporte mecánico del árbol.

El árbol crece cuando en el cámbium se desarrollan nuevas celdas alargadas. Al principio de la estación de crecimiento, las celdas son grandes; posteriormente pueden tener un diámetro menor, paredes más gruesas y una densidad más alta. Esta diferencia entre la madera temprana (o de primavera) y la tardía (o de verano), es la que permite observar los anillos de crecimiento anual. Además, algunas celdas crecen en dirección radial; estas celdas, llamadas rayos, sirven para almacenamiento y transporte de alimento.

### **Hinchazón y merma de la madera.**

La variación del contenido de humedad produce en la madera una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae o merma. Estos movimientos sólo tienen lugar cuando su contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (aproximadamente cuando tienen una humedad del 30%), a partir del 30% sólo se produce un aumento de peso y su volumen permanece prácticamente constante.

Debido a su anisotropía, las variaciones dimensionales no serán las mismas en las direcciones axial, radial y tangencial. Estas contracciones o mermas modifican también, como es natural, su volumen. Para evaluarlas se han definido los coeficientes de contracción: contracción volumétrica total, contracción tangencial y contracción radial.

La diferencia entre la contracción radial y la tangencial es la causa por la que se deforman las maderas durante el proceso de secado; por esa razón, en ebanistería se emplean maderas cuyas contracciones radiales y tangenciales son muy parecidas, siendo más apreciada la madera cuanto menor es la diferencia entre ambas. Según sus coeficientes la madera se clasifica como: muy nerviosa, nerviosa, moderadamente nerviosa y poco nerviosa

### **Propiedades mecánicas y acústicas de las maderas en la construcción.**

Transmisión del sonido (tabiques o suelos) - ruido aéreo. La pérdida de transmisión se rige por la ley de masas, cuanto mayor sea la masa por unidad de superficie del tabique la transmisión será menor. Esta ley indica que la madera, de forma aislada no es un buen aislante acústico; pero si las paredes o suelo constan de dos o más elementos de madera y se incorporaran otros productos con mejores propiedades acústicas, de tal forma que queden sin contacto entre sí (rotura de los puentes acústicos), se consigue un buen nivel de aislamiento. El diseño y composición del tabique o suelo es de gran importancia para mejorar sus prestaciones acústicas.

Aislamiento de impactos (suelos - techos) - ruido de impactos. Mide el grado en que un suelo o techo produce la transmisión del ruido de pisada u otros impactos. Los mejores resultados se consiguen con suelos pesados y no resonantes, en ambos casos la madera está en desventaja. Pero al igual que en el caso de transmisión una posible solución se centraría en el diseño y composición de estos elementos.

## ANEXO II: FILTROS EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

La función de transferencia de un sistema analógico puede representarse con una función compleja  $H(s)$ , y la de un sistema digital se representa mediante una función compleja  $H(z)$ . Estas funciones de transferencia describen el efecto del sistema sobre una señal de entrada y también el efecto de filtración del sistema. Tanto  $H(s)$  como  $H(z)$  son funciones continuas de la frecuencia, donde

$$s = j\omega$$
$$z = e^{j\omega T}$$

Es muy frecuente que se describa el efecto de los filtros en términos de la banda de frecuencias que deja pasar. Así, se tienen filtros pasabajas, pasaaltas, pasabanda y parabanda o rechaza banda. Los filtros pasabajas dejan pasar frecuencias por debajo de una frecuencia de corte y eliminan las mayores que la frecuencia de corte. Los filtros pasaaltas dejan pasar las frecuencias mayores que una frecuencia de corte y eliminan las menores. Los filtros pasabanda dejan pasar las frecuencias dentro de una banda específica y eliminan las demás. Los filtros parabanda eliminan las frecuencias dentro de una banda específica y dejan pasar todas las demás. La Figura.II.1.muestra ejemplos de estos cuatro tipos generales de filtros ideales.

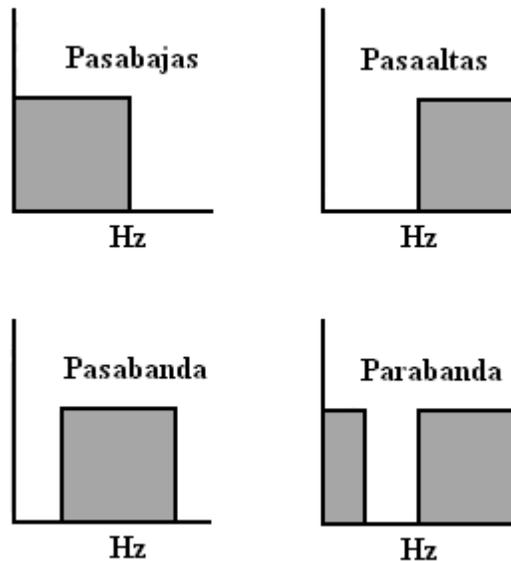


Figura.II.1. Tipos generales de filtros.

### Filtros *comb* utilizados en el análisis acústico para el primer grupo

La función `iircomb` proporciona el comando de diseño en Matlab de un filtro *comb* o peine, así:

```
[num,den] = iircomb(n,bw,'peak')
```

Retorna un filtro digital de orden  $n$  y con un ancho de banda  $bw$ .  $N$  debe ser un número entero positivo y también define el número de cortes o picos de filtro

En las figuras siguientes se muestran los filtros utilizados en el análisis de las señales de audio de las guitarras del primer grupo.

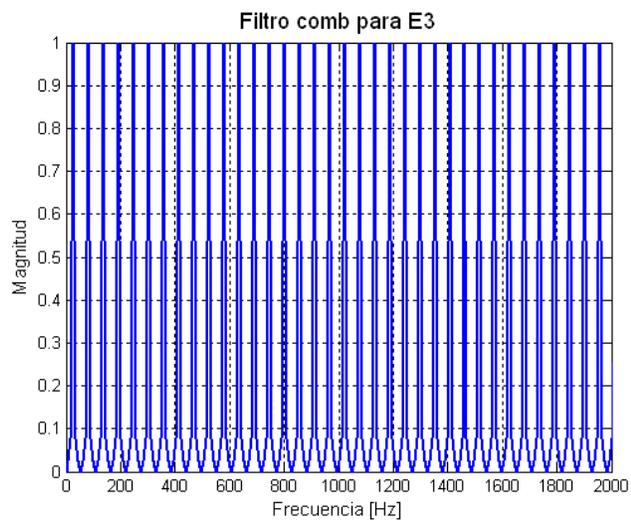


Figura.II.2. Filtro *comb* para E3

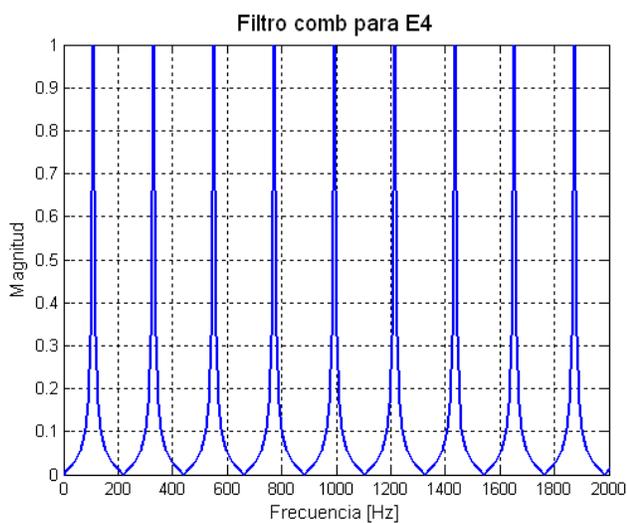


Figura.II.3. Filtro *comb* para E4

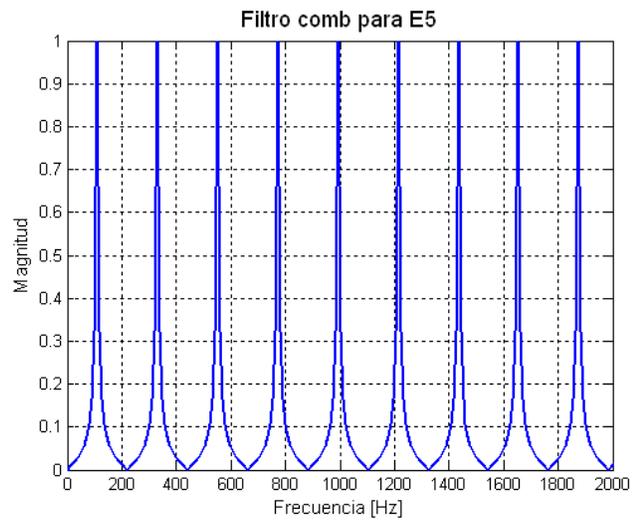


Figura.II.4. Filtro *comb* para E5

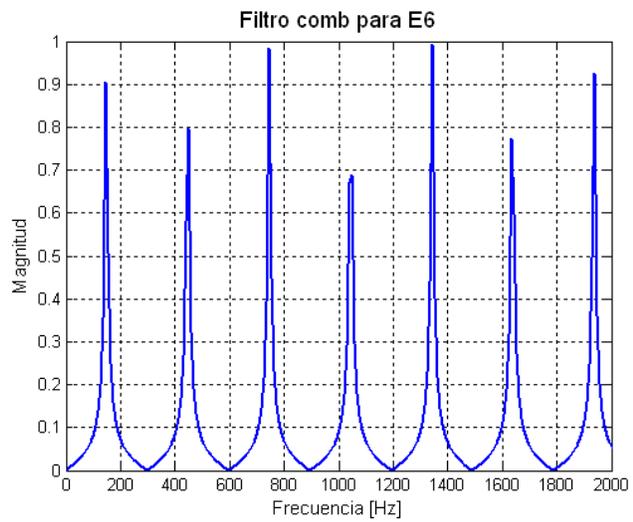


Figura.II.5. Filtro *comb* para E6

## ANEXO III: ANÁLISIS ACÚSTICO

### Oscilogramas del primer grupo

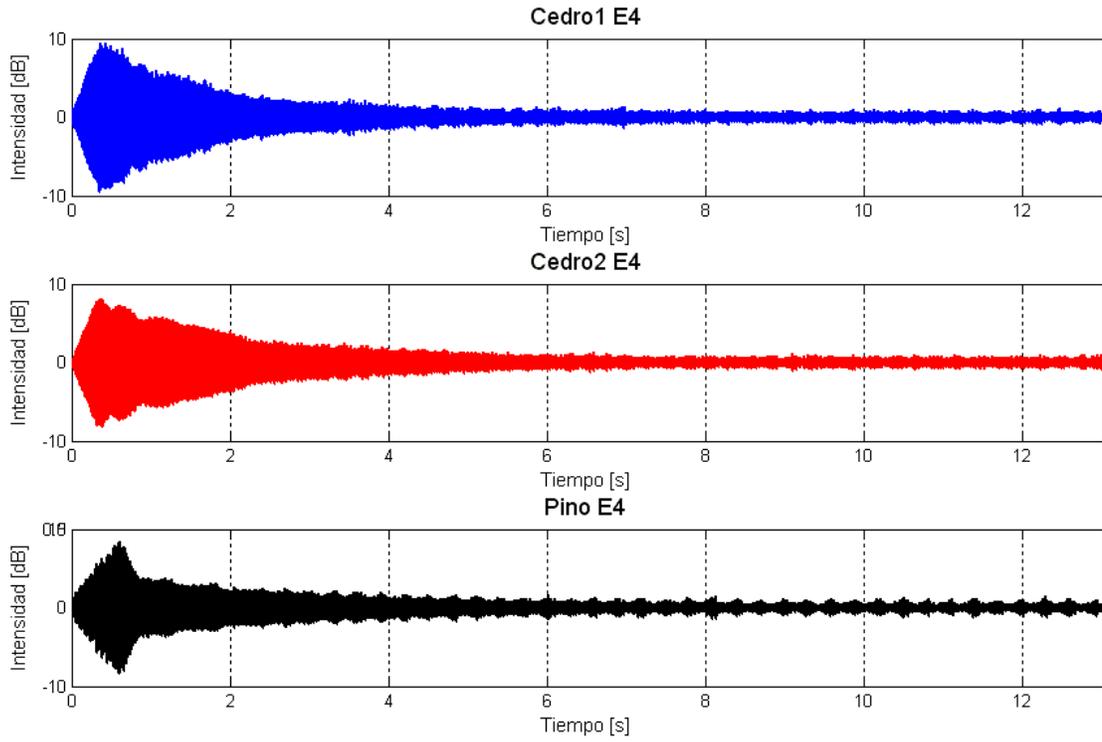


Figura.III.1. Señales correspondientes a la nota E4 para cada guitarra del primer grupo.

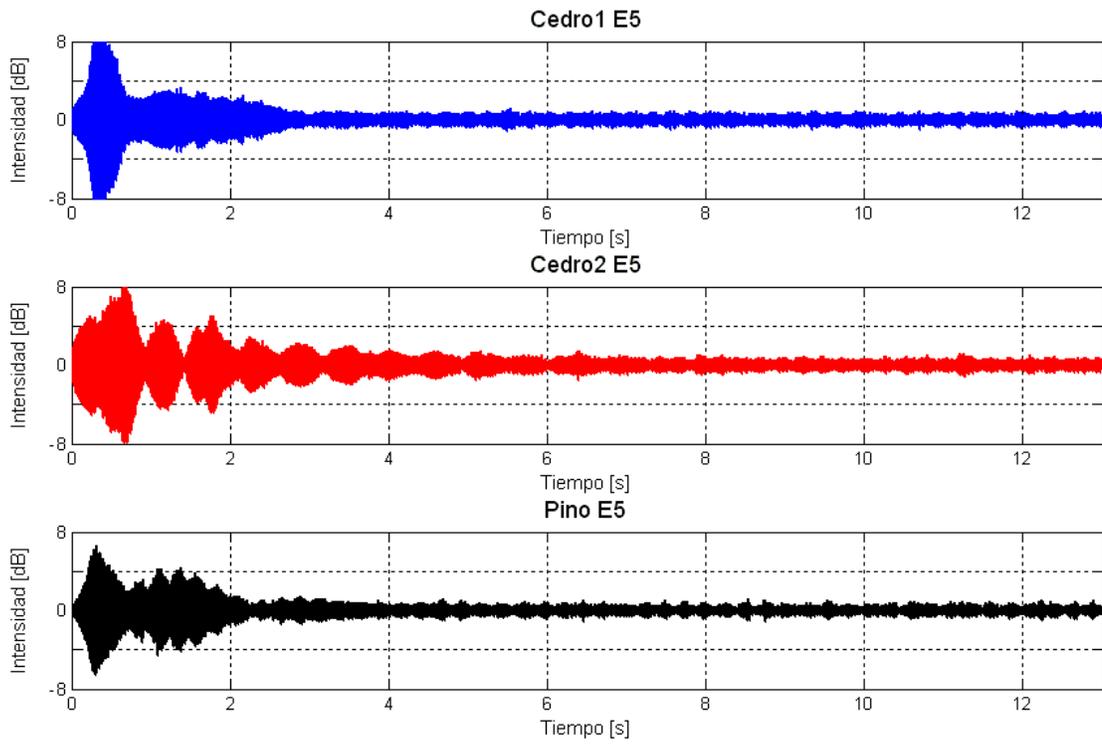


Figura.III.2. Señales correspondientes a la nota E5 para cada guitarra del primer grupo.

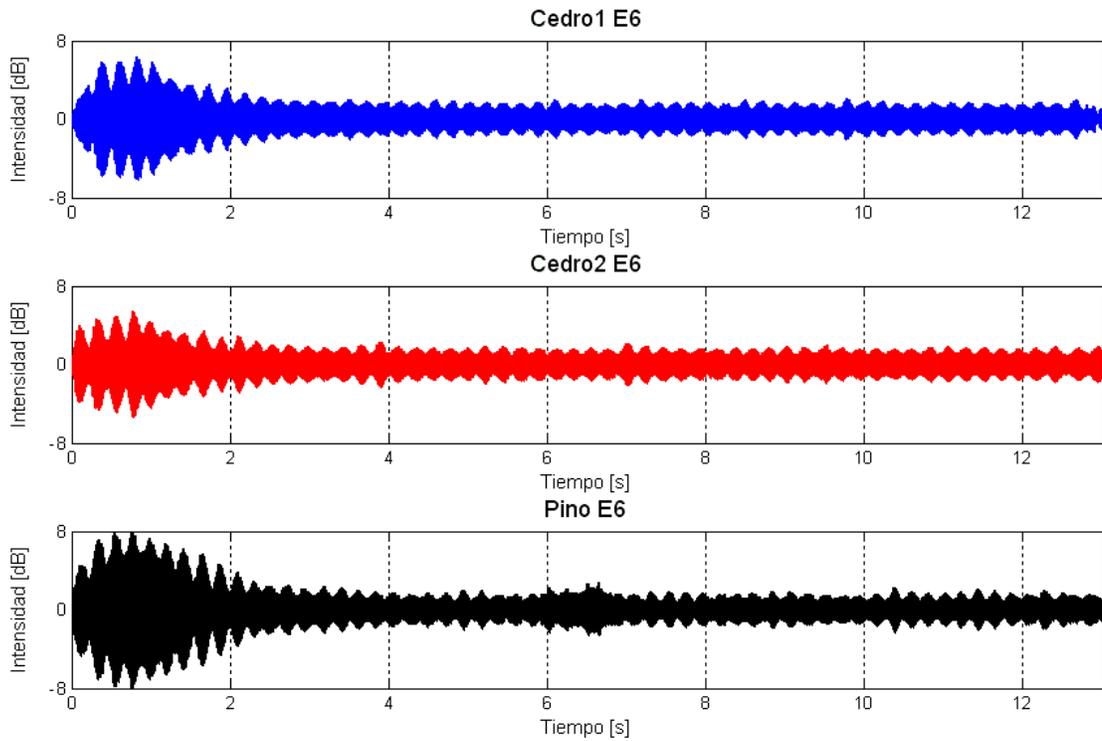


Figura.III.3. Señales correspondientes a la nota E6 para cada guitarra del primer grupo.

### Espectros de frecuencia del primer grupo

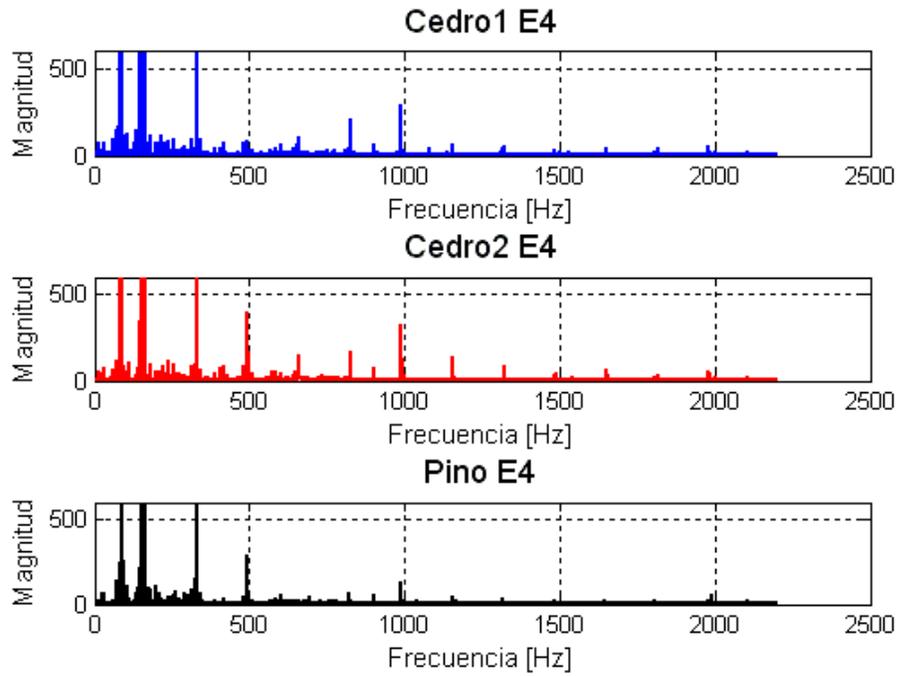


Figura.III.4. Espectros de frecuencia correspondientes a la nota E4 para cada guitarra del primer grupo.

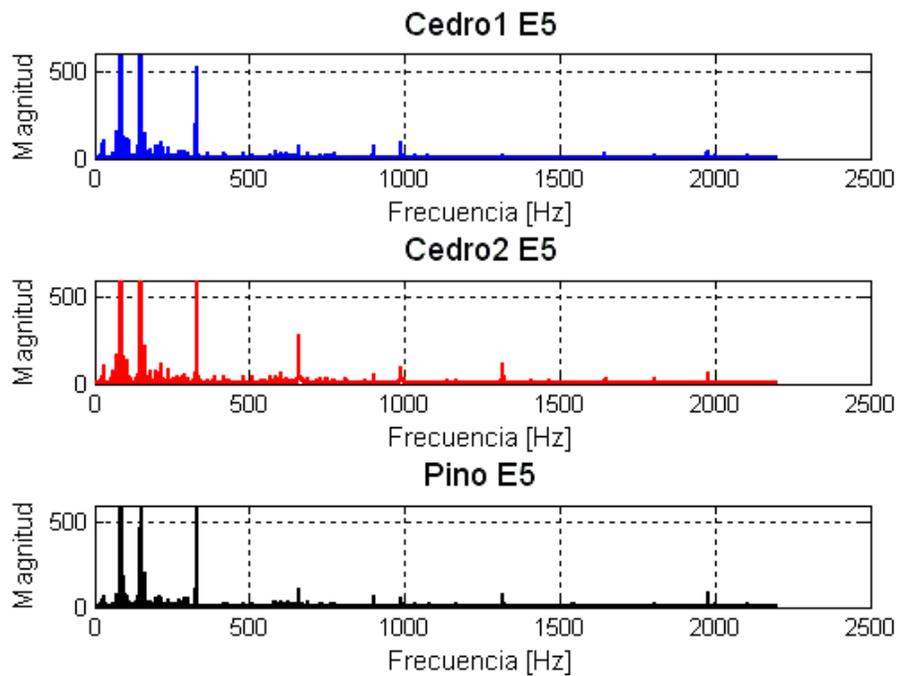


Figura.III.5. Espectros de frecuencia correspondientes a la nota E5 para cada guitarra del primer grupo.

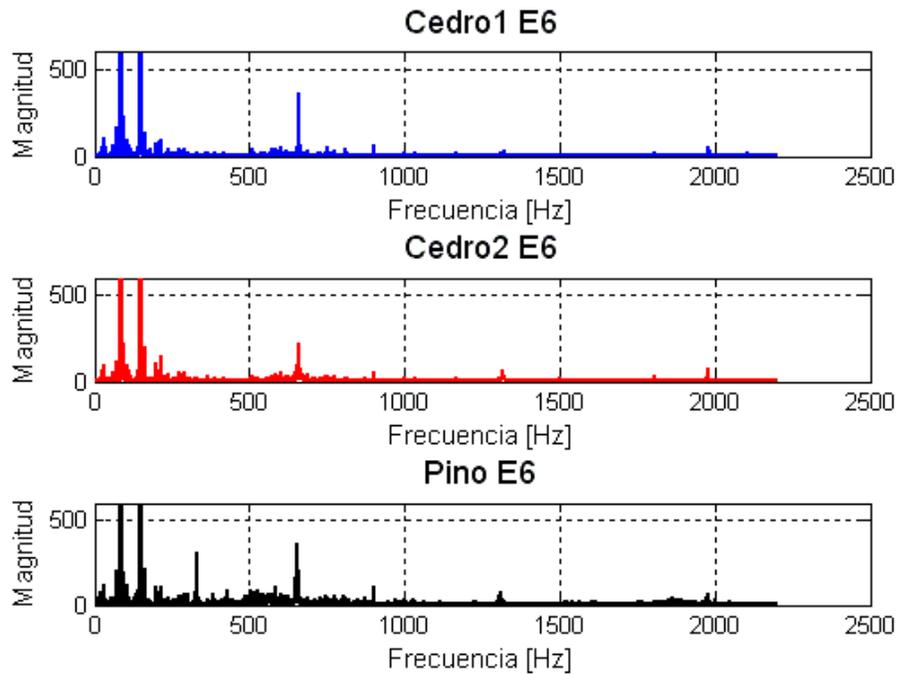


Figura.III.6. Espectros de frecuencia correspondientes a la nota E6 para cada guitarra del primer grupo.

Tabla.III.1. Armónicos y número de armónicos presentes en los espectros de la nota E4 de las guitarras del primer grupo.

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Cedro1</b>	<b>Cedro2</b>	<b>Pino</b>
82	*	*	*
164	*	*	*
329	*	*	*
493	*	*	*
660	*	*	*
824	*	*	*
901	*	*	*
990	*	*	*
1052			*
1071	*		
1157	*	*	
1320	*	*	*
1487	*	*	*
1650	*	*	*
1819	*	*	
1980	*	*	*
2104	*	*	*
Número de armónicos	16	15	14

Tabla.III.2. Armónicos y número de armónicos presentes en los espectros de la nota E5 de las guitarras del primer grupo.

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Cedro1</b>	<b>Cedro2</b>	<b>Pino</b>
82	*	*	*
164	*	*	*
329	*	*	*
659	*	*	*
901	*	*	*
986	*	*	*
1034	*	*	*
1078	*	*	*
1317	*	*	*
1646	*	*	
1977	*	*	*
Número de armónicos	11	11	10

Tabla.III.3. Armónicos y número de armónicos presentes en los espectros de la nota E6 de las guitarras del primer grupo.

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Cedro1</b>	<b>Cedro2</b>	<b>Pino</b>
164	*	*	*
328			*
661	*	*	*
750	*	*	*
901	*	*	*
1034	*	*	*
1320	*	*	*
1980	*	*	*
Número de armónicos	7	7	8

## Datos segundo grupo

### Oscilogramas del segundo grupo

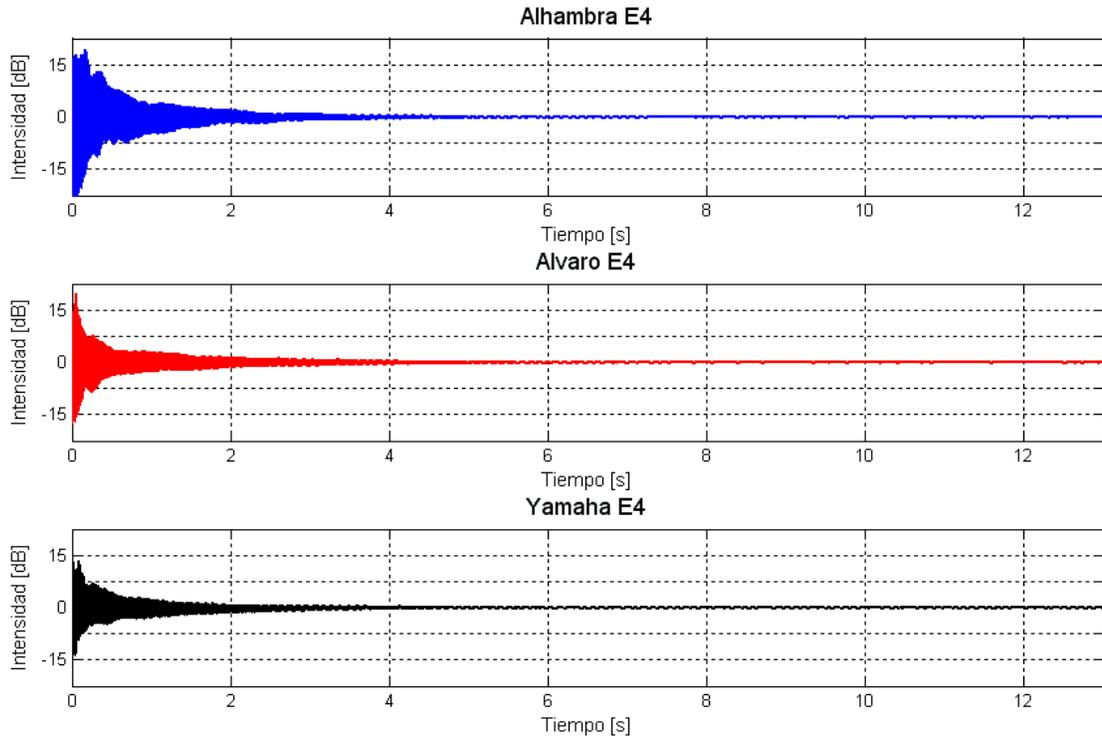


Figura.III.7. Señales correspondientes a la nota E4 para cada guitarra del segundo grupo.

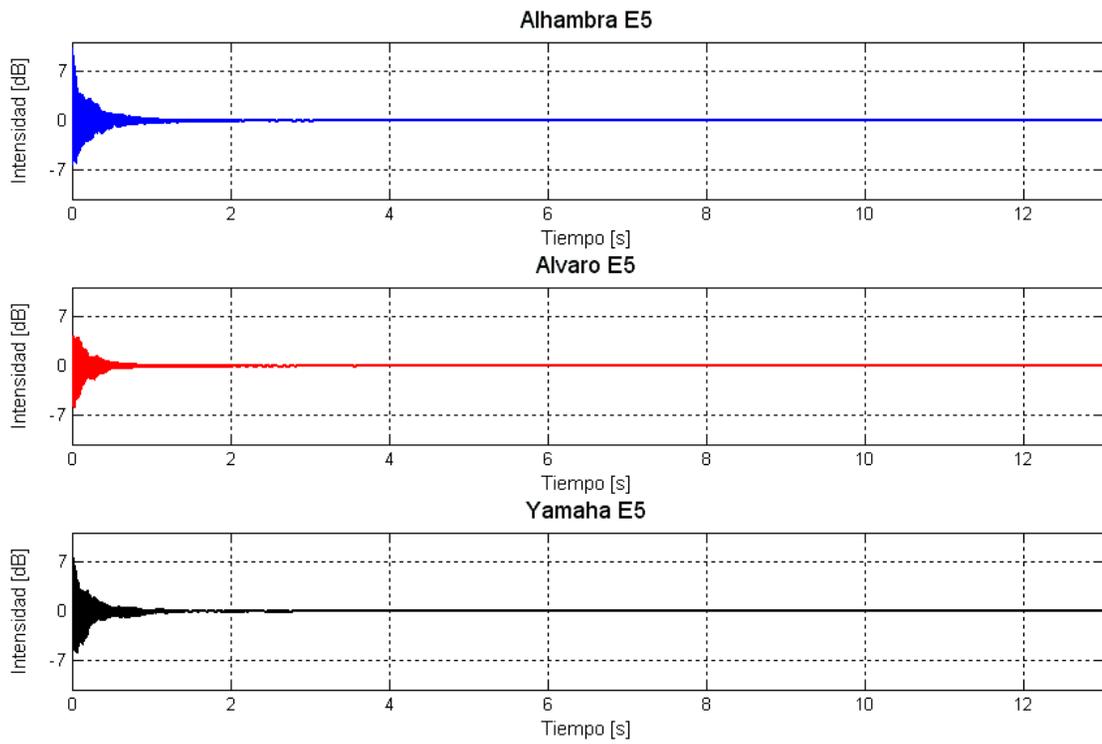


Figura.III.8. Señales correspondientes a la nota E5 para cada guitarra del segundo grupo.

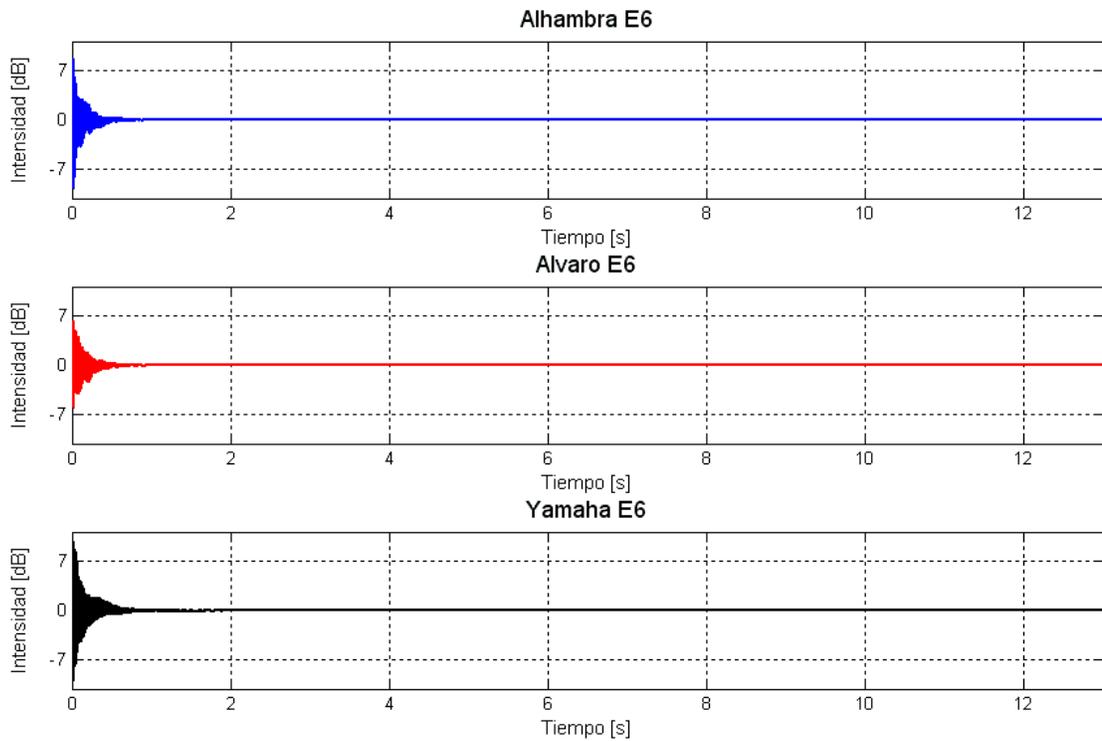


Figura.III.9. Señales correspondientes a la nota E6 para cada guitarra del segundo grupo.

### Espectros de frecuencia del segundo grupo

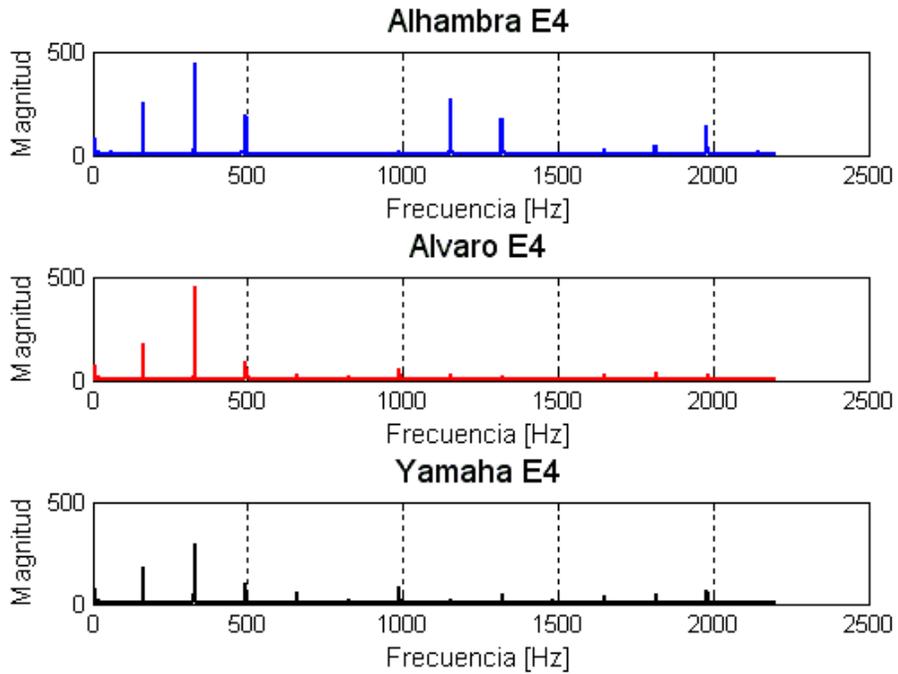


Figura.III.10. Espectros de frecuencia correspondientes a la nota E4 para cada guitarra del segundo grupo.

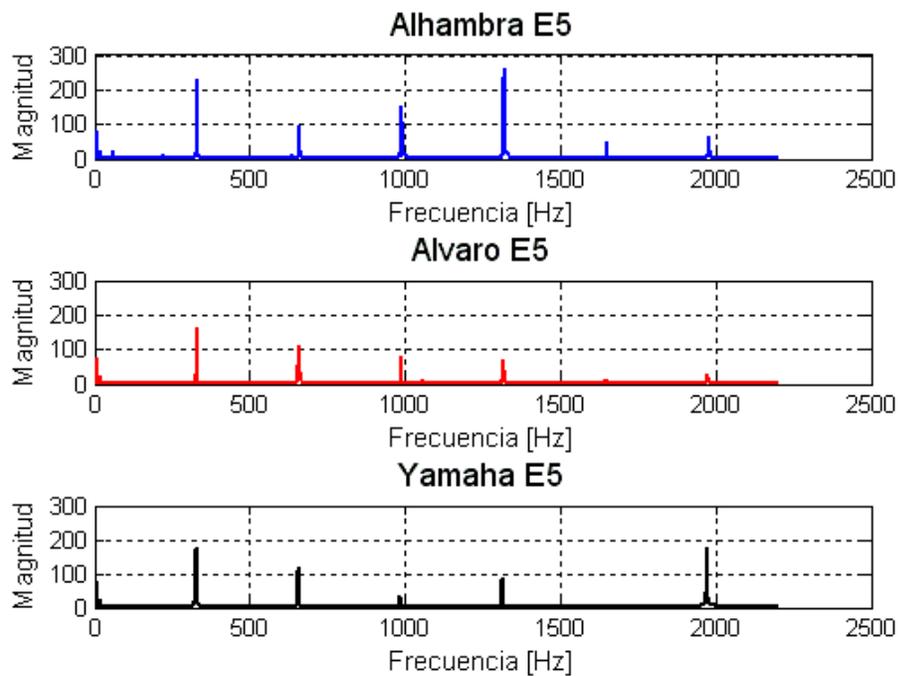


Figura.III.11. Espectros de frecuencia correspondientes a la nota E5 para cada guitarra del segundo grupo.

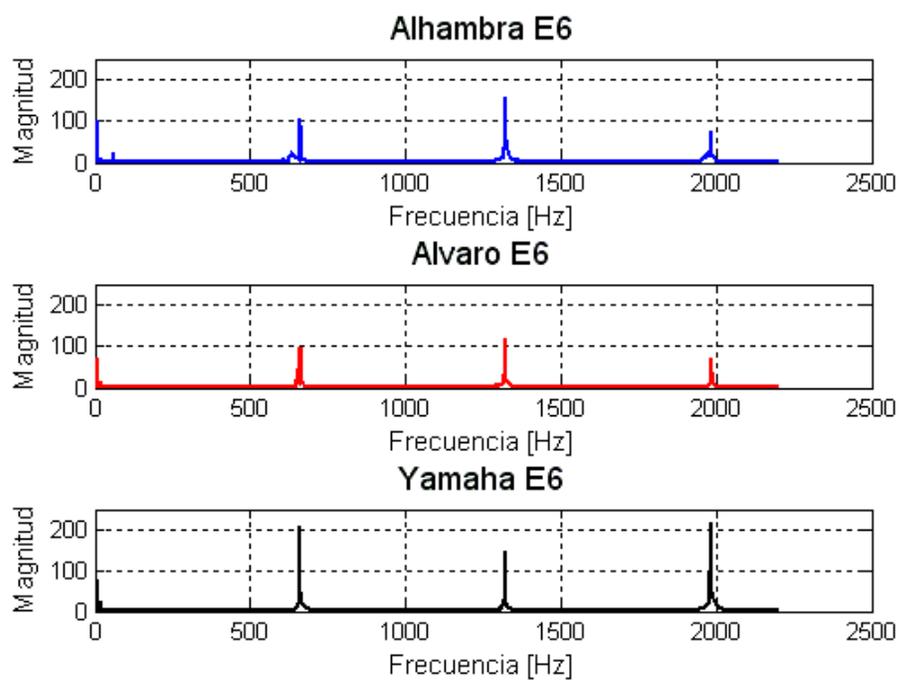


Figura.III.12. Espectros de frecuencia correspondientes a la nota E6 para cada guitarra del segundo grupo.

Tabla.III.4. Armónicos y número de armónicos presentes en los espectros de la nota E4 de las guitarras del segundo grupo.

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Alvaro</b>	<b>Yamaha</b>	<b>Alhambra</b>
164	*	*	*
329	*	*	*
493	*	*	*
659	*	*	*
822	*	*	
991	*	*	*
1057	*	*	*
1155	*		
1321	*	*	*
1487	*	*	
1652	*	*	*
1819	*	*	*
1985	*	*	*
2146	*	*	*
Número de armónicos	14	13	11

Tabla.III.5. Armónicos y número de armónicos presentes en los espectros de la nota E5 de las guitarras del segundo grupo.

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Alvaro</b>	<b>Yamaha</b>	<b>Alhambra</b>
329	*	*	*
659	*	*	*
986	*	*	*
1057	*		
1315	*	*	*
1645	*	*	*
1974	*	*	*
Número de armónicos	7	6	6

Tabla.III.6. Armónicos y número de armónicos presentes en los espectros de la nota E6 de las guitarras del segundo grupo.

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Alvaro</b>	<b>Yamaha</b>	<b>Alhambra</b>
632			*
661	*	*	*
1057	*		*
1322	*	*	*
1984	*	*	*
Número de armónicos	4	3	5

## ANEXO IV: VIBRACIONES DE LAS CUERDAS EN INSTRUMENTOS DE CUERDA PULSADA

### Ondas transversales en una cuerda

Como se observó en la sección 4.1.1.1. la ecuación de la cuerda vibrante está dada por:

$$\tau \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} \quad (4.10)$$

La solución general de la ecuación 4.10 puede ser escrita en la forma atribuida a d'Alembert:

$$y = f_1(ct - x) + f_2(ct + x)$$

La función  $f_1(ct - x)$  representa ondas que viajan hacia la derecha, mientras que la función  $f_2(ct + x)$  representa ondas que viajan hacia la izquierda. La naturaleza de las funciones  $f_1$  y  $f_2$  es arbitraria; por ejemplo, ellas pueden ser sinusoidales o se pueden describir por pulsos de onda.

### Pulsos de onda, reflexión e interferencia

Si una cuerda es fijada en un extremo y se realiza un movimiento rápido hacia arriba y hacia abajo en el otro, se produce un impulso simple que viaja a una velocidad  $c$ , de manera que este mantiene su forma en gran medida mientras se mueve a través de la cuerda. El pulso reflejado es similar al original, con la excepción de que el pulso reflejado está invertido, como se muestra en la Figura.IV.1.b. Si el extremo de la cuerda tiene libertad de movimiento (en lugar de estar fijo), el pulso reflejado podría ser ascendente, es decir, no está invertido como en el caso anterior (Figura.IV.1.a).

Una característica interesante de las ondas es que dos de ellas, viajando en direcciones opuestas, pueden atravesarse mutuamente y emerger con sus características originales. El principio de superposición lineal describe este comportamiento. Para ondas en una cuerda, el desplazamiento en cualquier punto es la suma de los desplazamientos de las ondas individuales. Cuando los pulsos tienen el mismo sentido, ellos se suman cuando se encuentran; si tienen sentido opuesto, se restan cuando se encuentran. Éstos son ejemplos de interferencia constructiva y destructiva, respectivamente. La Figura.IV.1. ilustra dos pulsos de onda que viajan en direcciones opuestas.

## Ondas estacionarias

Cuando los extremos de una cuerda están fijos, como en la mayoría de los instrumentos de cuerda, las ondas en las cuerdas se reflejan en la parte posterior de los extremos fijos y dan origen a ondas estacionarias. En el caso de dos ondas idénticas (es decir, tiene la misma frecuencia y amplitud) viajando en direcciones opuestas a través de una cuerda, se alternarán regiones de interferencia constructiva y destructiva, como se muestra en la Figura.IV.2. Los puntos de interferencia destructiva que siempre tienen desplazamiento cero son llamados nodos y se denotan por N en la Figura.IV.2.

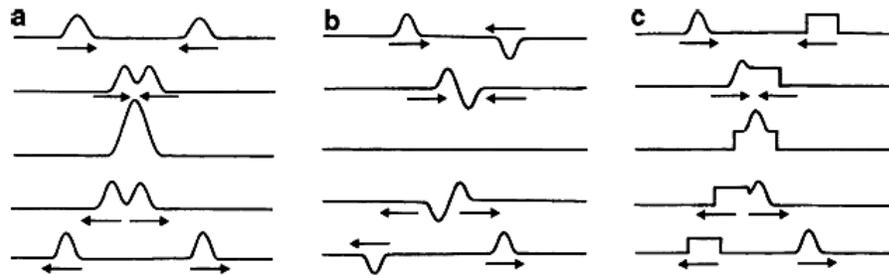


Figura.IV.1. Pulsos de onda que viajan en direcciones opuestas. a) pulsos en la misma dirección; b) pulsos en dirección opuesta; c) pulsos con formas diferentes.

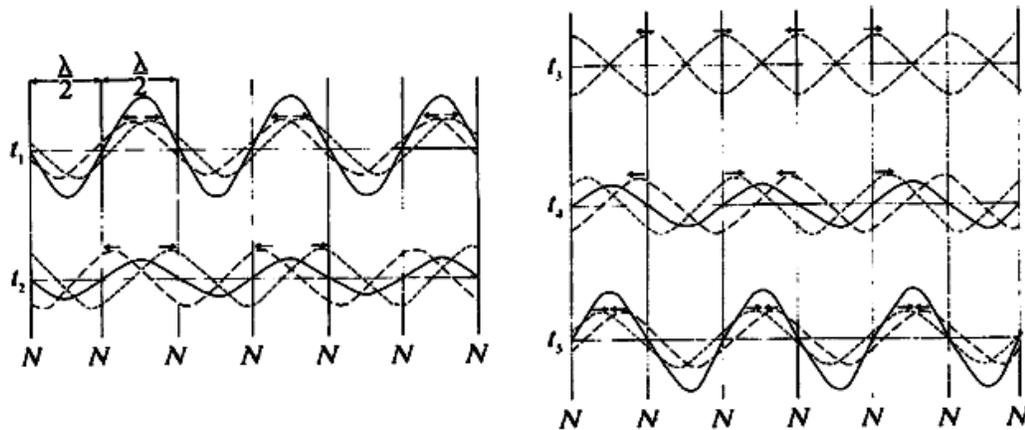


Figura.IV.2. Interferencia de dos ondas idénticas en un medio unidimensional. En los tiempos  $t_1$  y  $t_5$  hay interferencia constructiva, y en el tiempo  $t_3$  hay interferencia destructiva. En todos los puntos marcados con N se tiene que el desplazamiento siempre es cero.

Entre los nodos están los puntos de interferencia constructiva llamados antinodos, donde el desplazamiento es máximo. En los antinodos el desplazamiento oscila en la misma frecuencia que tienen las ondas individuales; la amplitud es la suma de las amplitudes de las ondas individuales. Los nodos están separados por una distancia de media longitud de onda (de la misma manera que los antinodos). Debido a que ellas no se mueven en la

cuerda, estas ondas son llamadas ondas estacionarias. Si las amplitudes de las dos ondas son diferentes, ellas no se cancelarán completamente, y los nodos representarán puntos de mínimo desplazamiento (pero no nulo). Las ondas estacionarias pueden ser escritas como una suma de los modos normales de la cuerda, cada uno de los cuales representa la vibración de una frecuencia particular. La solución general de la ecuación onda puede ser escrita como la suma de los modos normales:

$$Y = \sum (C_n \sin \omega_n t + \varphi_n) \sin k_n x$$

donde  $C_n$  es la amplitud del n-ésimo modo y  $\varphi_n$  es su fase.

### Cuerdas pulsadas: Análisis en el tiempo y la frecuencia [17]

Cuando una cuerda es pulsada, los pulsos de onda se propagan en ambas direcciones desde el punto del ataque. Cuando estos pulsos alcanzan los extremos de la cuerda, se reflejan desde la parte posterior y se establecen ondas estacionarias. El resultado de la vibración puede ser considerado como la combinación de varios modos de vibración. Por ejemplo, si la cuerda es pulsada en el centro, la vibración resultante consistirá en la fundamental más los armónicos impares. La Figura.IV.3. ilustra cómo los modos asociados con los armónicos impares, cuando cada uno es presentado en la correcta proporción, sumándolos en un instante de tiempo se obtiene la forma inicial de la cuerda pulsada en el centro. Los modos 3, 7, 11, etc., deben tener fases opuestas a los modos 1, 5, y 9 a fin de dar el desplazamiento máximo en el centro, como se muestra en la parte superior.

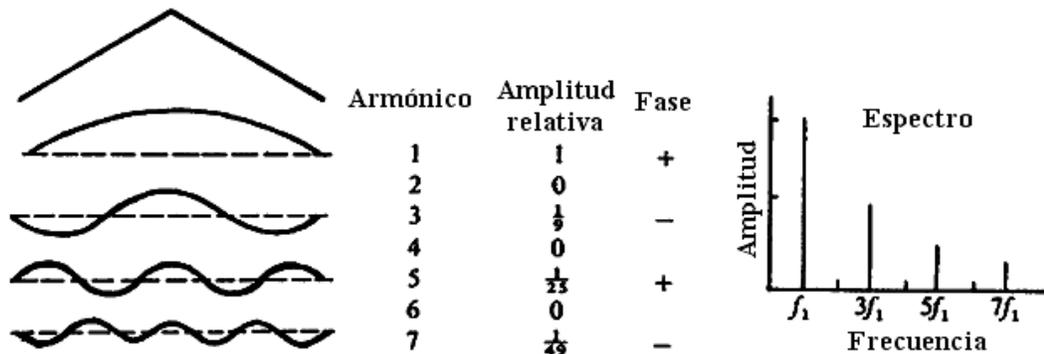


Figura.IV.3. Análisis frecuencial de una cuerda pulsada en el centro. Los modos impares de vibración se suman con la fase y amplitud apropiada para proporcionar la forma de la cuerda.

Debido a que los modos mostrados en la Figura.IV.1. tienen diferentes frecuencias de vibración, ellos salen de fase inmediatamente, y la forma de la cuerda cambia rápidamente después de pulsarla. La forma de la cuerda en cada instante puede ser obtenida sumando los

modos normales en el tiempo particular, pero esto es muy difícil de hacer debido a que cada uno de los modos estará en un punto diferente en su periodo respectivo. La solución del movimiento de una cuerda con dos pulsos que se propagan en direcciones opuestas en la cuerda, se muestra en la Figura.IV.4.

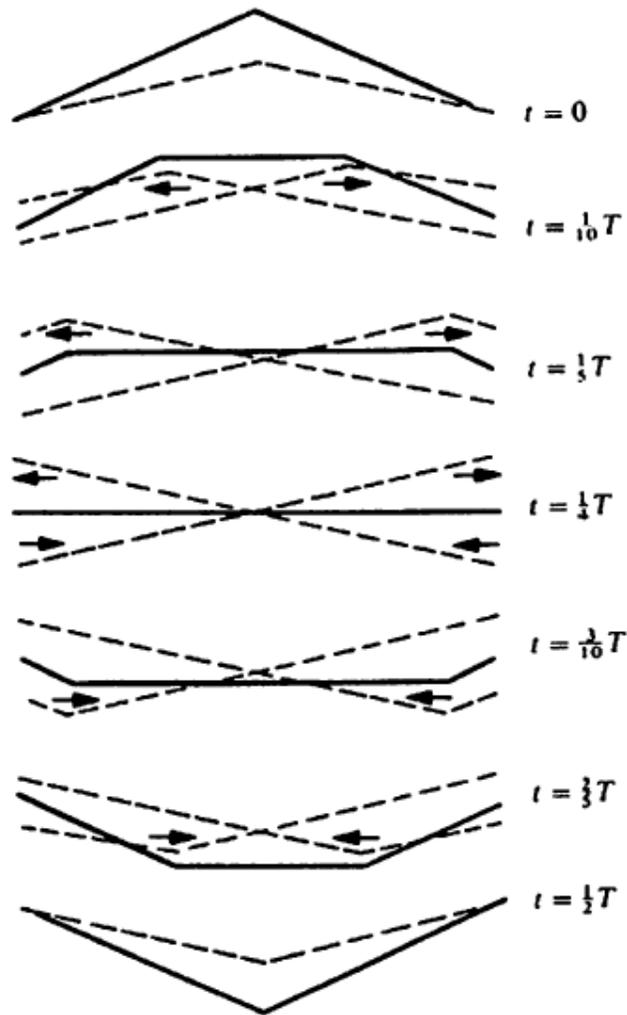


Figura.IV.4. Análisis temporal del movimiento de una cuerda pulsada en el centro en medio periodo. Puede pensarse que el movimiento se debe a dos pulsos que viajan en direcciones opuestas.

Si la cuerda es pulsada en un punto diferente a su centro, el espectro de los modos constituyentes es diferente. Por ejemplo, si se pulsa la cuerda a una distancia de un quinto de su longitud desde uno de sus extremos, el espectro se produce como se muestra en la Figura.IV.5. Se debe notar que falta el quinto armónico. De esta manera, si se pulsa la cuerda a una distancia de un cuarto de su longitud, desde uno de sus extremos, suprimirá el cuarto armónico.

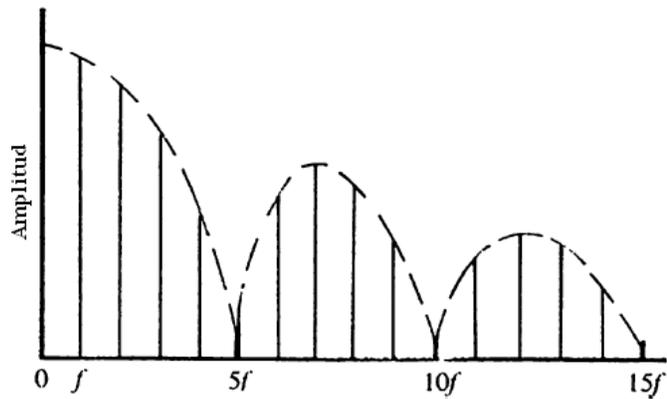


Figura.IV.5. Espectro de una cuerda pulsada a una distancia de un quinto de su longitud desde uno de sus extremos.

En la Figura.IV.6. se muestra el análisis temporal de la cuerda pulsada a una distancia de un quinto de su longitud desde uno de sus extremos. Una curva se mueve de un lado a otro dentro de un paralelogramo; lo cual pueda ser visto como el resultante de dos pulsos (líneas discontinuas) que viajan en direcciones opuestas.

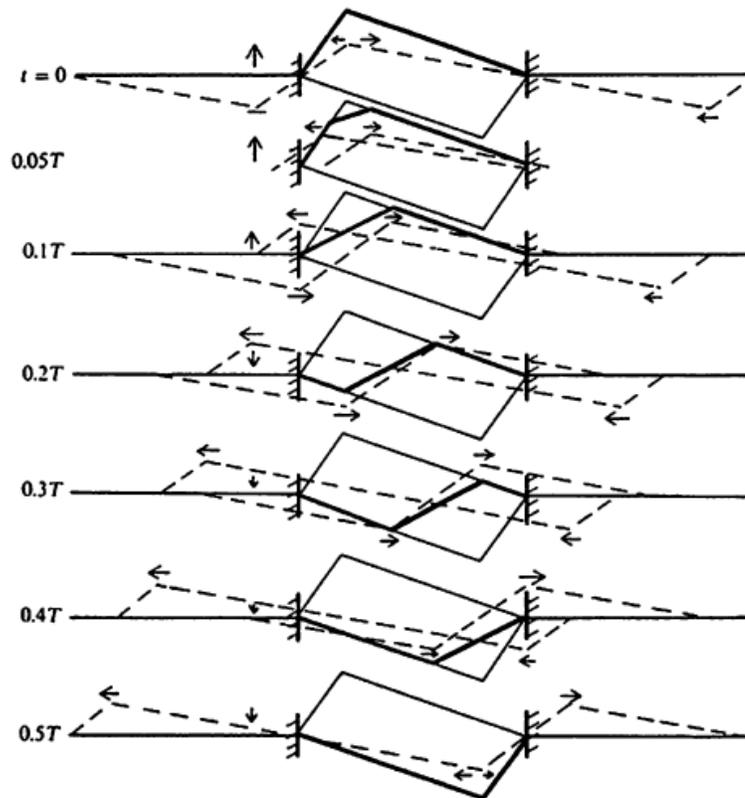


Figura.IV.6. Análisis temporal en un semiperiodo del movimiento de una cuerda pulsada a una distancia de un quinto de su longitud desde uno de sus extremos.

# ANEXO V: ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE LA TAPA Y SONIDO

## Primer grupo de guitarras

### Cedro1

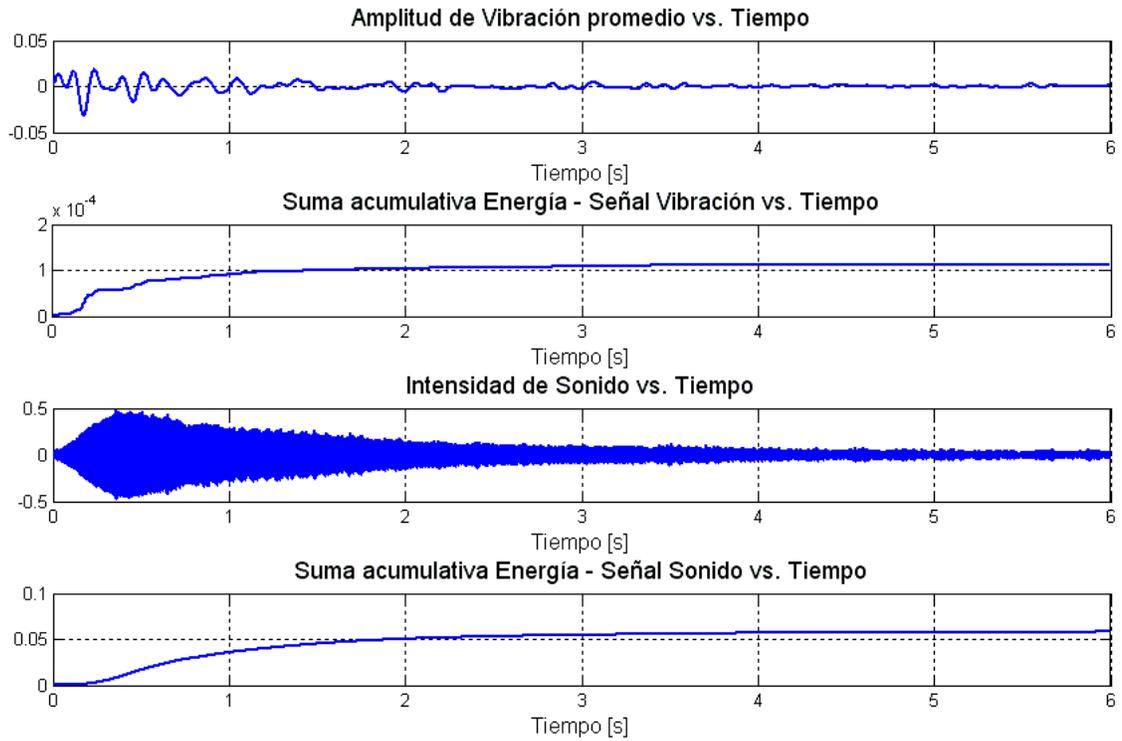


Figura.V.1. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E4.

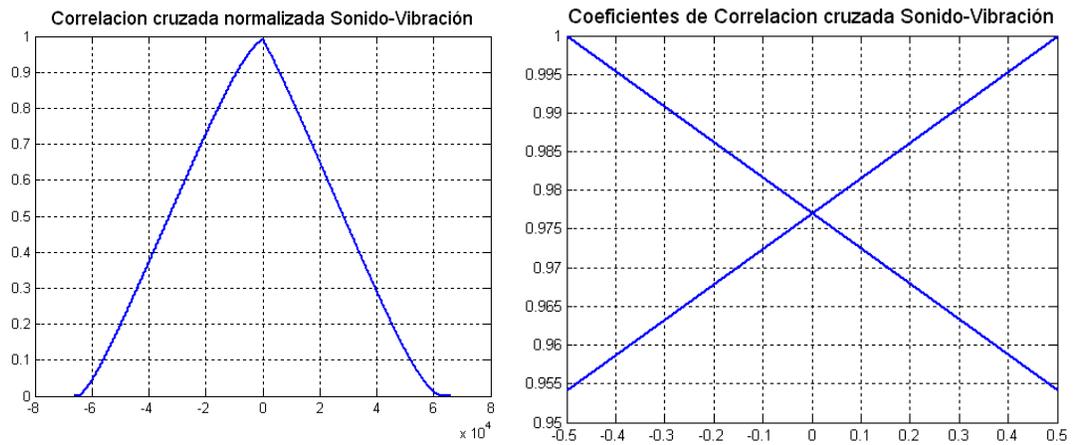


Figura.V.2. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E4.

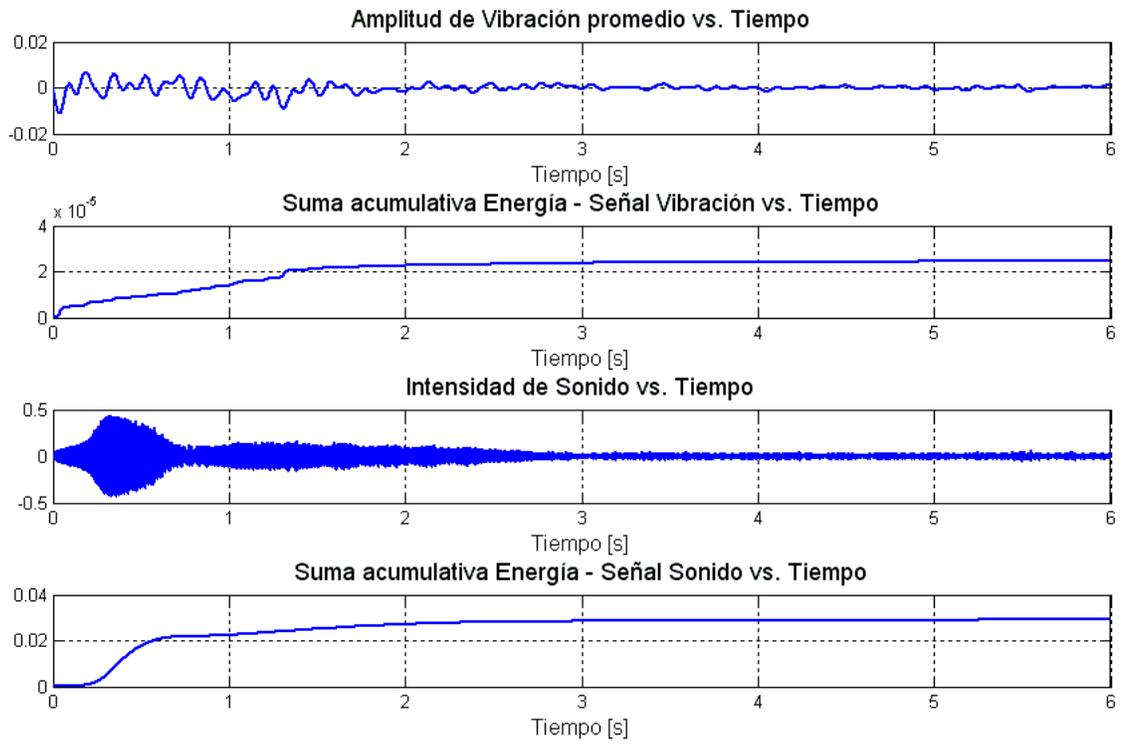


Figura.V.3 Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E5.

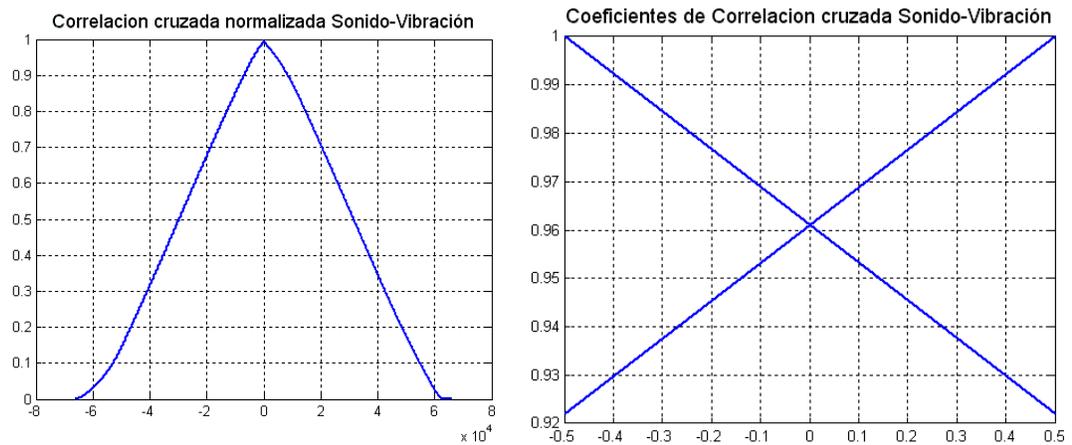


Figura.V.4. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E5.

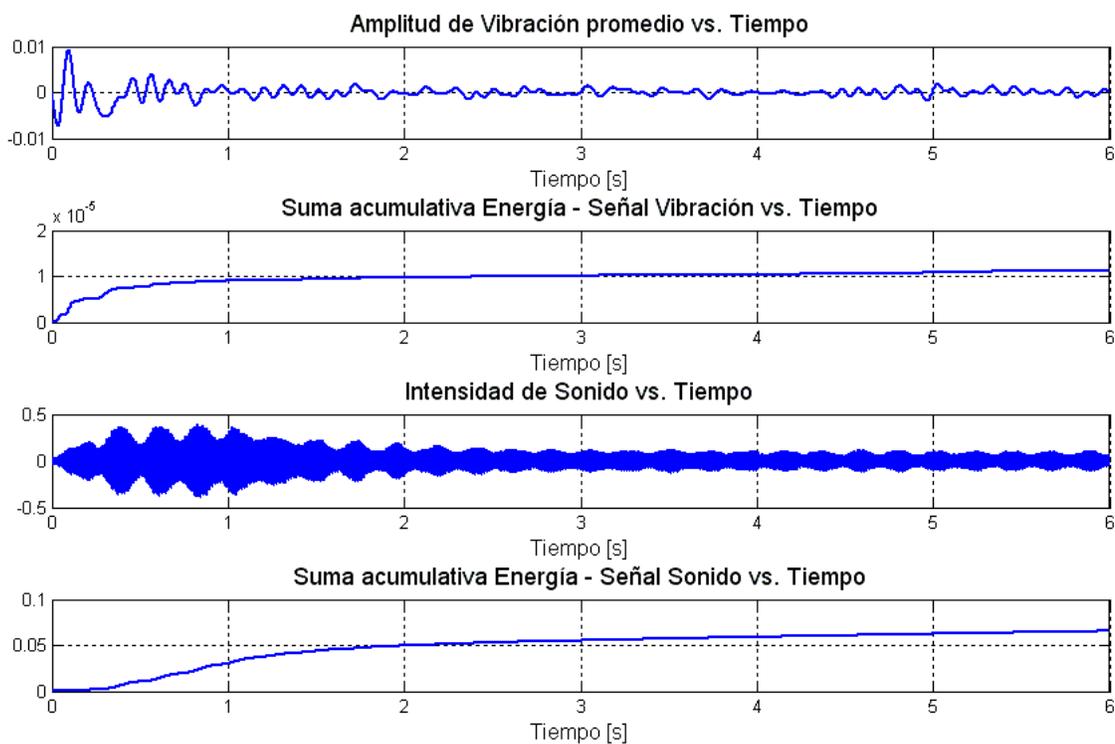


Figura.V.5. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E6.

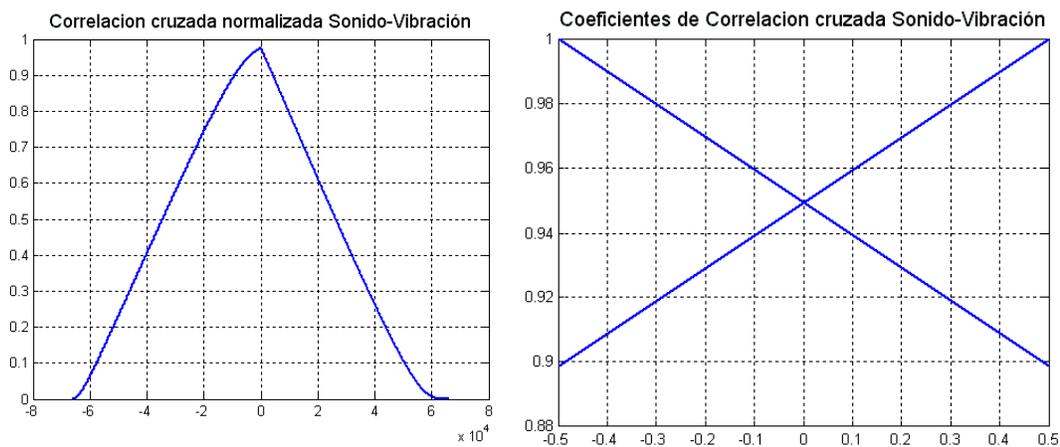


Figura.V.6. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E6.

## Cedro2

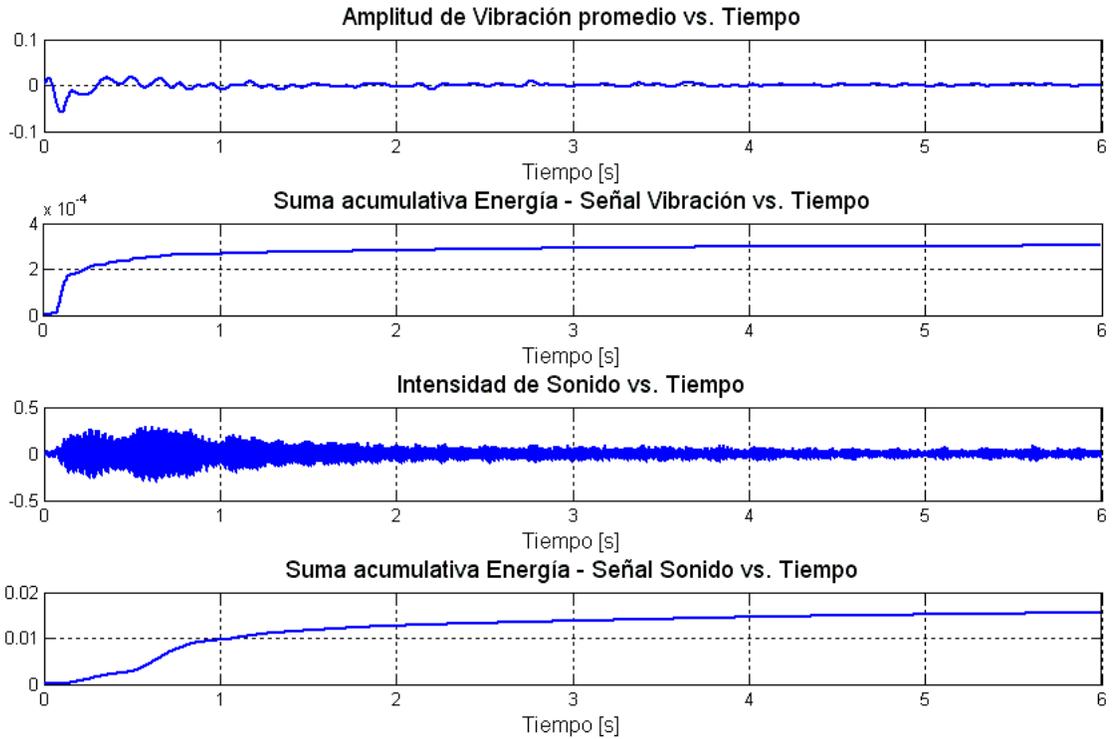


Figura.V.7. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E3.

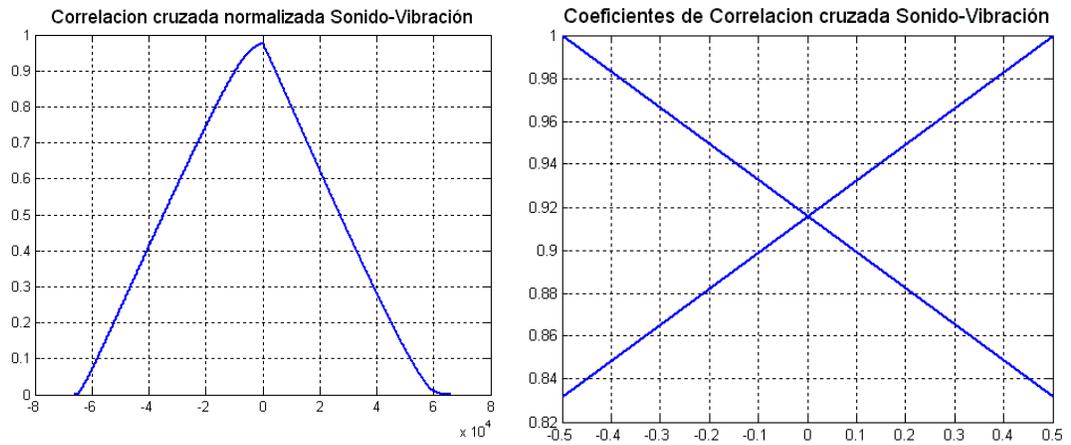


Figura.V.8. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E3.

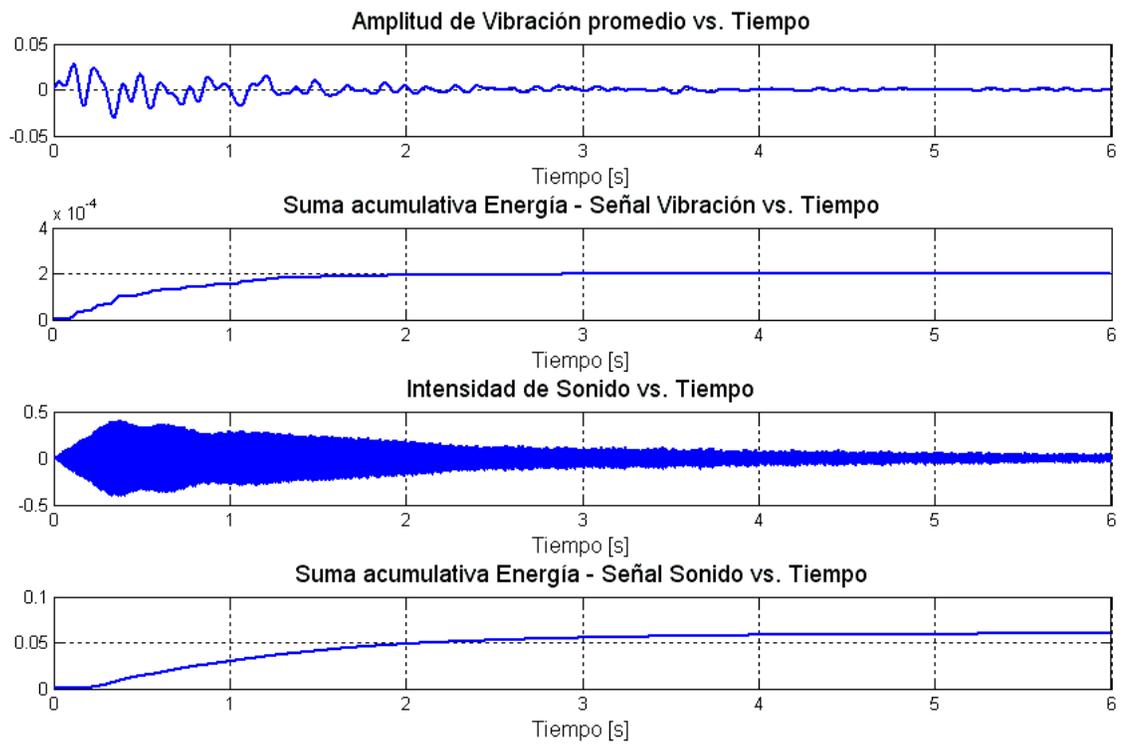


Figura.V.9. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E4.

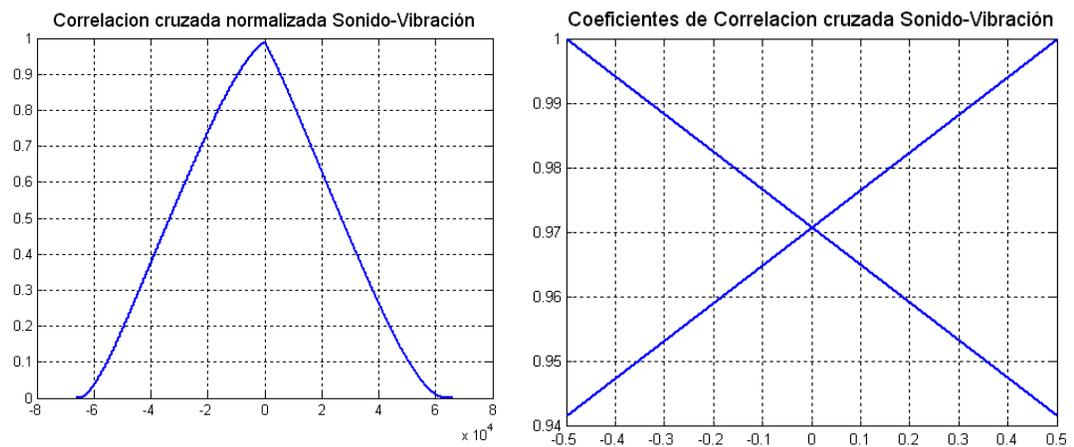


Figura.V.10. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E4.

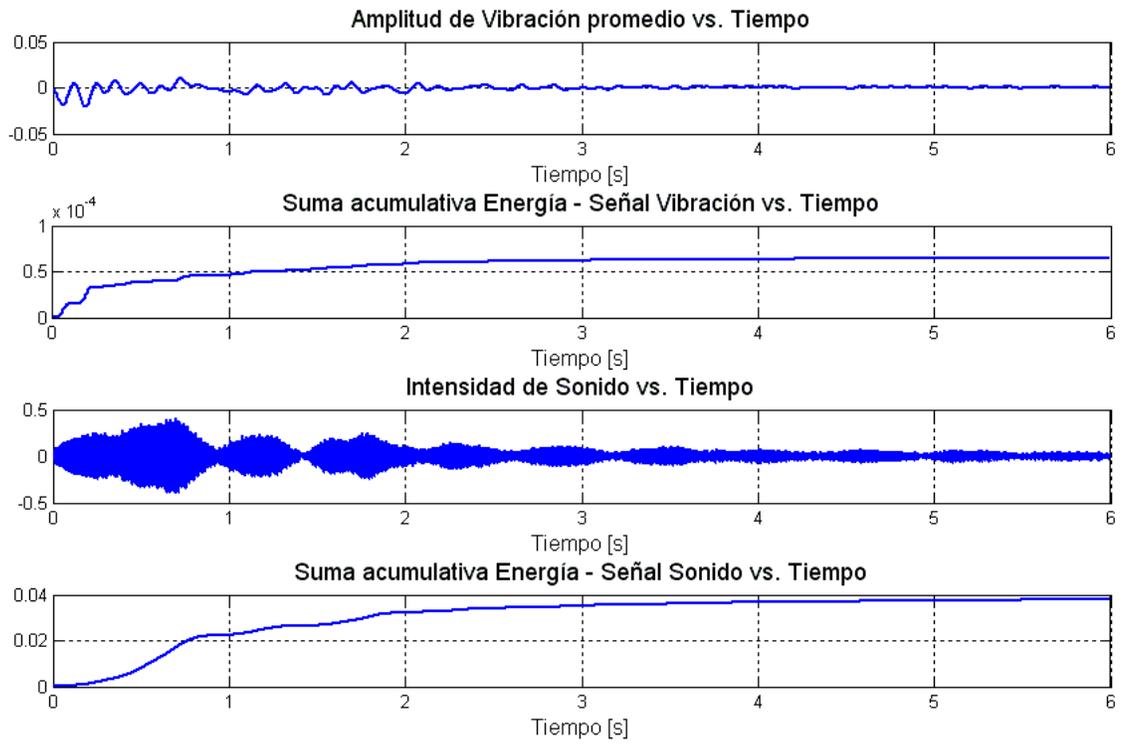


Figura.V.11. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E5.

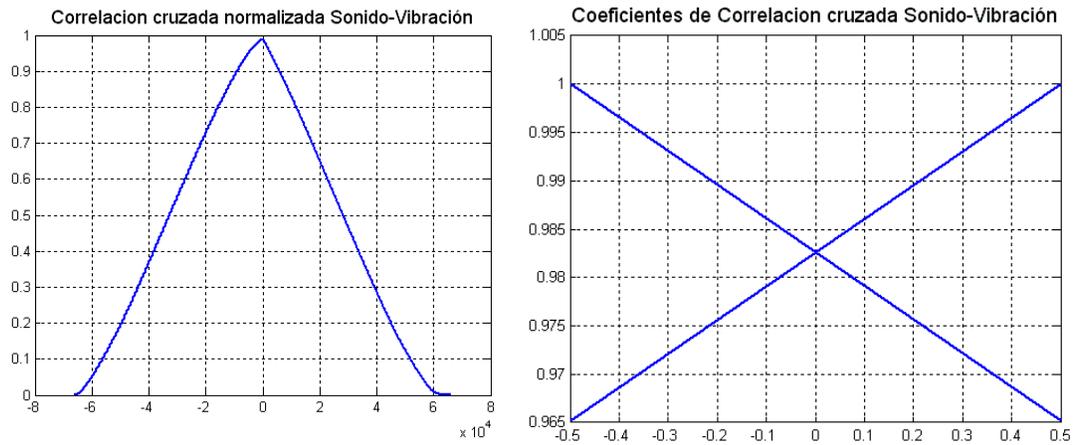


Figura.V.12. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E5.

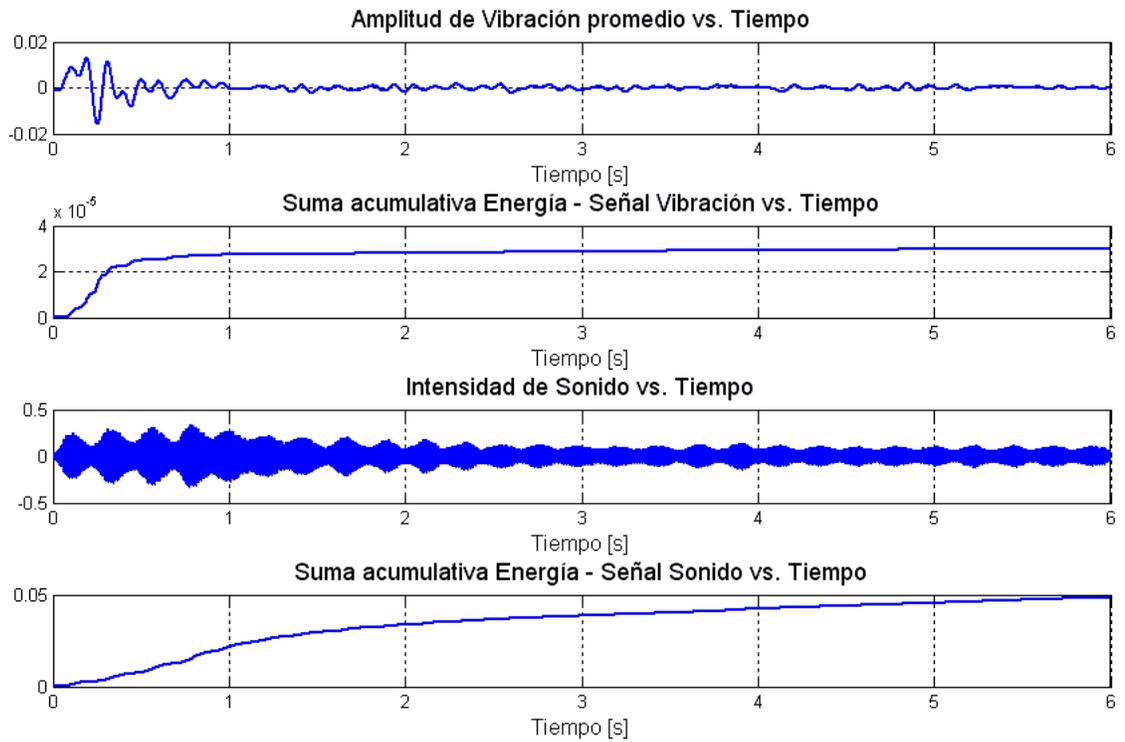


Figura.V.13. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E6.

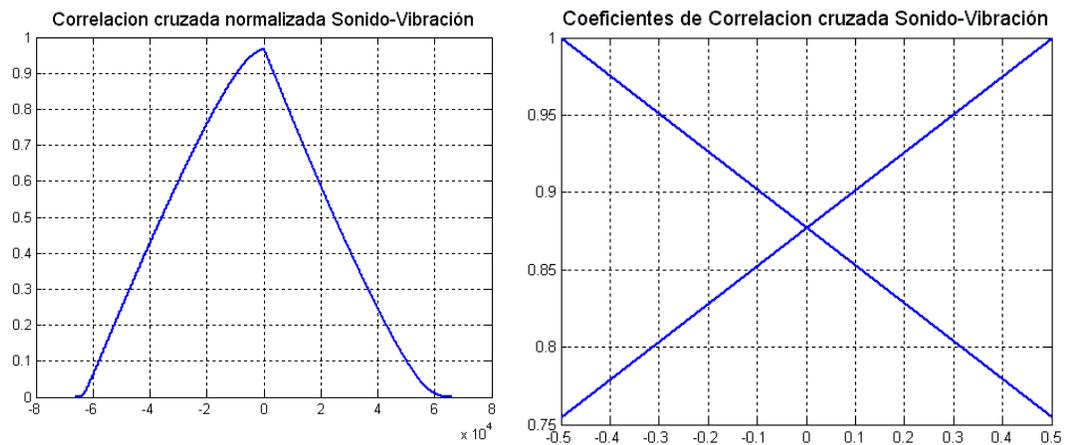


Figura.V.14. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E6.

## Pino

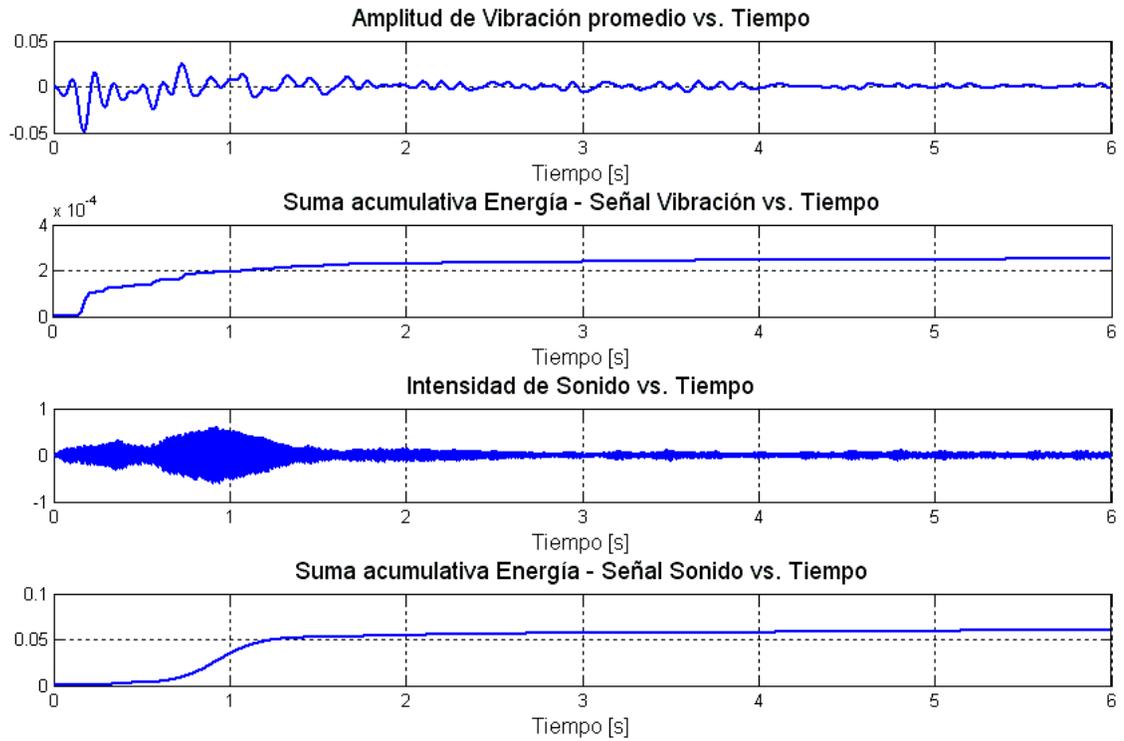


Figura.V.15. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E3.

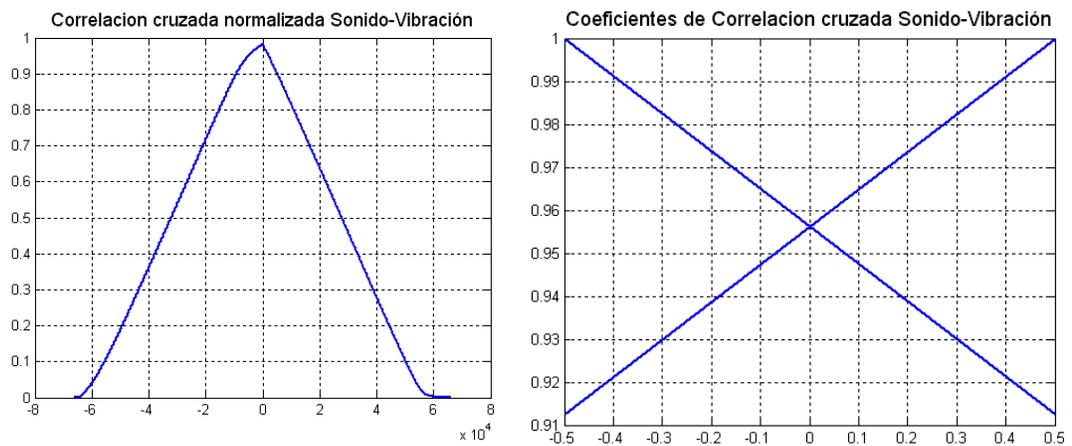


Figura.V.16. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E3.

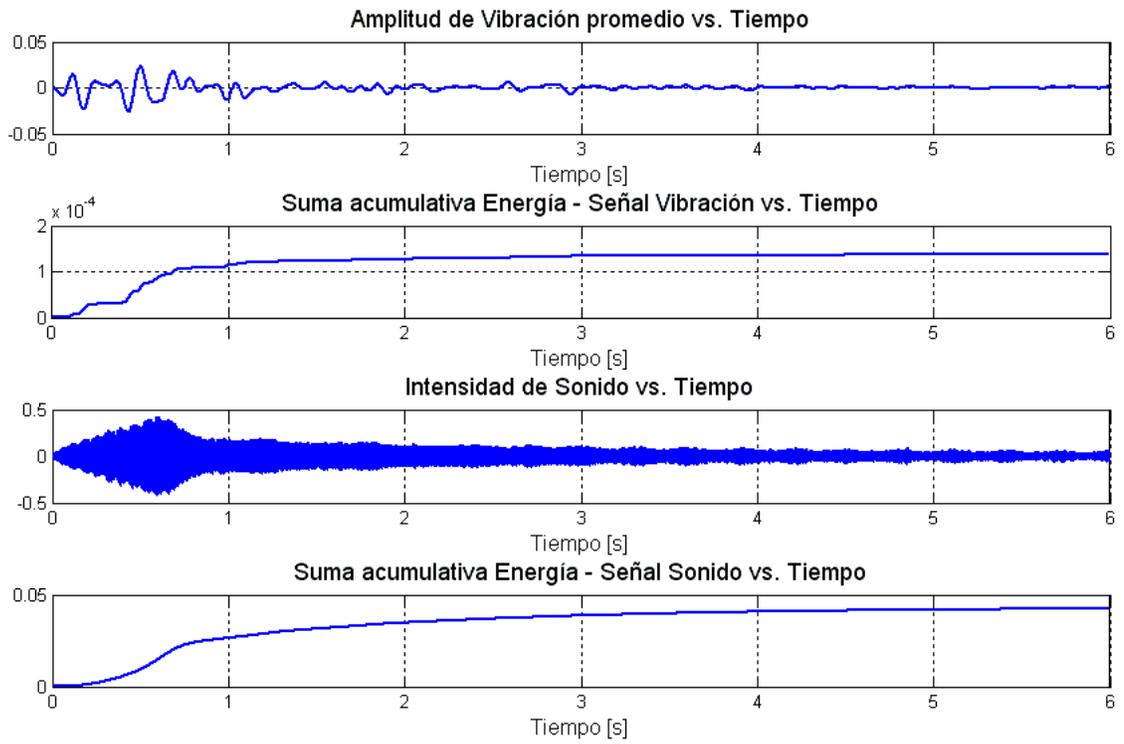


Figura.V.17. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E4.

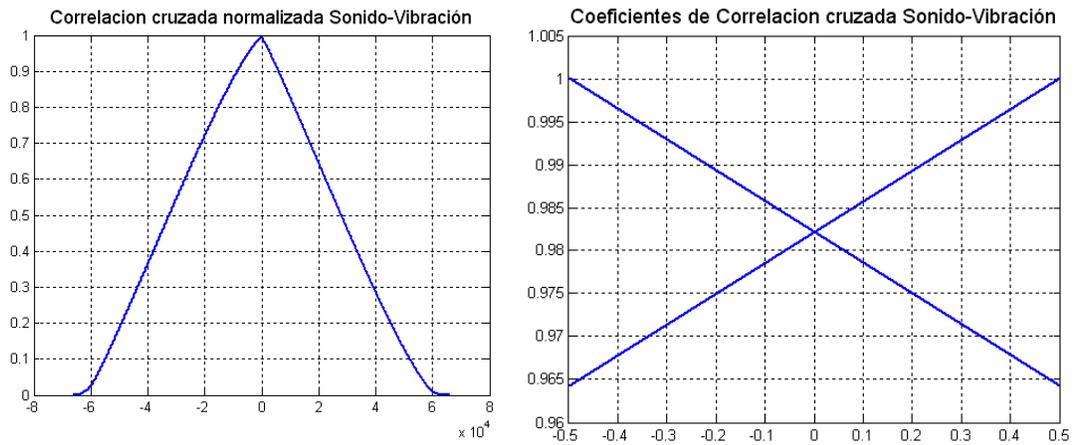


Figura.V.18. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E4.

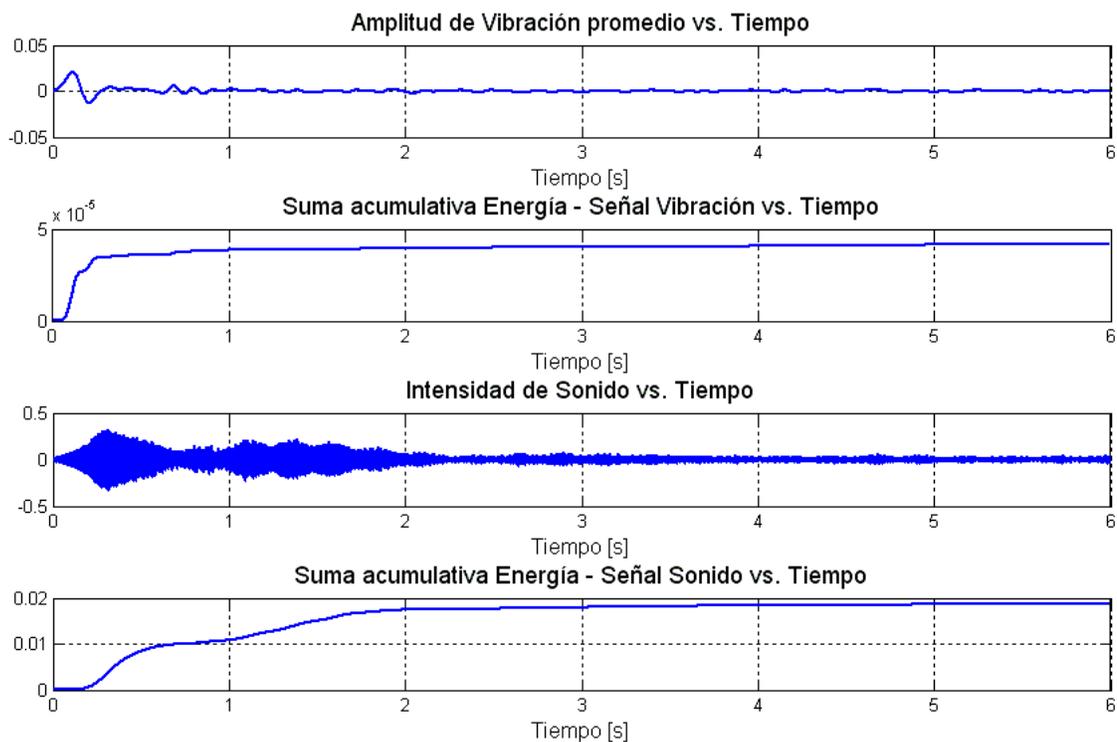


Figura.V.19. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E5.

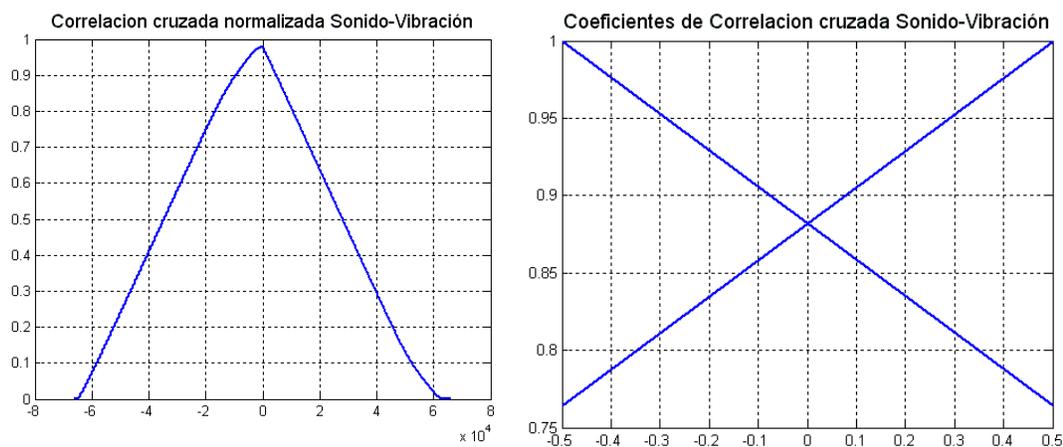


Figura.V.20. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E5.

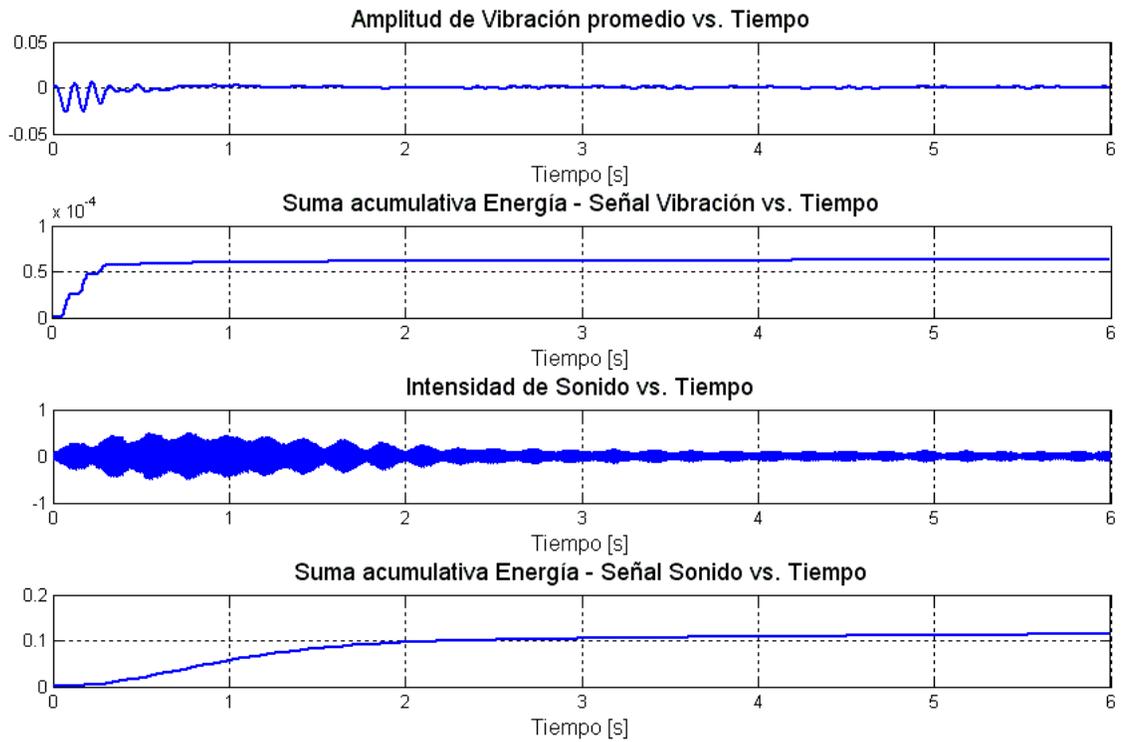


Figura.V.21. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E6.

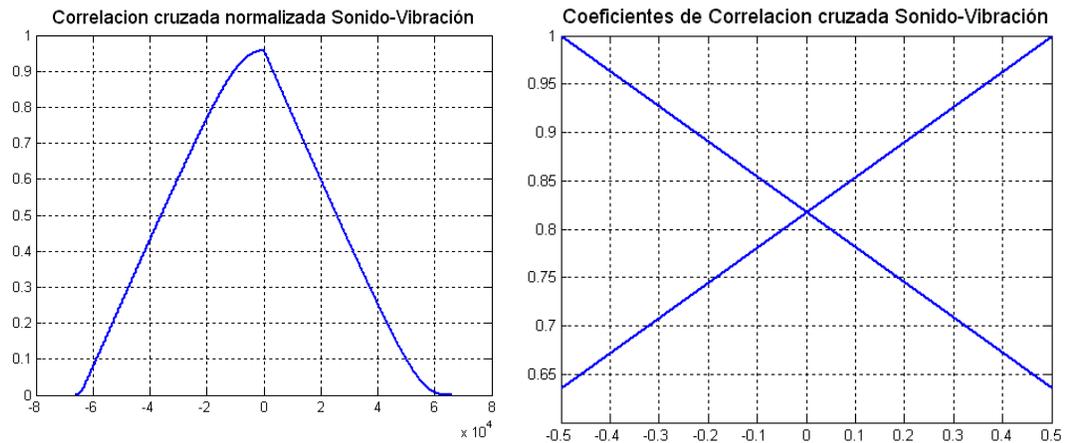


Figura.V.22. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E6.

## Segundo grupo de guitarras

### Alhambra

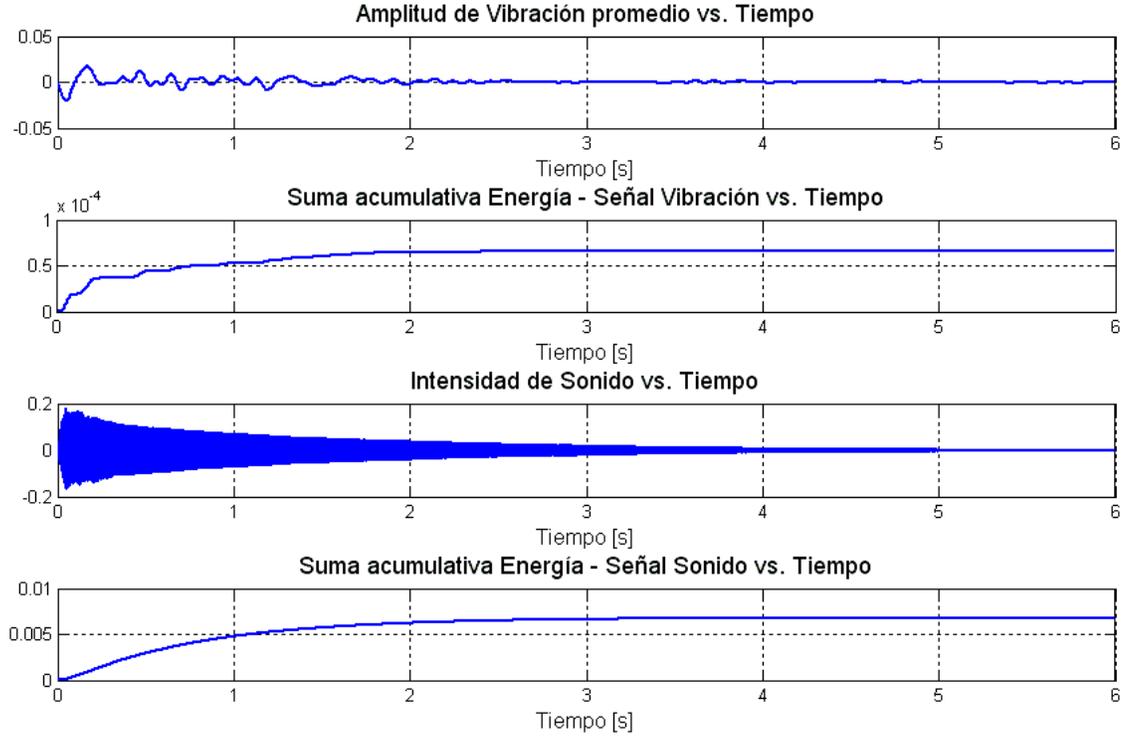


Figura.V.23. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E4.

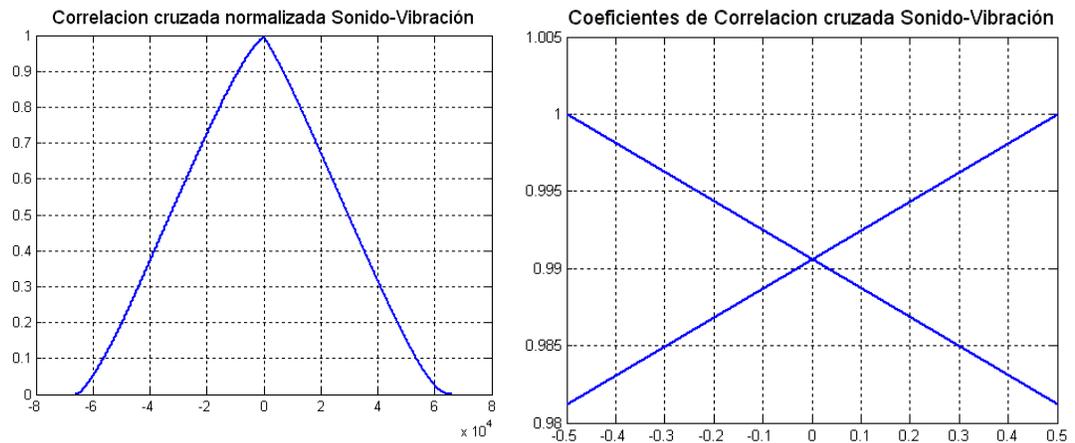


Figura.V.24. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E4.

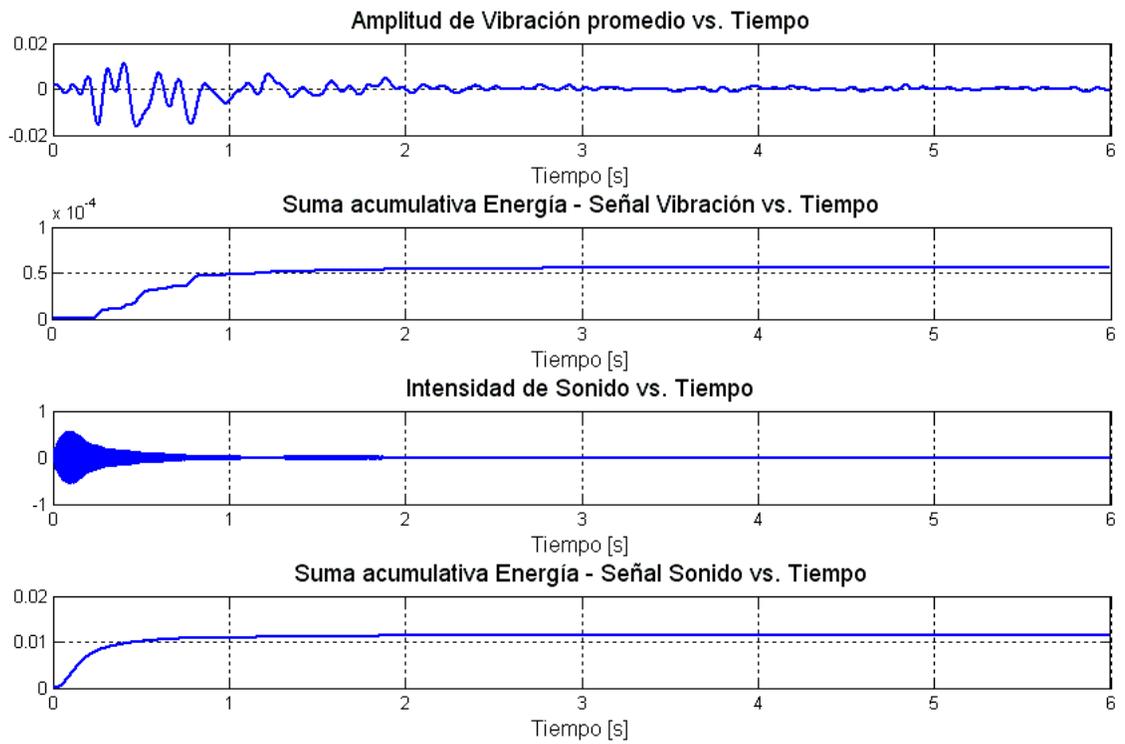


Figura.V.25. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E5.

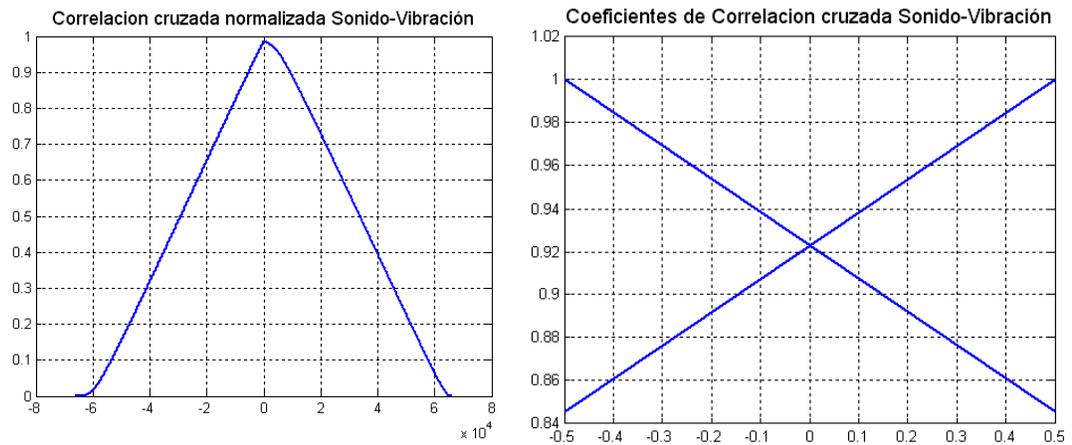


Figura.V.26. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E5.

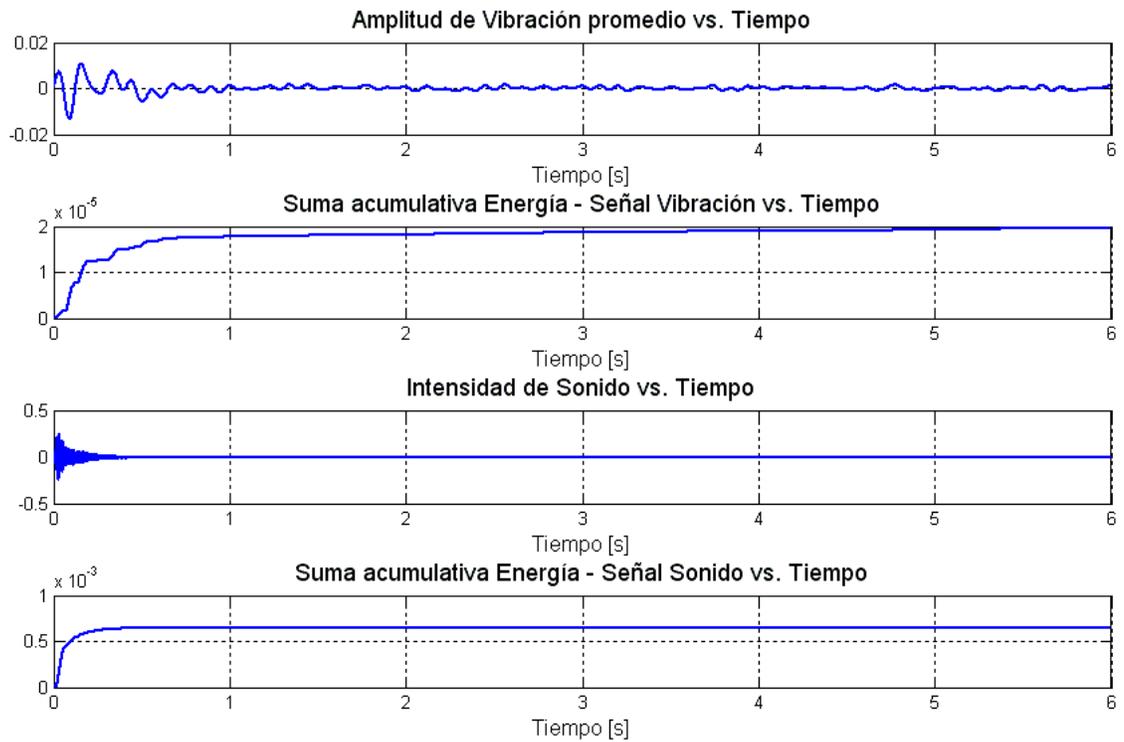


Figura.V.27. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E6.

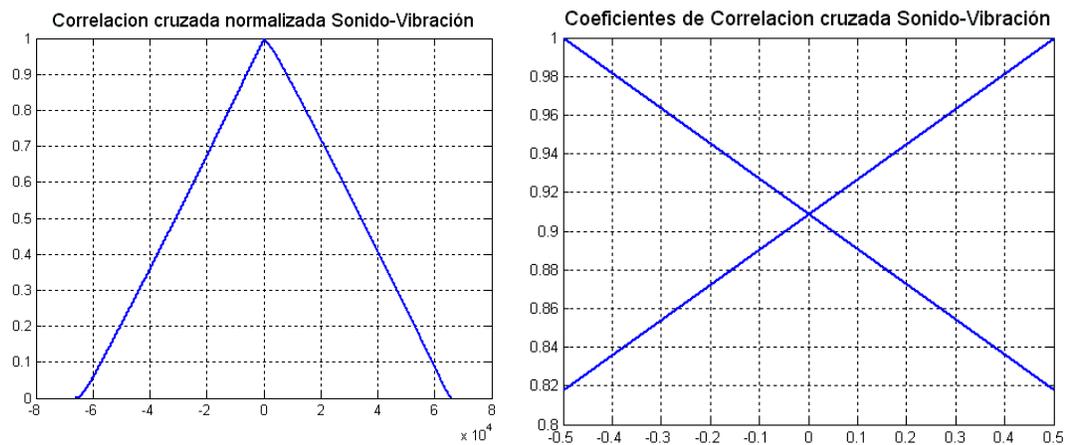


Figura.V.28. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E6.

Alvaro

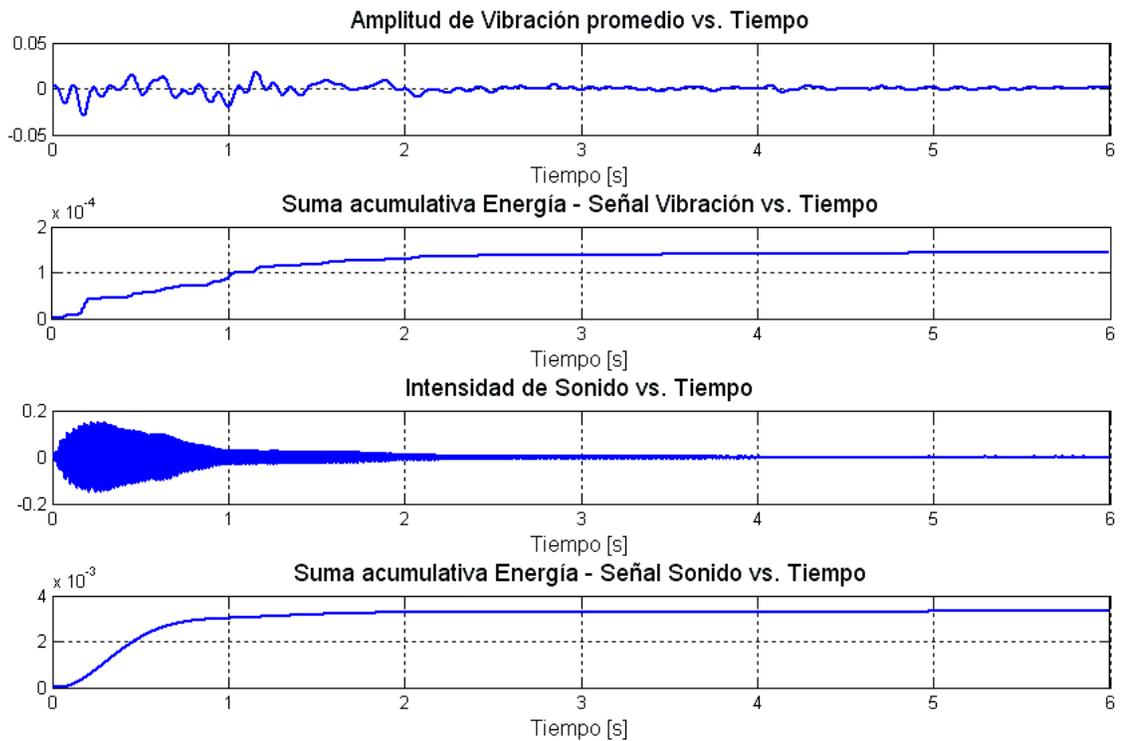


Figura.V.29. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E3.

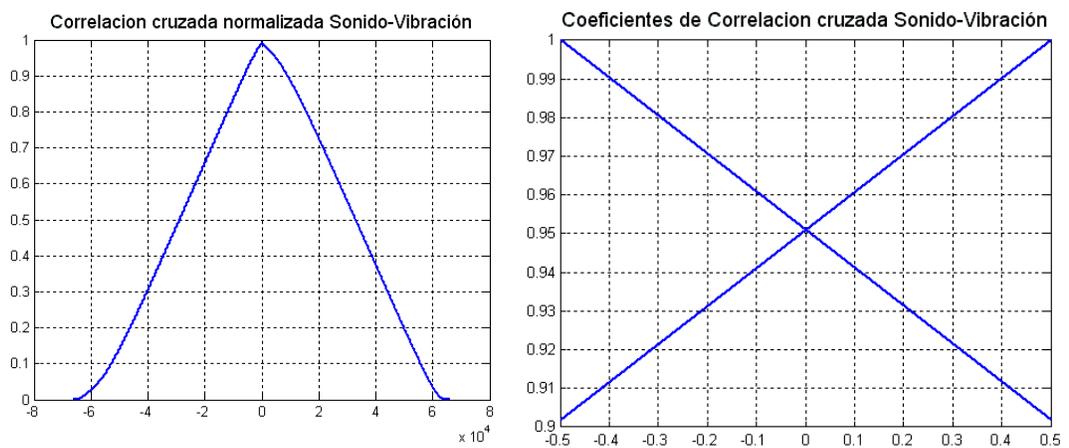


Figura.V.31. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E3.

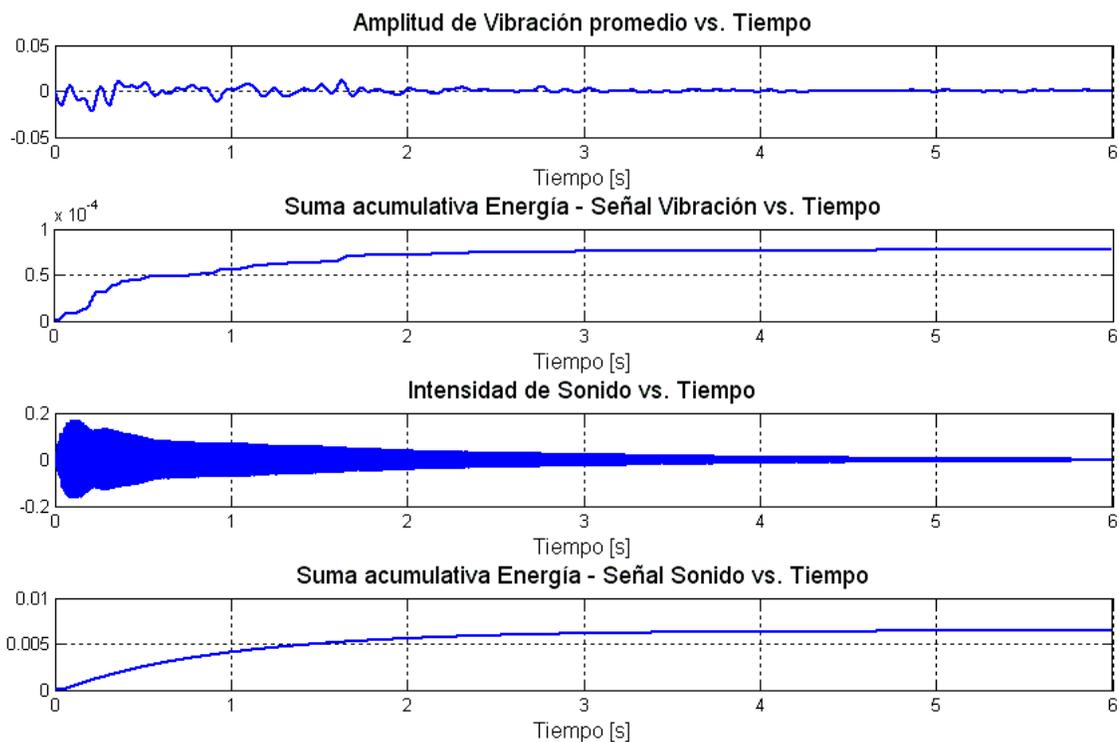


Figura.V.30. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E4.

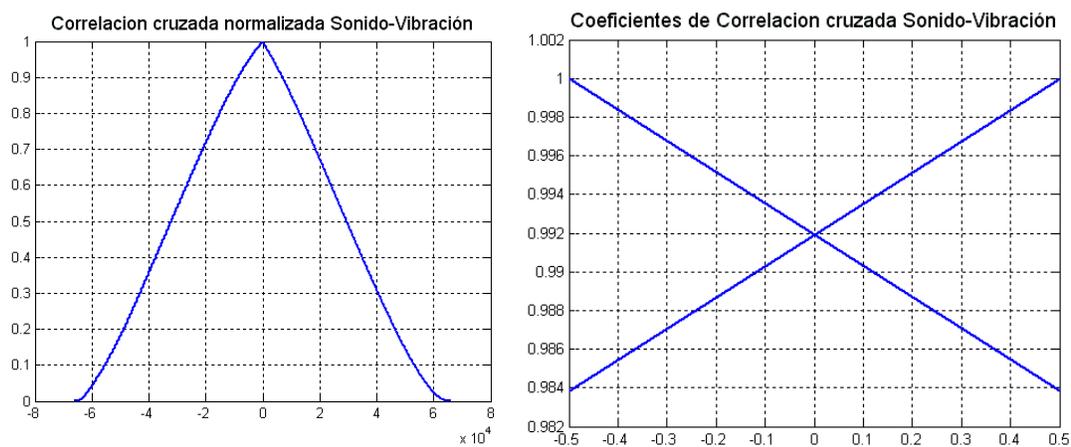


Figura.V.32. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E4.

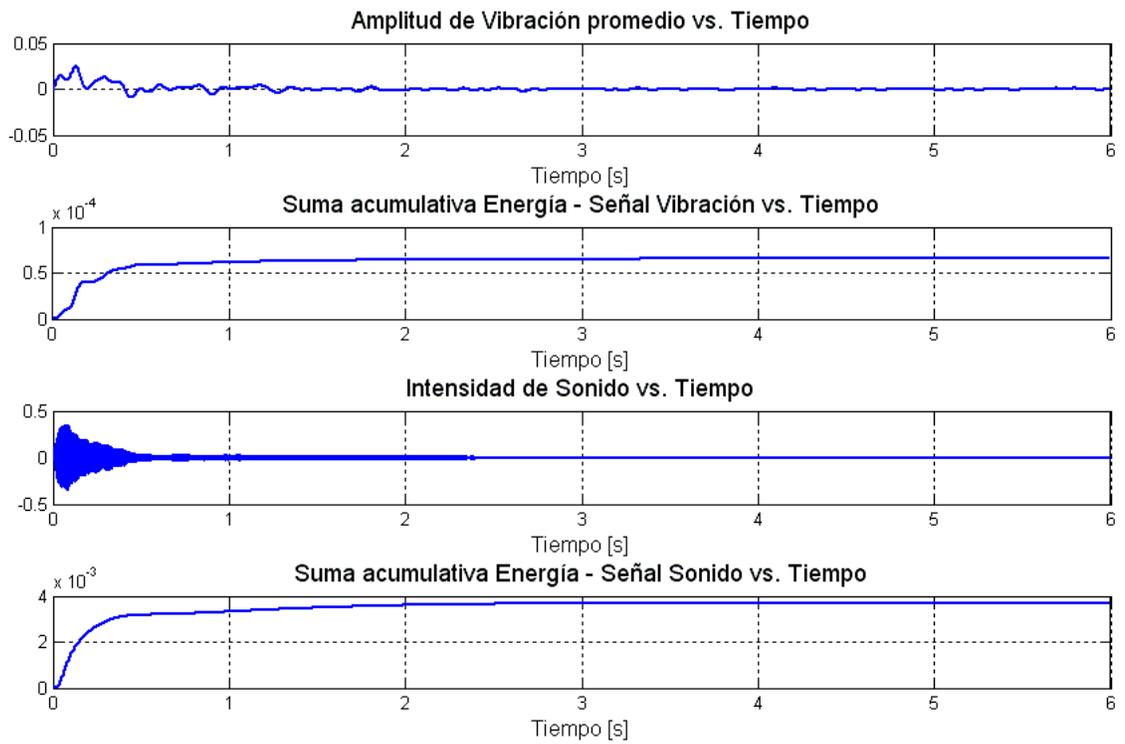


Figura.V.33. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E5.

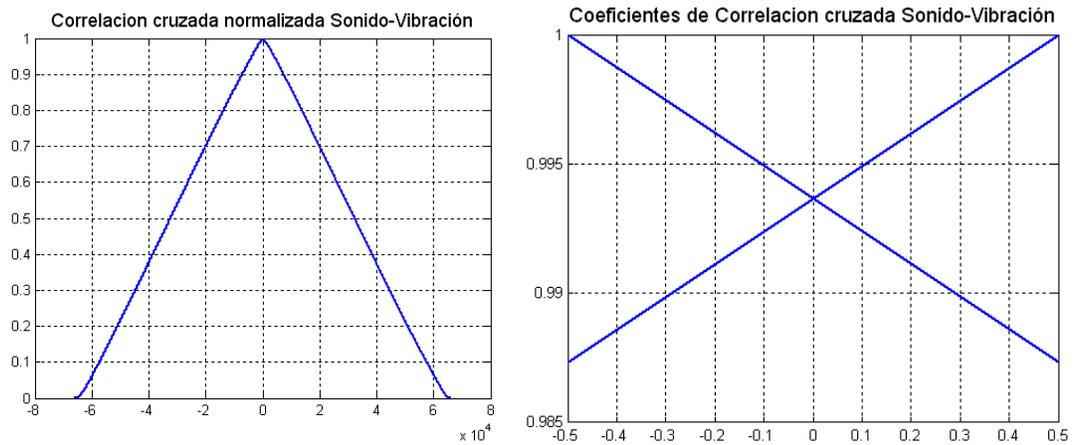


Figura.V.35. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E5.

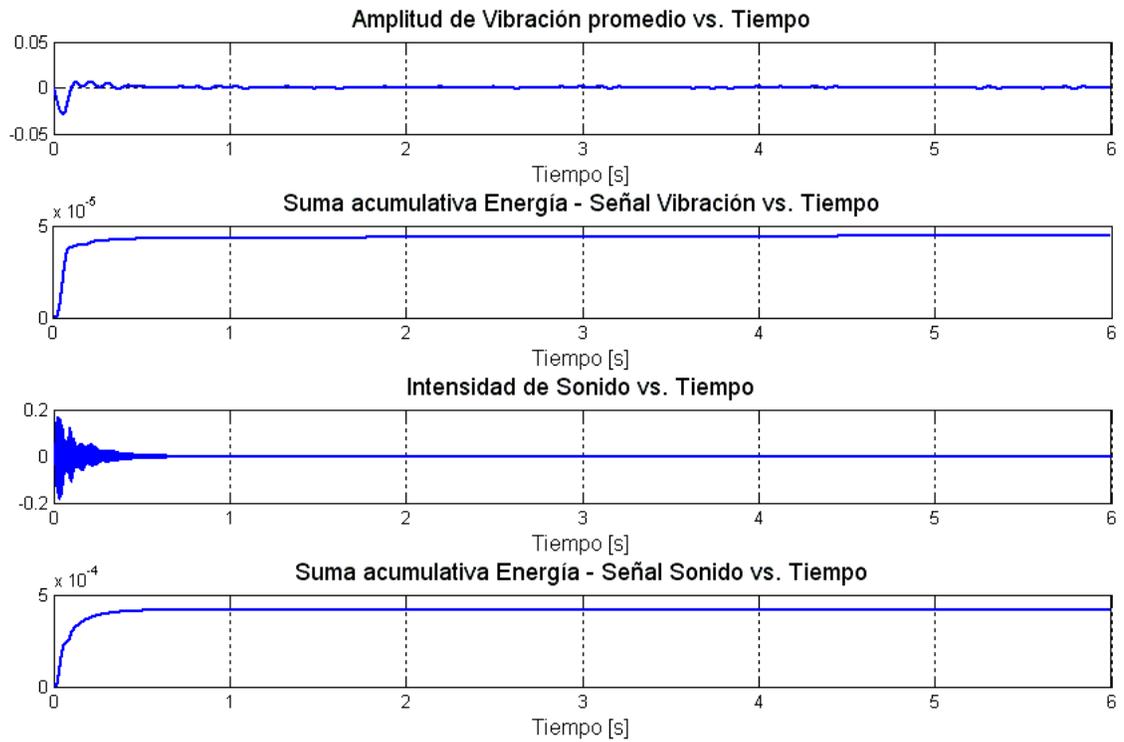


Figura.V.34. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E6.

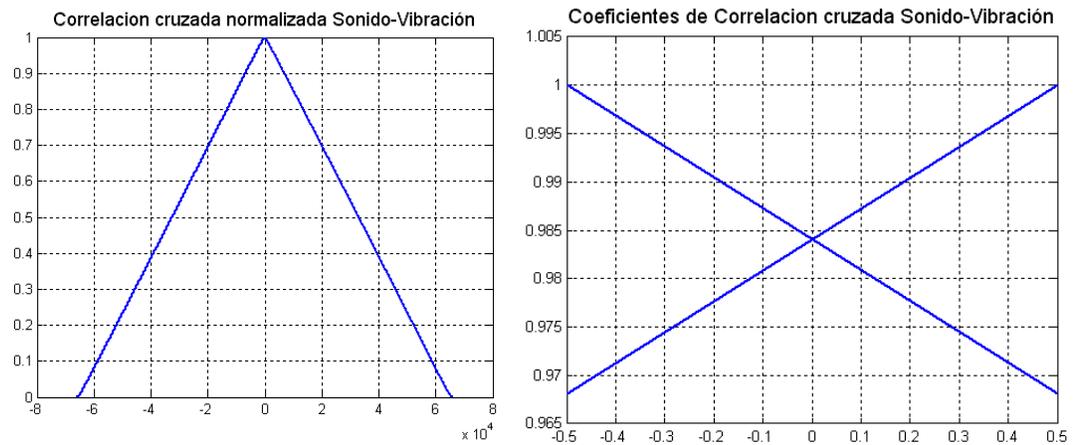


Figura.V.36. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E6.

## Yamaha

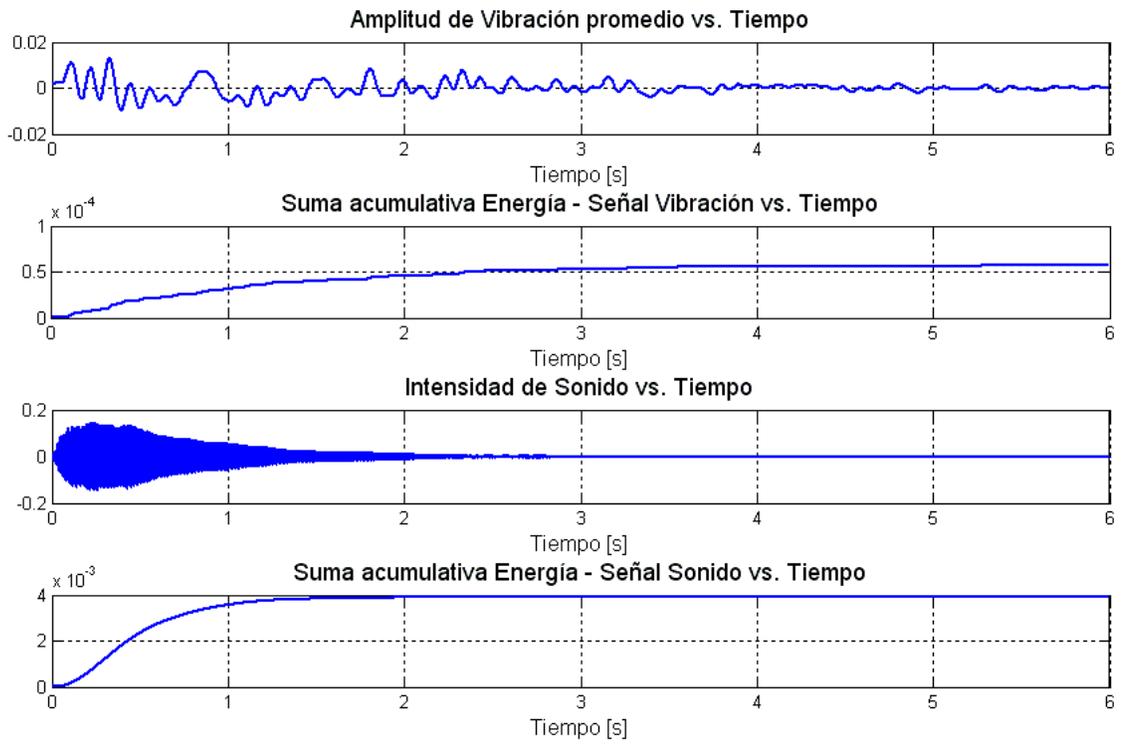


Figura. V.37. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E3.

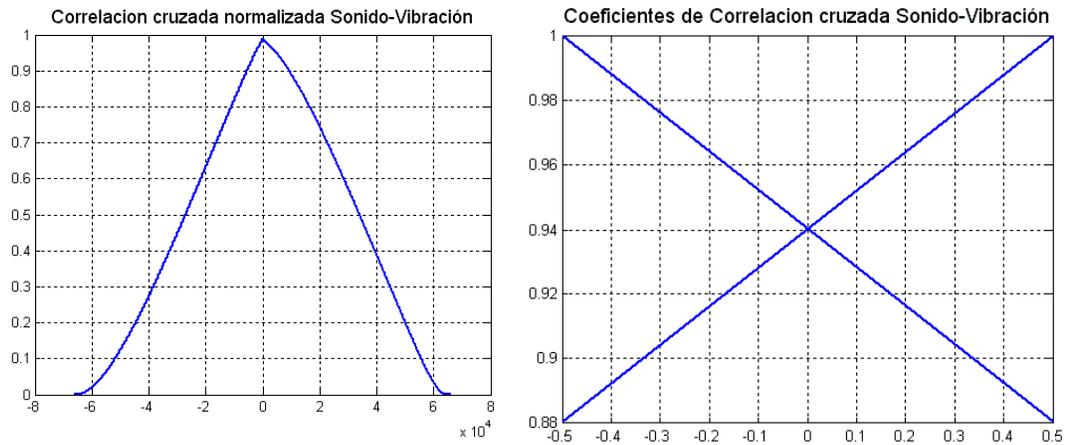


Figura.V.38. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E3.

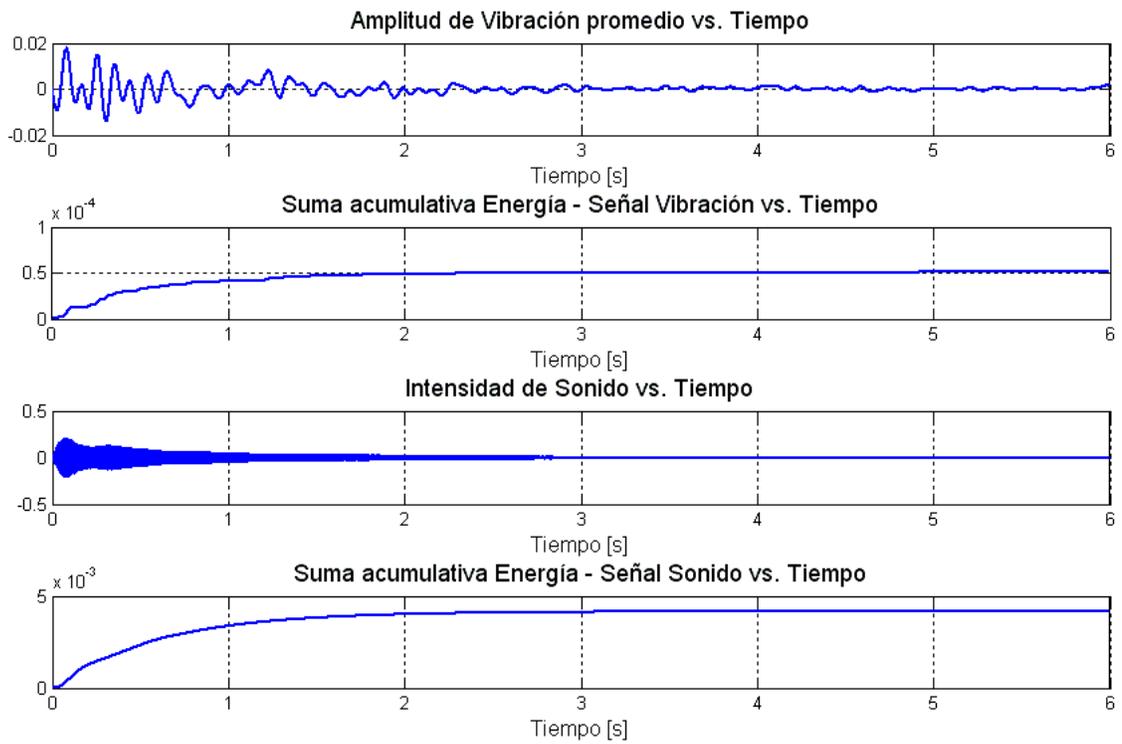


Figura.V.39. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E4.

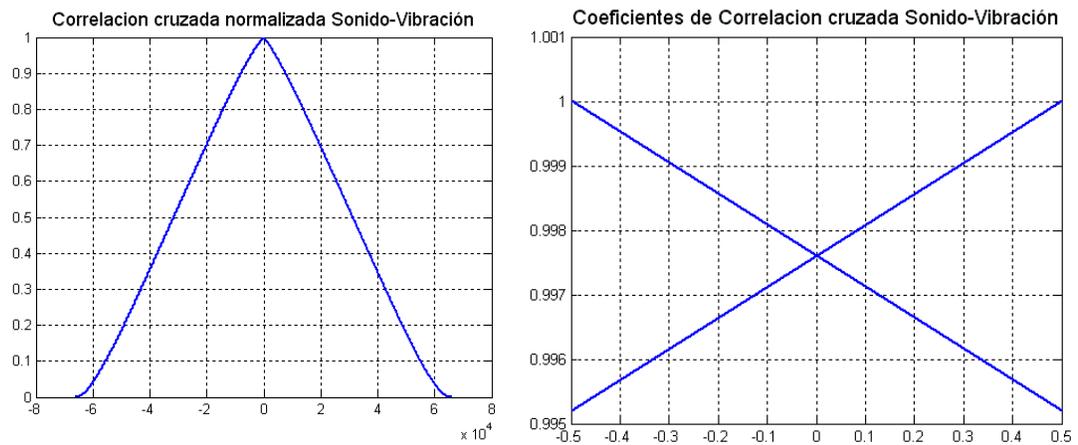


Figura.V.40. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E4.

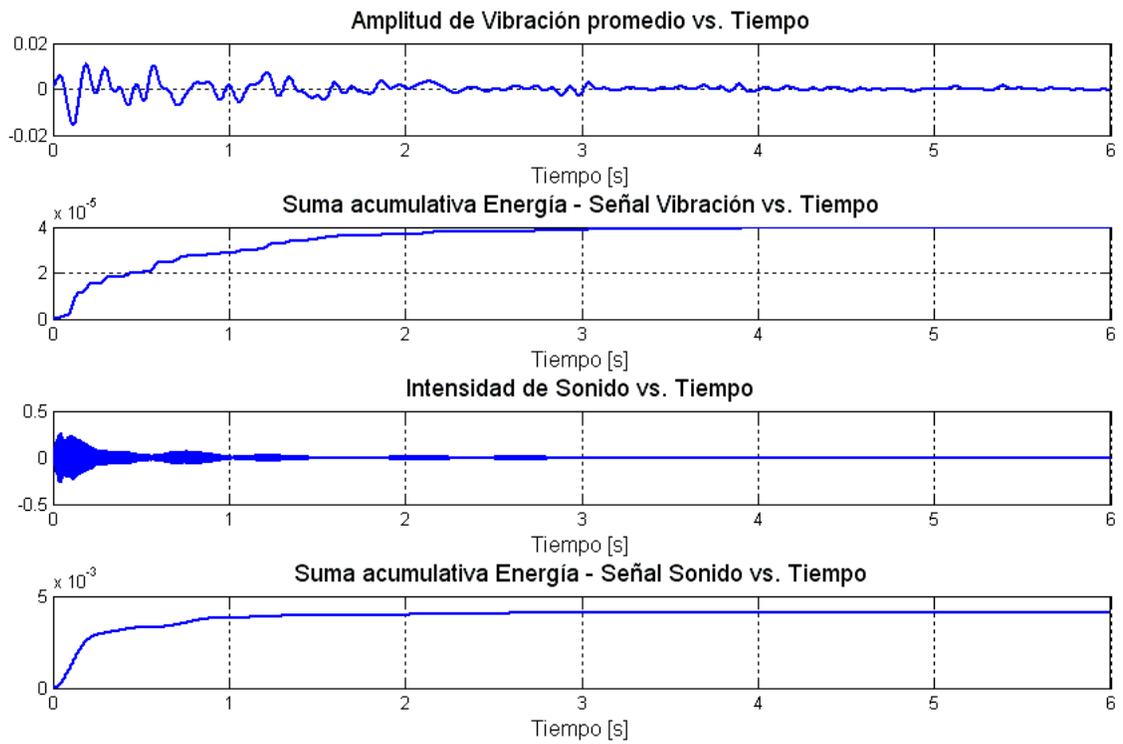


Figura.V.41. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E5.

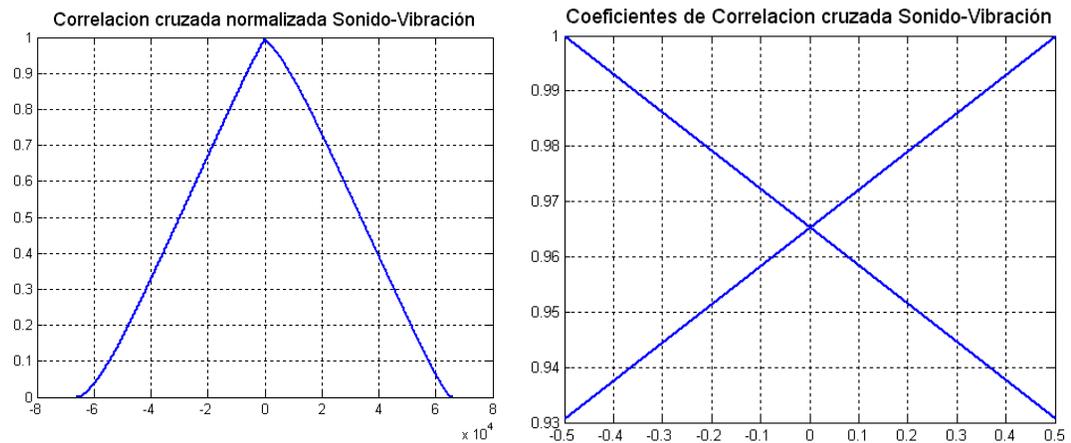


Figura.V.42. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E5.

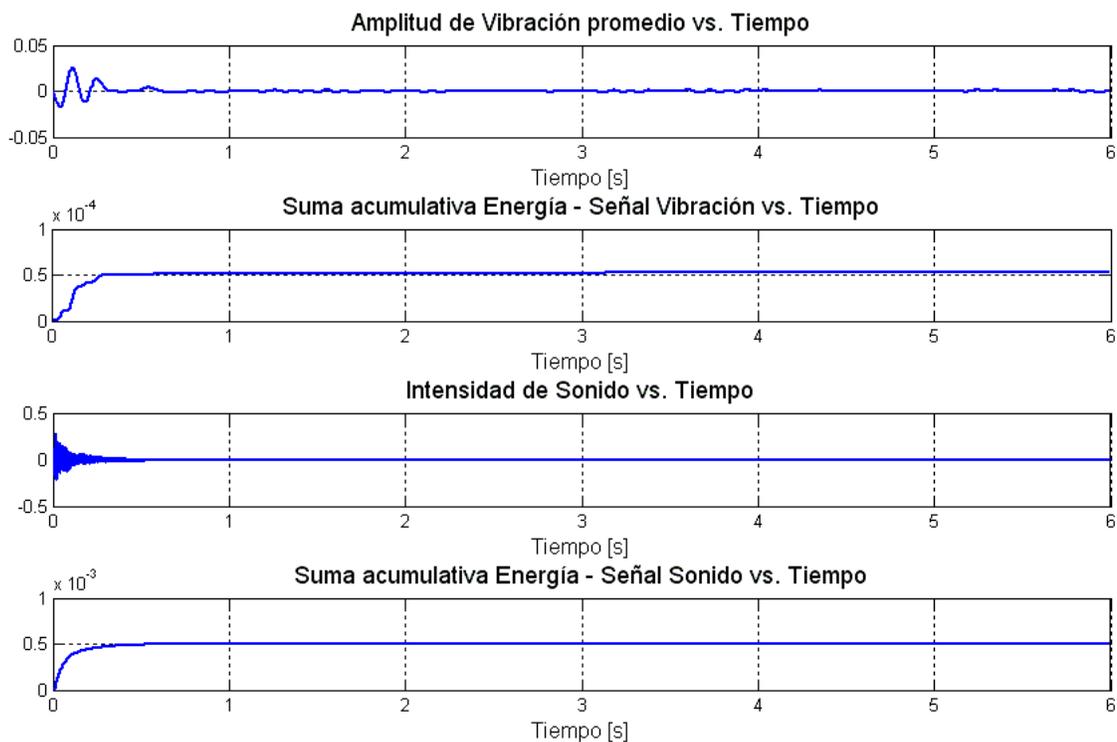


Figura.V.43. Señales de vibración y sonido y sus respectivas sumas acumulativas de sus energías para la nota E6.

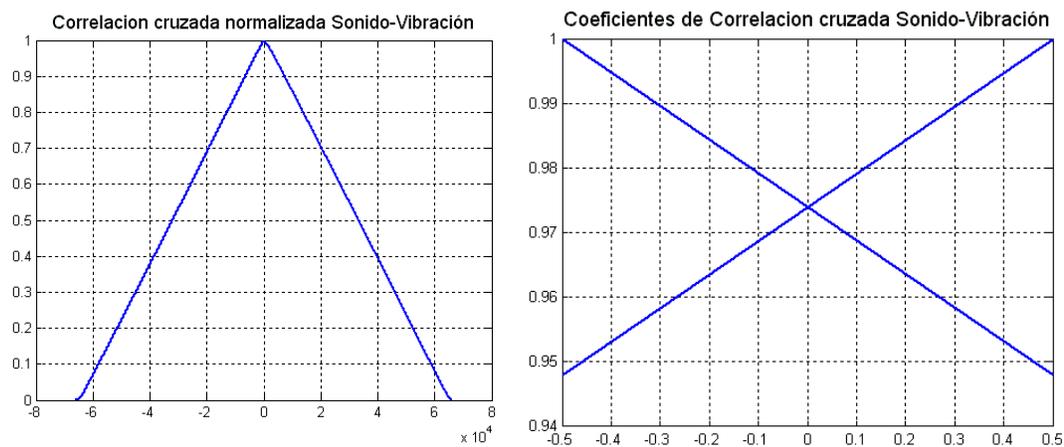


Figura.V.44. Correlación cruzada normalizada y coeficientes de correlación de las sumas acumulativas de las señales de sonido y vibración para la nota E6.